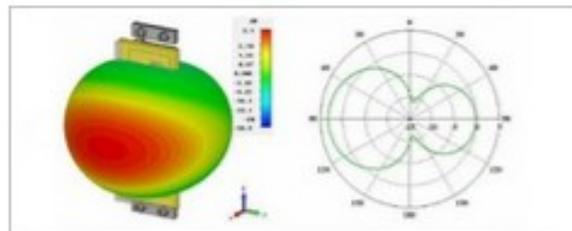




**Formation 203 - Antennes niveau 3 (conception)**  
**Module 01 - Introduction**



# Introduction

## Contenu du module

- ◆ L'équipe : Rapide présentation d'Alciom
- ◆ Alciom Academy
- ◆ Objectifs pédagogiques et prérequis de cette formation
- ◆ Organisation pratique
- ◆ Suivi et évaluations
- ◆ Ressources pédagogiques
- ◆ Agenda de la formation

# Introduction

## Rapide présentation d'Alciom

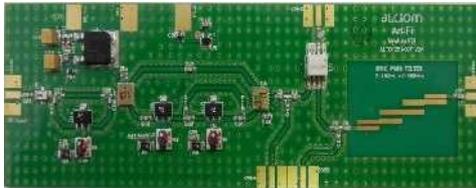
# alciom

- ◆ Conseil, R&D sous contrat et études amont en électronique
- ◆ Spécialistes des radiofréquences et signaux mixtes :

Emetteurs/récepteurs RF  
Antennes embarquées  
Hyper-fréquences

Acquisition de signaux  
Électronique rapide  
Traitement du signal

IoT et objets connectés  
Capteurs intégrés  
Ultra-basse consommation



- ◆ Experts certifiés par ADI, TI, Microchip, Cypress & Xilinx
- ◆ Labellisés SRC, accrédités Crédit Impôt Recherche & CII
- ◆ 150 clients depuis 2003, 60% grands comptes / 40 % startups
- ◆ 15 prix internationaux, 9p, CA 1,6M€, Viroflay

# Introduction

## Alciom Academy

- ◆ Alciom Academy : 15 formations pour professionnels
- ◆ Ciblées sur nos **domaines d'expertise** exclusivement
- ◆ Un crédo : Une pédagogie **pragmatique** et appliquée...
- ◆ Beaucoup de retours d'expériences, un minimum de théorie

*La connaissance s'acquiert par l'expérience,  
tout le reste n'est que de l'information*  
(Albert Einstein)



- ◆ Plus de 500 stagiaires formés...

# Introduction

## Alciom Academy



110- Comprendre et utiliser BLE - V4.2 à 5.2



111- Comprendre et utiliser LoRa/LoRaWAN



112- Comprendre et utiliser NB-IoT



113- Comprendre et utiliser Wize



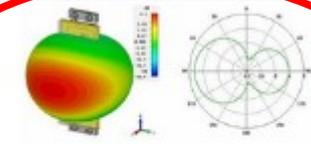
100- IoT : Synthèse pour décideurs



201- Antennes niveau 1



202- Antennes niveau 2 (optimisation / mesure)



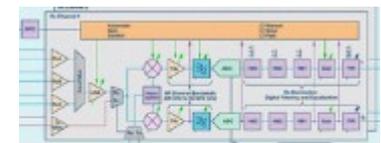
203- Antennes niveau 3 (conception)



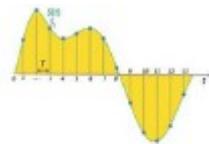
301- RF niveau 1



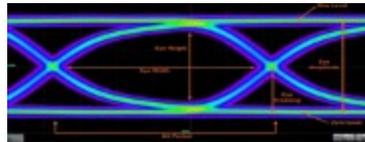
302- RF niveau 2 (transceivers intégrés)



303- RF niveau 3 (introduction SDR)



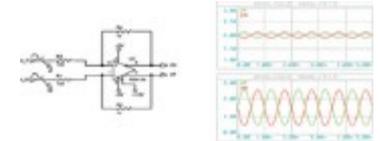
401- Le traitement du signal sans stress



402- Les interfaces numériques rapides



501- Piles, batteries et alimentations



502- Amplificateurs opérationnels et filtres

# Introduction

## Tour de table

- ◆ Vous & votre société ?
- ◆ Votre expérience en électronique, en radio, en antennes ?
- ◆ Vos projets et vos attentes ?



# Introduction

## Objectifs pédagogiques et prérequis de cette formation

### ♦ Objectifs pédagogiques :

- ♦ Connaitre les contraintes de base sur le choix et l'intégration des antennes
- ♦ Savoir quelles erreurs éviter pour l'intégration d'une antenne embarquée
- ♦ Connaître les approches possibles pour simuler une antenne

### ♦ Prérequis :

- ♦ Avoir suivi les formations Antennes niveau 1 et 2... ou niveau équivalent (certains slides de ces formations sont **volontairement repris** et représentés)
- ♦ Vous ne deviendrez pas des experts avec cette formation courte, mais vous éviterez nous l'espérons quelques erreurs !

*Un expert est une personne  
qui a commis toutes les erreurs possibles  
dans un domaine très restreint.*

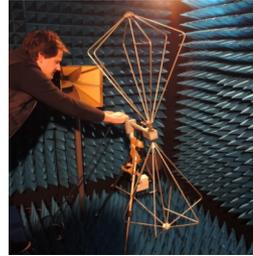
(Niels Bohr)



# Introduction

## Organisation pratique

- ◆ Une formation pragmatique, intégrant quelques travaux pratiques



- ◆ Objectif : Comprendre et surtout retenir les éléments clés
- ◆ ... mais aussi savoir quoi faire et quoi faire faire
- ◆ Organisation des Tps
- ◆ N'hésitez pas à intervenir !
  
- ◆ Après la formation, n'hésitez pas à nous solliciter !
- ◆ Par mail : [hotlineformations@alciom.com](mailto:hotlineformations@alciom.com)
- ◆ Par téléphone : 01 4709 3051 (prise de rdv si non disponible)

# Introduction

## Suivi et évaluations

- ◆ Petit QCM en début et en fin de formation
- ◆ Pour vous et rien que pour vous, archivé par Alciom pour audits uniquement
- ◆ Objectif : Vous prouver que cette formation vous a fait apprendre des choses !
- ◆ Une vingtaine de questions vrai/faux, maxi 30 secondes par question
- ◆ Sauter les questions pour lesquelles vous n'en savez vraiment rien...



# Introduction

## Suivi et évaluations

### ♦ En pratique :



Se connecter à Evalbox

Vous devriez avoir reçu par email les informations de connexion (login/mot de passe)

3. Callout pointing to the 'Mot de passe' input field.

Nom d'utilisateur (log

Mot de passe

J'ai un code...

Connexion

Français ▾

1. Code  
Qui vous a été fourni \*\*\*\*\*

2. Email  
Email habituel \*\*\*\*\*

3. Nom  
Identité

Le code (ou une adresse Web équivalente) vous a été fourni par votre professeur

Langue: 4. Français

Code: FGWPU

Suivant >

5. Callout pointing to the 'DEMARRER' button.

Click on « **DEMARRER** » pour commencer, or on « **QUITTER** » pour quitter cet examen (et éventuellement pouvoir en rejoindre un autre)

► **DEMARRER**

✕ **QUITTER**

7. Callout pointing to the 'Répondre' button.

Répondre > 1/2

24 Testqq

6. Callout pointing to the 'vrai' radio button.

vrai

faux

# Introduction

## Ressources pédagogiques

- ◆ Des ressources complémentaires disponibles via l'extranet stagiaire :
- ◆ <https://alciom.digiforma.net>
- ◆ Support de formation intégral (pdf)
- ◆ Bibliographie & Sitographie
- ◆ Notes techniques complémentaires



# Introduction

## Agenda de la formation

+ Introduction de la session

+ Quelques rapides rappels

+ Les topologies d'antennes

+ Les technologie de réalisation des antennes et exemples concrets

+ Antennes, encombrement et largeur de bande

+ La conception d'antennes filaires

+ Les antennes céramique

+ Les antennes imprimées

+ La conception d'antennes imprimées «&nbsp;simples&nbsp;»

+ Introduction à la simulation EM 3D

+ Introduction aux antennes large bande

+ L'intégration de l'antenne

+ Conclusion et synthèse



**Formation 203 - Antennes niveau 3 (conception)**  
**Module 02 - Quelques rappels rapides**



# Quelques rappels rapides

## Contenu du module

+ Introduction de la session

- Quelques rappels rapides

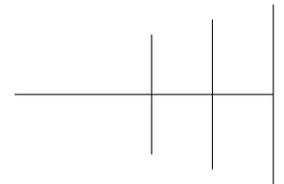
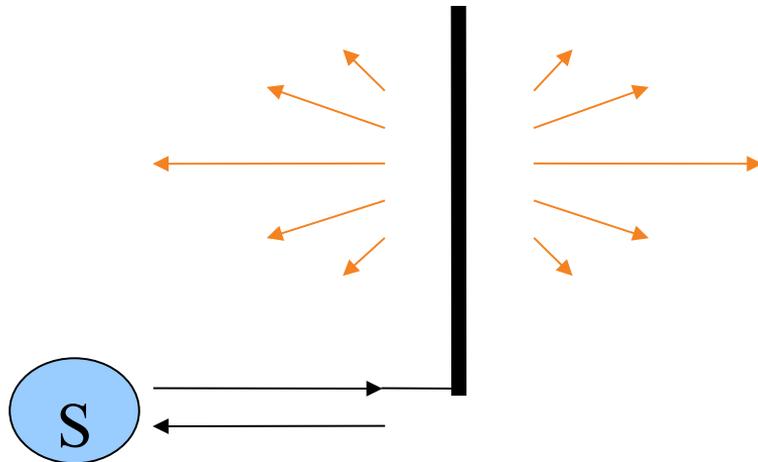
- > Paramètres d'une antenne
- > Gain, diagramme de rayonnement et efficacité
- > Champ proche
- > Polarisation

+ Les topologies d'antennes

# Quelques rappels rapides

## Paramètres d'une antenne

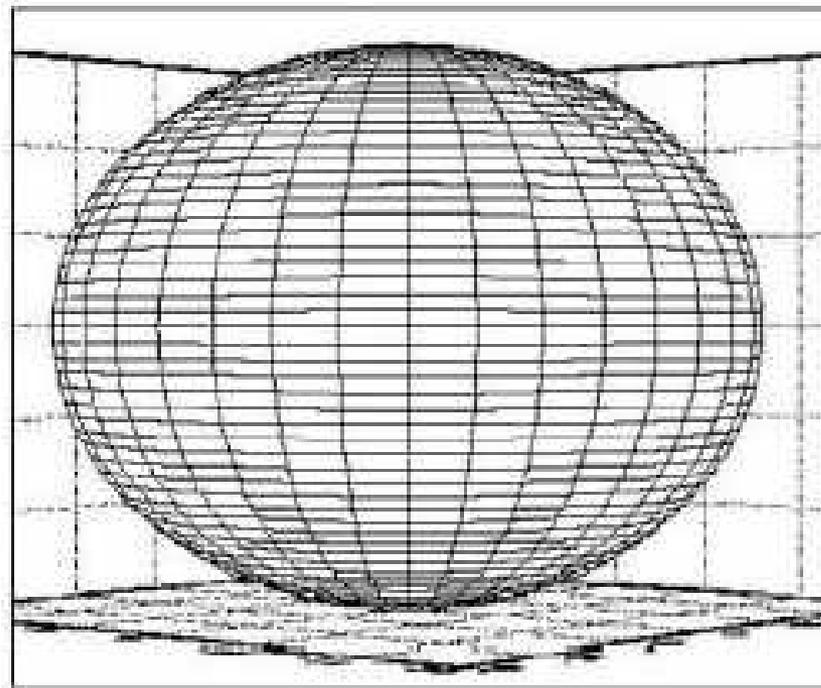
- Antenne = interface électrique/électromagnétique
- Par nature bidirectionnelle
- Trois notions fondamentales :
  - Performances intrinsèques (directivité, gain et efficacité)
  - Polarisation
  - Impédance du point de raccordement



# Quelques rappels rapides

## Gain, diagramme de rayonnement et efficacité

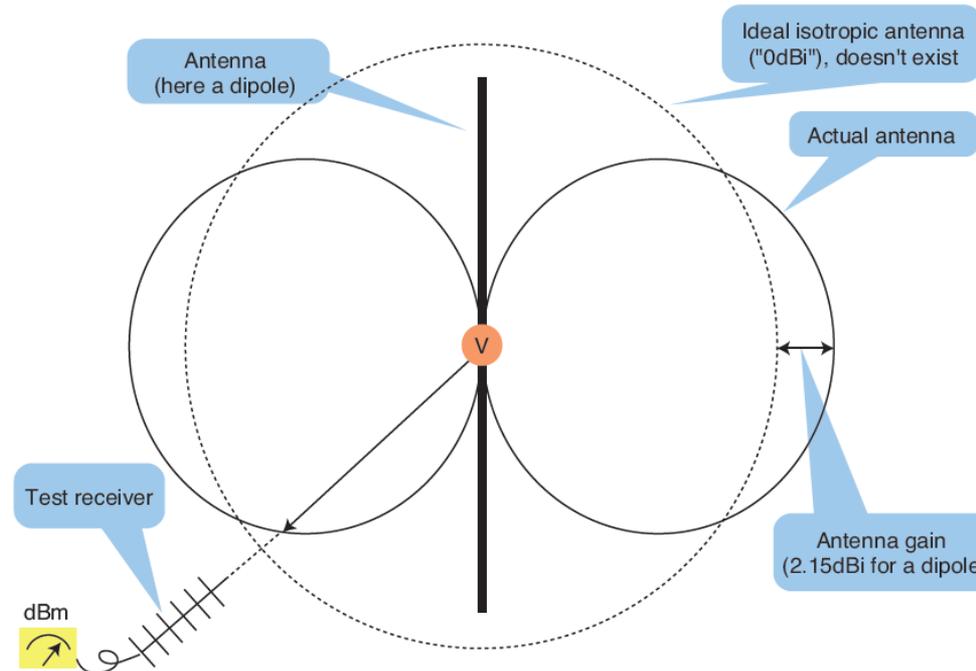
- Antenne de référence = antenne isotrope
- gain = 0dBi par définition
- Une vue de l'esprit uniquement



# Quelques rappels rapides

## Gain, diagramme de rayonnement et efficacité

- “Gain” d'une antenne = niveau du champ relatif dans une direction donnée par rapport à une antenne théorique isotrope



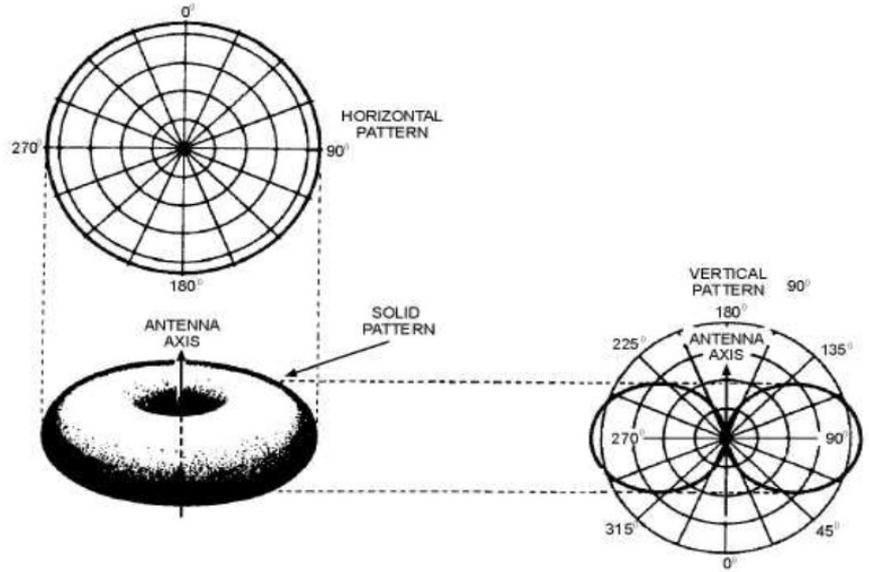
- Une antenne ne crée pas de l'énergie... Gain élevé = Antenne plus directive
- Toute antenne a une direction de gain nul



# Quelques rappels rapides

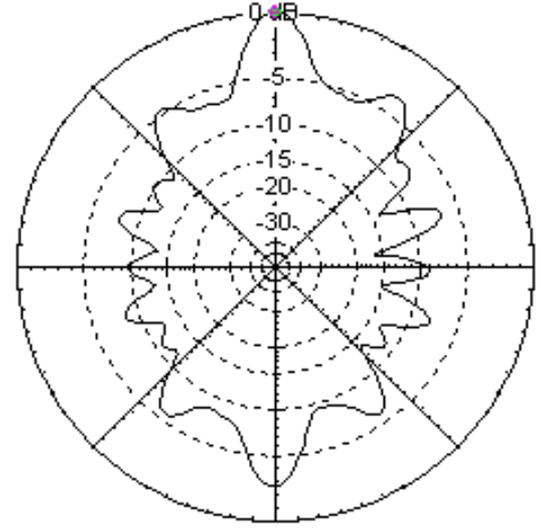
## Gain, diagramme de rayonnement et efficacité

- Diagramme de rayonnement : Gain en fonction de la direction



Total Field

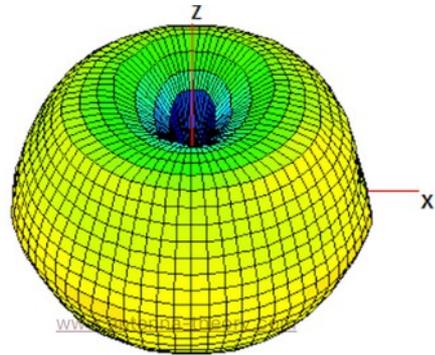
EZNEC



Azimuth Plot		Cursor Az	90.0 deg.
Elevation Angle	19.0 deg.	Gain	10.77 dBi
Outer Ring	10.77 dBi		0.0 dBmax
			0.0 dBmax3D
3D Max Gain	10.77 dBi		
Slice Max Gain	10.77 dBi @ Az Angle = 90.0 deg.		
Front/Back	2.57 dB		
Beamwidth	18.2 deg.; -3dB @ 80.7, 98.9 deg.		
Sidelobe Gain	8.2 dBi @ Az Angle = 270.0 deg.		
Front/Sidelobe	2.57 dB		

# Quelques rappels rapides

## Gain, diagramme de rayonnement et efficacité



Radiation Pattern (Power)

$$TRP = \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} EIRP(\theta, \varphi) \sin(\theta) d\theta d\varphi$$

Efficacité = Puissance totale rayonnée / Puissance absorbée

- Une antenne peut avoir beaucoup de gain, mais une efficacité très faible...
- Efficacité < 100 % → Puissance dissipée quelque part (structure de l'antenne, environnement proche, etc) → Ca chauffe
- Gain = rendement x directivité



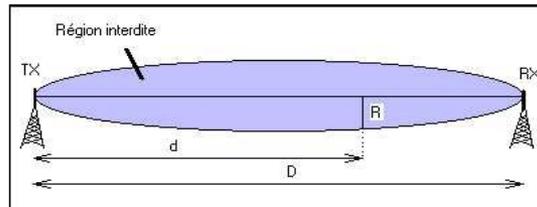
+



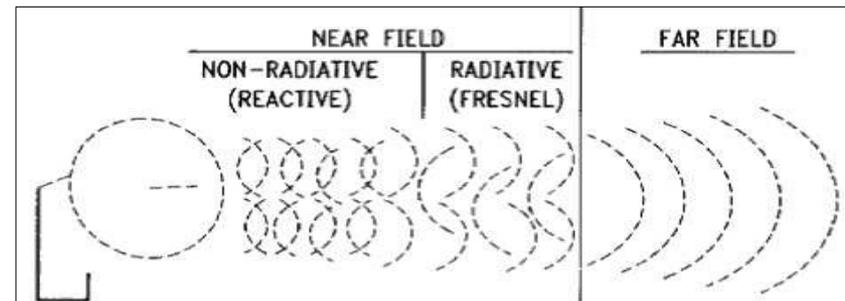
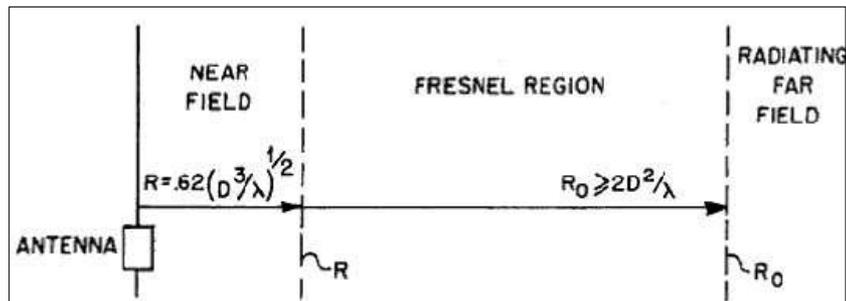
# Quelques rappels rapides

## Champ proche

- Champ lointain  $\gg \lambda$ 
  - Décroissance du champ en  $1/R^2$
  - Notion de diagramme de rayonnement applicable
  - Seuls les obstacles présents dans l'ellipsoïde de Fresnel sont gênants, et occasionnent une baisse de niveau



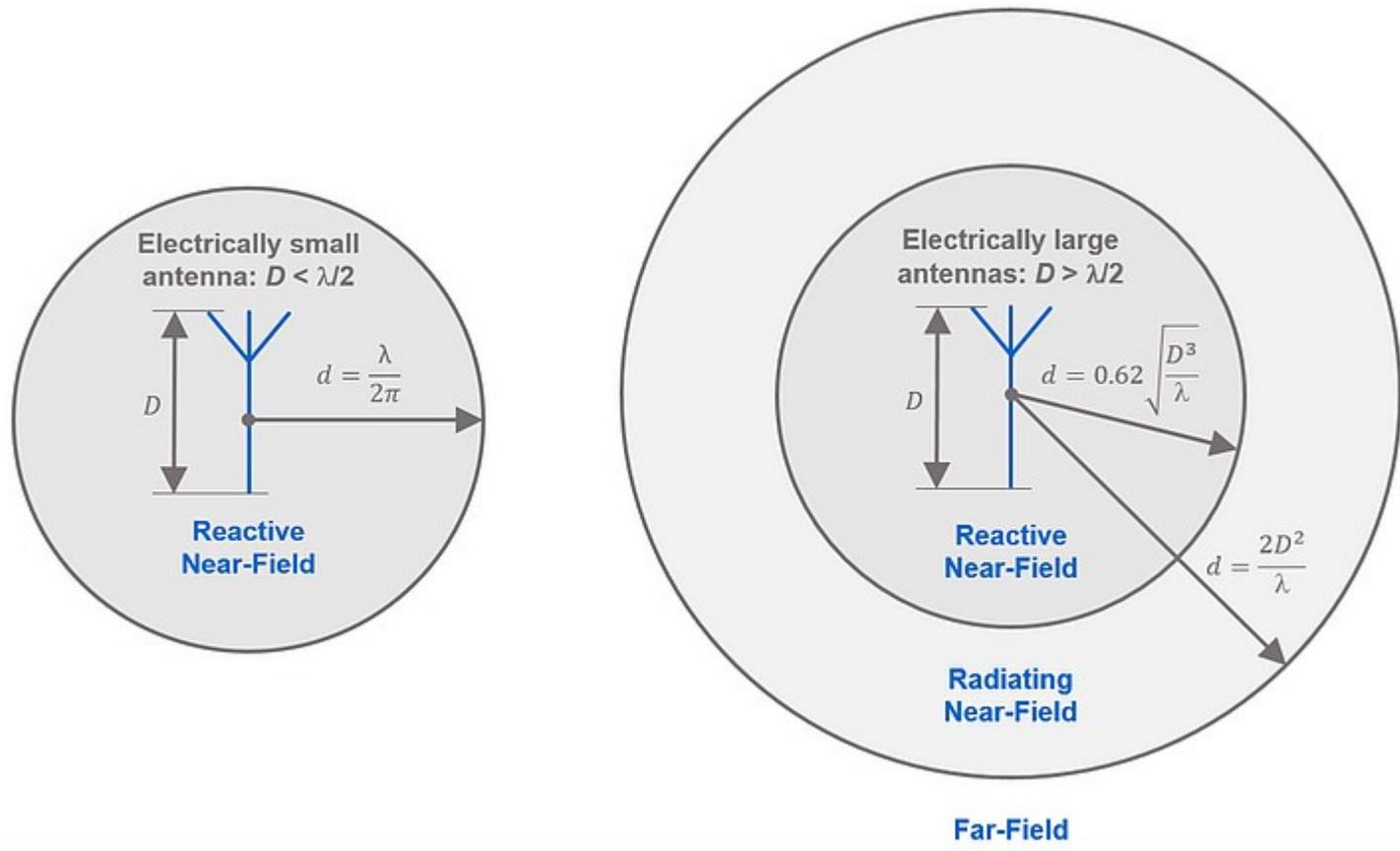
- Champ proche  $\ll \lambda$ 
  - Tout obstacle ou conducteur dans cette zone **perturbe l'antenne elle-même**
  - Modification de l'impédance et/ou du diagramme de rayonnement global



# Quelques rappels rapides

## Champ proche

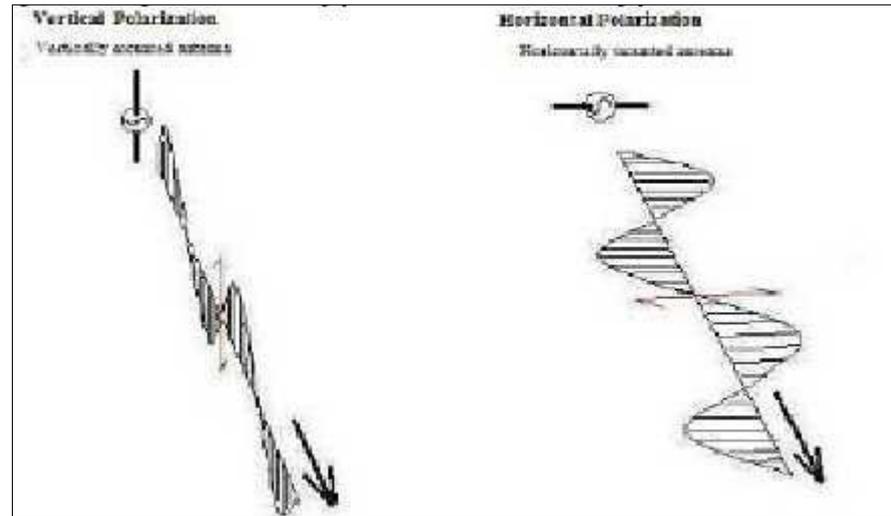
- De manière plus détaillée :  
(cf <https://www.academyofemc.com/emc-knowledge-base> )



# Quelques rappels rapides

## Polarisation

- Ondes planes = Plan de polarisation (H, V, oblique, etc), fonction de la structure de l'antenne



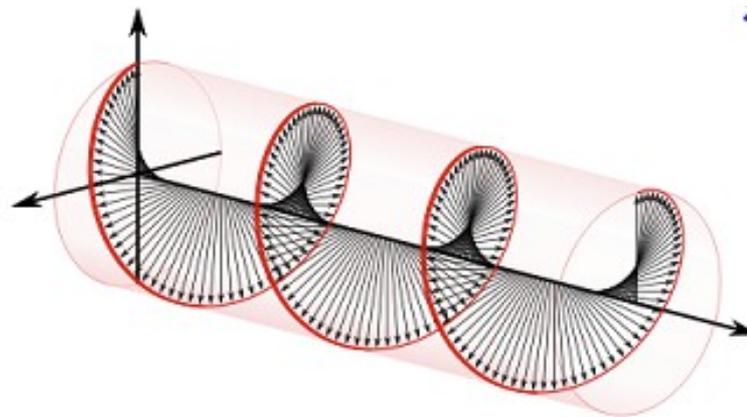
- Couplage théoriquement nul entre antennes de polarisations orthogonales



# Quelques rappels rapides

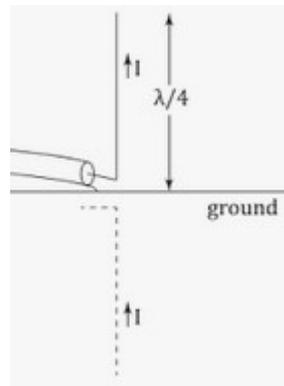
## Polarisation

- Polarisation circulaire : Somme de deux polarisations droites avec déphasage de  $90^\circ$ , peut être gauche ou droite
- Indépendant de la rotation de l'antenne sur son axe (ex : satellites), et moins sensible aux pertes par trajets multiples
- Mais antenne en polarisation circulaire = toujours directive...



- TX en polarisation circulaire et RX plane ou vice-versa : 3dB de perte mais indépendant de l'orientation dans le plan

## Formation 203 - Antennes niveau 3 (conception) Module 03 - Les topologies d'antennes



# Les topologies d'antennes

## Contenu du module

### - Les topologies d'antennes

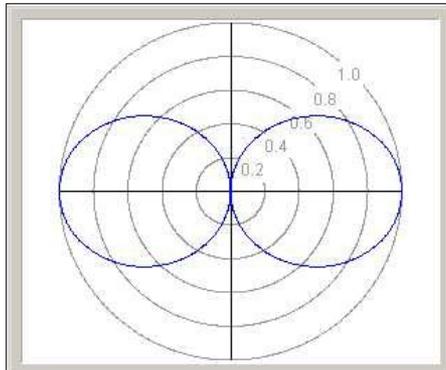
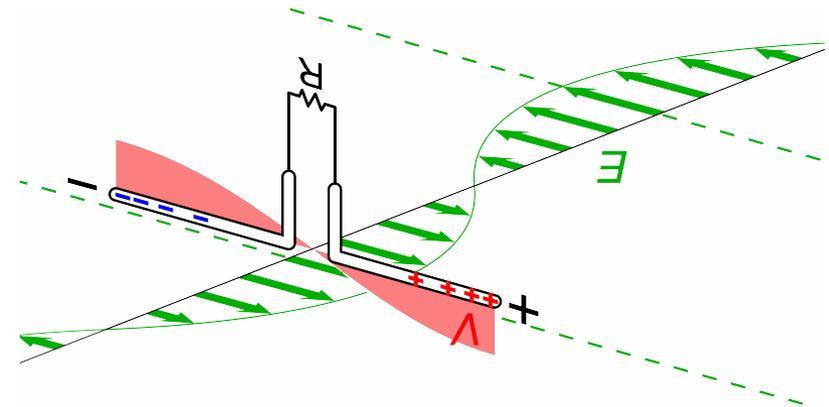
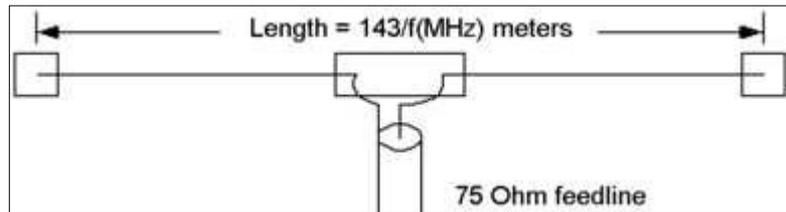
- > Dipole, monopole, folded dipole
- > Patch
- > Boucles
- > Yagi
- > Hélices axiales et normales
- > Les autres (à polarisation circulaire, slot, cornet, à réflecteur, log-périodiques, fractales...)
- > Notion de balun

### + Les technologie de réalisation des antennes et exemples concrets

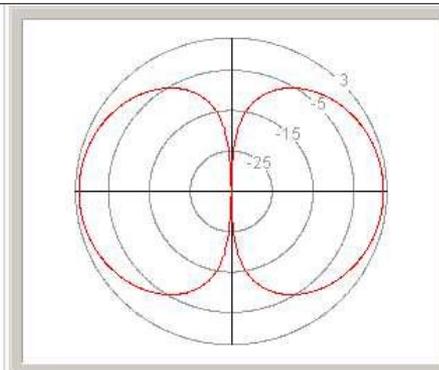
# Les topologies d'antennes

## Dipole, monopole, folded dipole

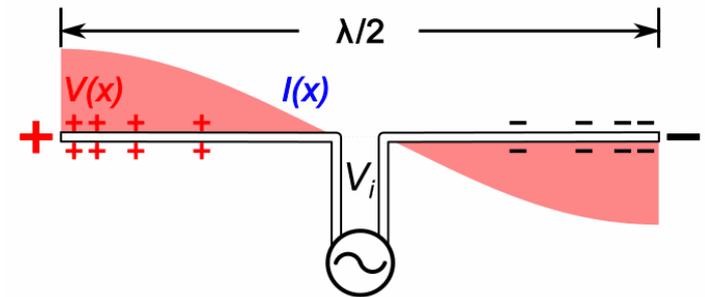
- L'une des meilleures isotropiques : le dipole ( deux brins de  $\lambda/4$  )



Radiation pattern of a half-wave dipole antenna. The scale is linear.



Gain of a half-wave dipole (same as left). The scale is in dBi (decibels over isotropic).

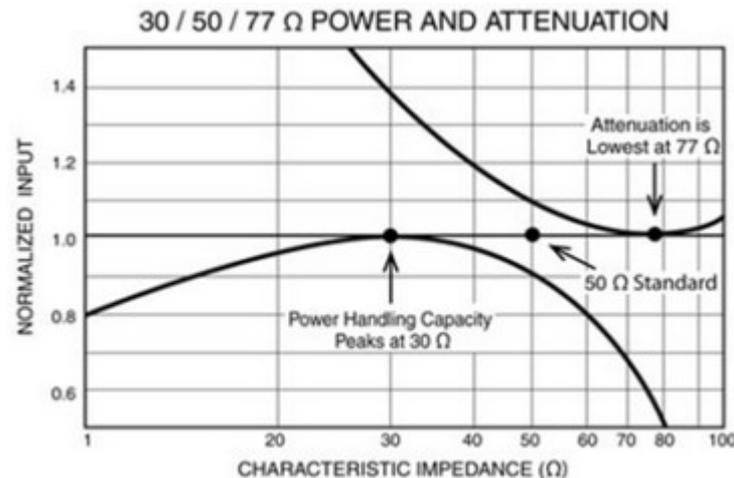
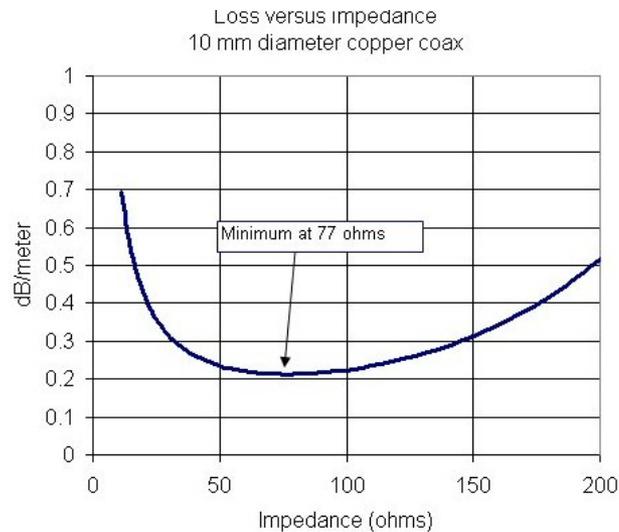


- Gain 2,15dBi, impédance 73 ohm à la résonance (compatible cable 75 ohm)
- Pas besoin de plan de masse, mais différentiel (nécessite un balun en général)

# Les topologies d'antennes

## Dipole, monopole, folded dipole

- Apparté : Pourquoi 75 ou 50 ohm sont standard ?
- Raison historique, relative aux câbles coaxiaux utilisant de l'air comme isolant :



Cf <https://www.microwaves101.com/encyclopedias/why-fifty-ohms>

# Les topologies d'antennes

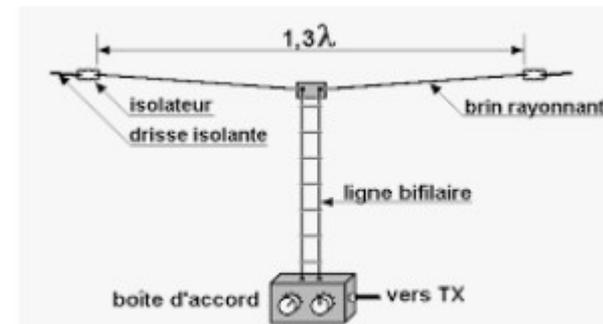
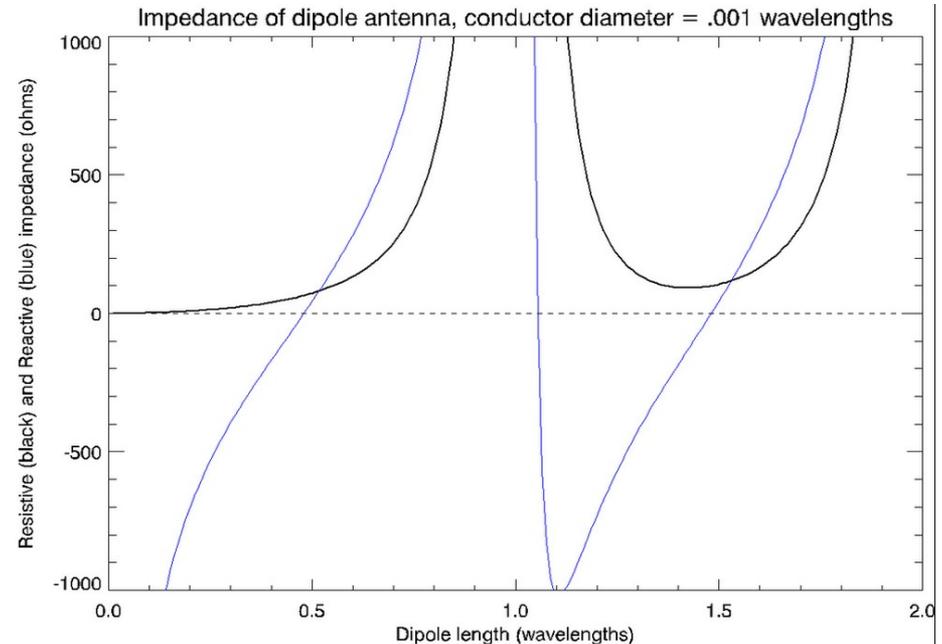
## Dipole, monopole, folded dipole

- Dipoles aussi possibles à d'autres longueurs...
- ... mais impédances plus éloignées de 50 ohm
- Ex : 2 éléments "5/8ieme" (=1,25)

Gain of dipole antennas<sup>[12]</sup>

Length, L, in wavelengths	Directive gain (dBi)	Notes
$\ll 0.5$	1.76	Poor efficiency
0.5	2.15	Most common
1.0	4.0	Only with fat dipoles
1.25	5.2	Best gain
1.5	3.5	Third harmonic
2.0	4.3	Not used

- Transformateur souvent inclus pour retrouver une impédance classique

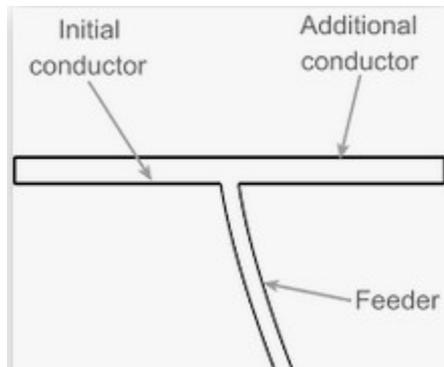


L'antenne extended double-zepp ...

# Les topologies d'antennes

## Dipole, monopole, folded dipole

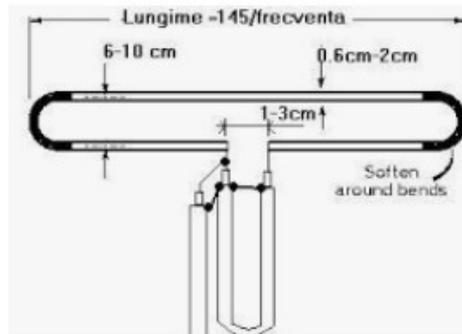
- Folded dipole : Ajout d'un brin supplémentaire (double dipole)
- Même diagramme de rayonnement et gain, mais impédance 300ohm en général
- Périmètre total = lambda
- Bande passante plus large avec conducteurs « larges »



$$R_{f.d.} = 4R_{h.w.} \approx 292 \Omega.$$



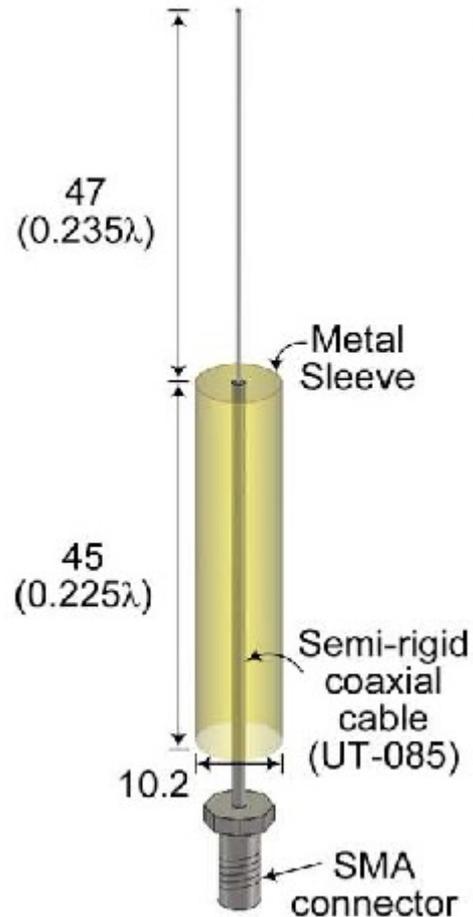
- Avantage : 300 ohm facilement ramenable à 75 ohm par un balun 4:1



# Les topologies d'antennes

## Dipole, monopole, folded dipole

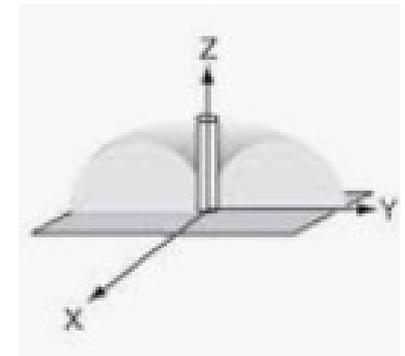
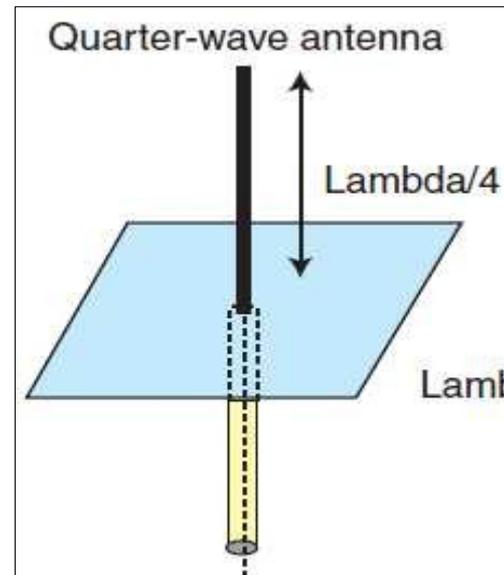
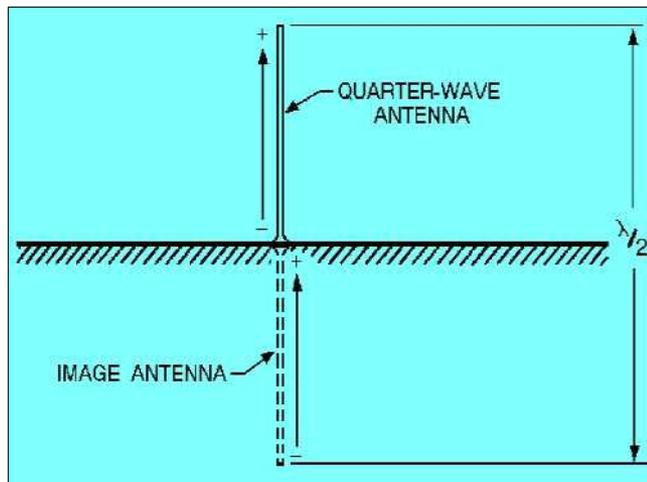
- Sleeve dipole : Un dipole replié sur lui-même
- Presque  $2 \times \lambda/4$



# Les topologies d'antennes

## Dipole, monopole, folded dipole

- Monopole : emplacement d'un  $\frac{1}{2}$  dipole par un plan de masse : longueur  $\lambda/4$
- Impédance  $73/2 = 37$  ohm
- Gain 3dB supérieur à un dipole : 5,14dBi (rayonnement identique sur le dessus, 50% de la puissance nécessaire)

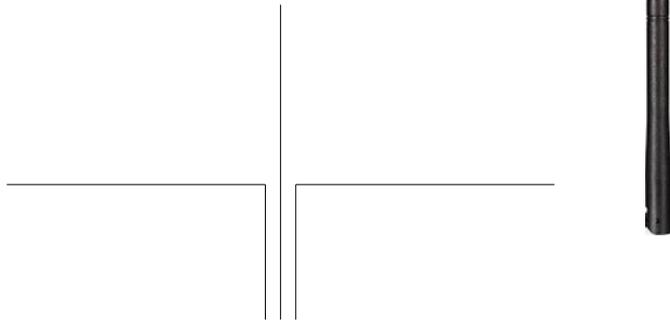


- Inconvénient : performant uniquement si le plan de masse est performant ( $> \lambda$ )
- Si plan de masse trop petit, cela devient un (mauvais) dipole...

# Les topologies d'antennes

## Dipole, monopole, folded dipole

- Donc ne pas confondre...



Monopole, nécessite un plan de masse



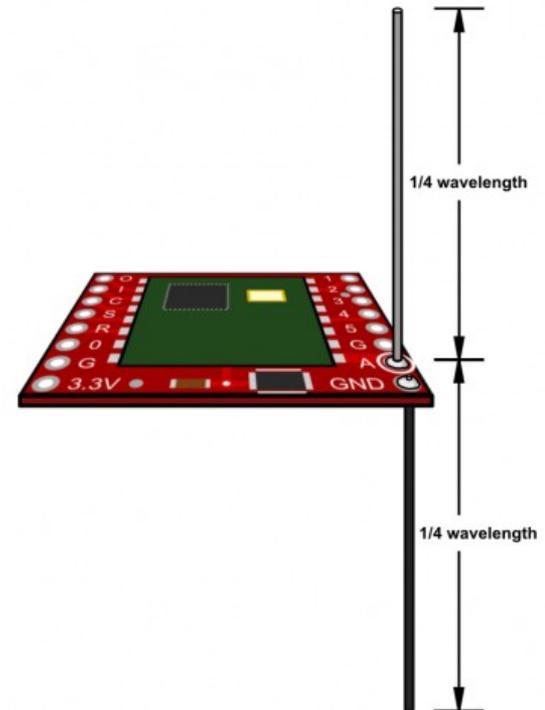
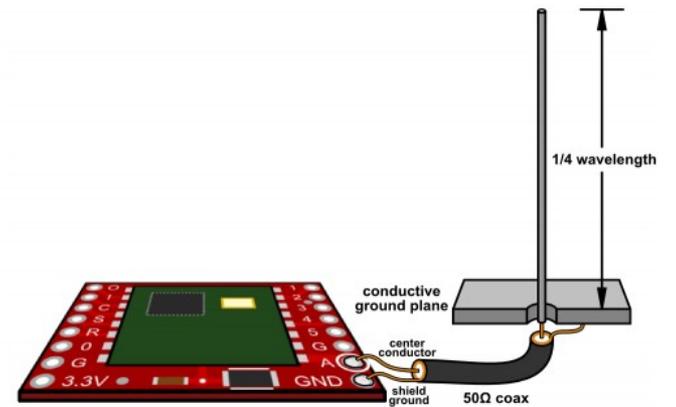
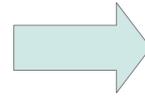
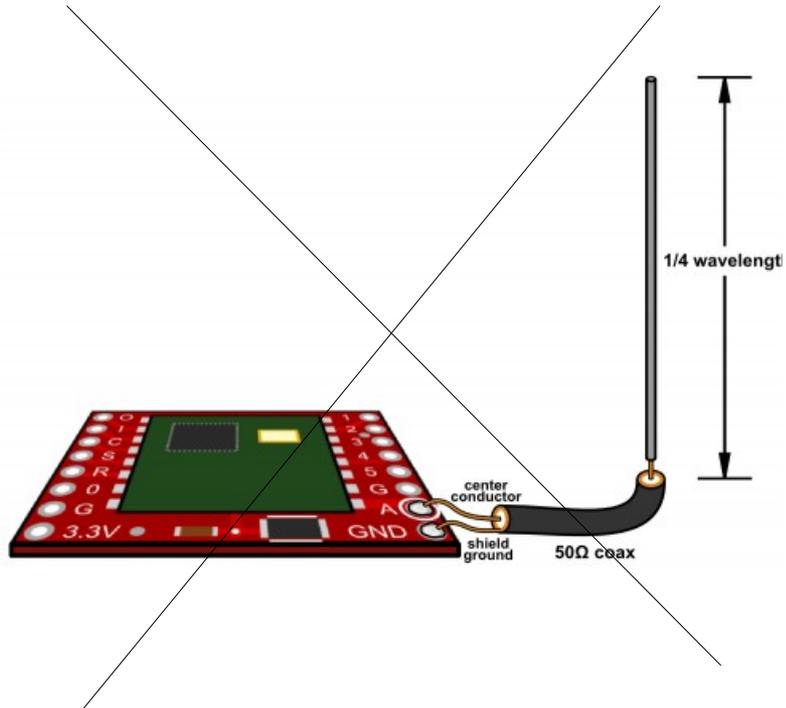
Sleeve dipole, pas de plan de masse

- Le test : VNA et poser son doigt au milieu de l'antenne...

# Les topologies d'antennes

## Dipole, monopole, folded dipole

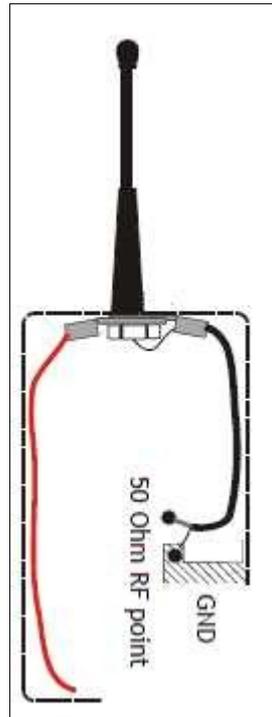
◆ Un exemple de ce qu'il ne faut PAS faire



# Les topologies d'antennes

## Dipole, monopole, folded dipole

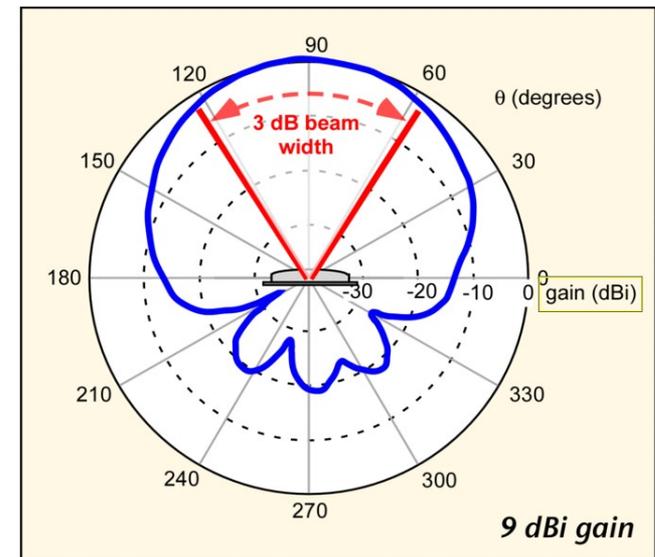
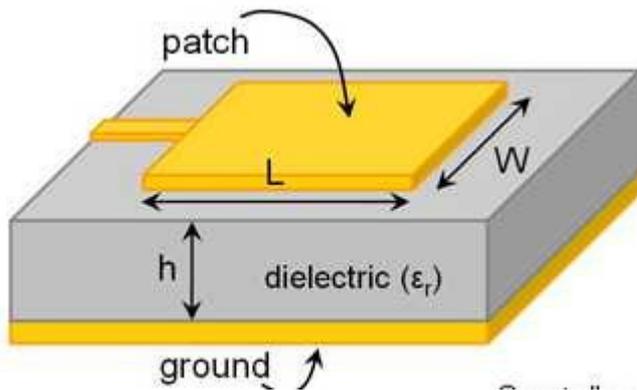
- ◆ Sinon passer d'un monopole à un simili-dipole...



# Les topologies d'antennes

## Patch

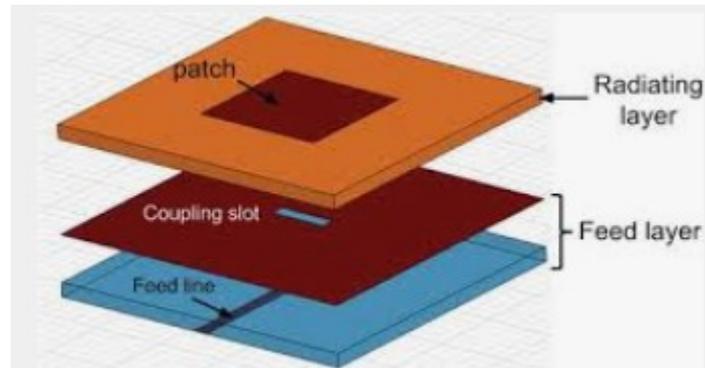
- Antennes patch : Surface conductrice parallèle à un plan de masse
- Avantage : Rayonnement que dans la moitié de l'espace (si plan de masse assez grand), peu sensible à ce qu'il y a sous le plan de masse...



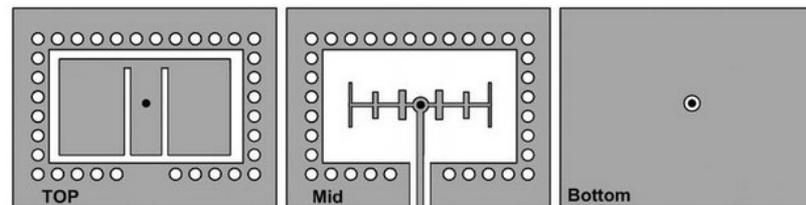
# Les topologies d'antennes

## Patch

- De nombreux concepts plus évolués (multicouche, large bande, polarisation circulaire, etc...)
- Litterature très large sur ce sujet
- En particulier techniques classiques d'élargissement de la bande passante :



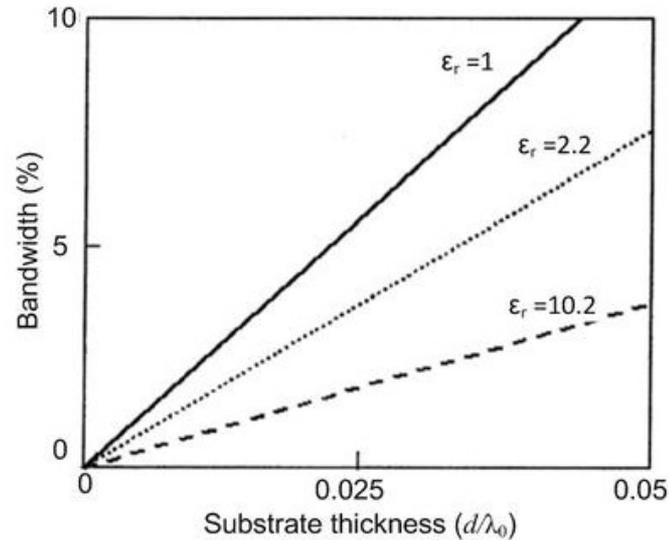
- Plus ou moins complexes... :



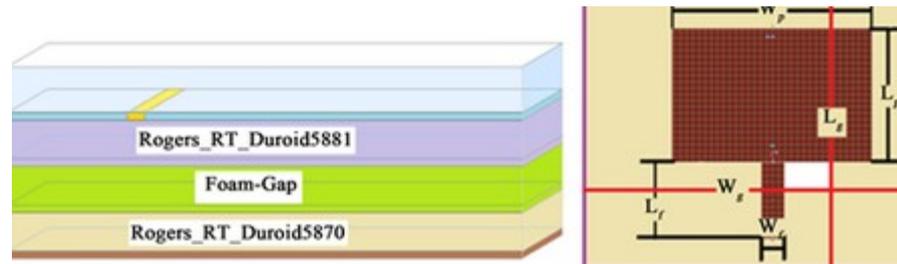
# Les topologies d'antennes

## Patch

- Performances dégradées si substrat trop fin et à pertes : Un patch de 1,6mm d'épaisseur n'est pas très bon en dessous quelques GHz... et bande très étroite



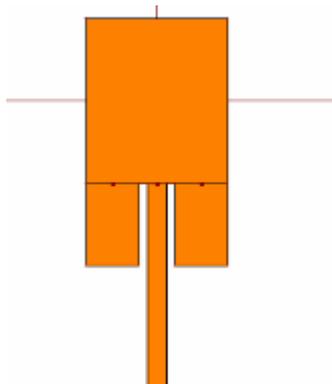
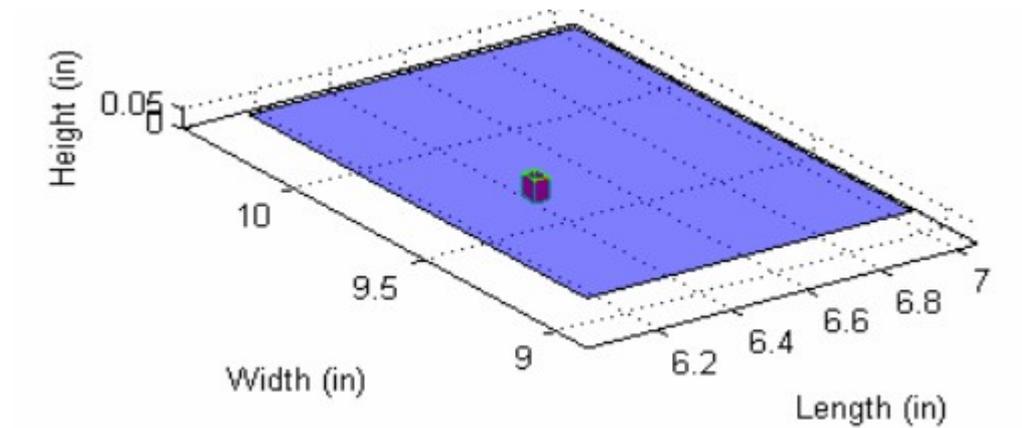
- Souvent plus performant avec une épaisseur augmentée, exemple :



# Les topologies d'antennes

## Patch

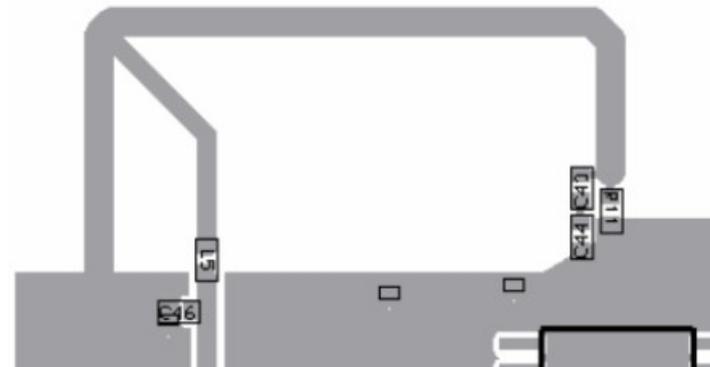
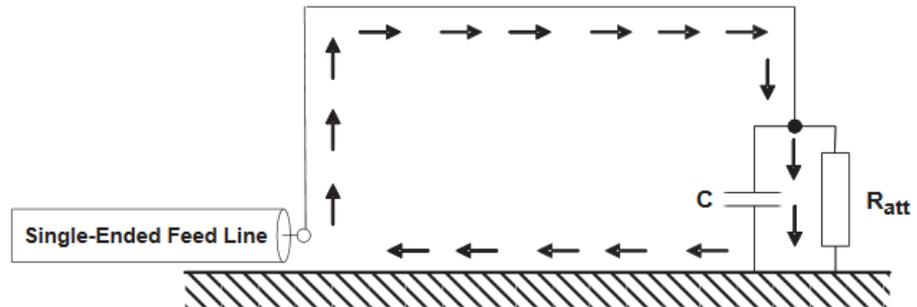
- Point d'injection judicieusement placé pour impédance proche de 50 ohm



# Les topologies d'antennes

## Boucles

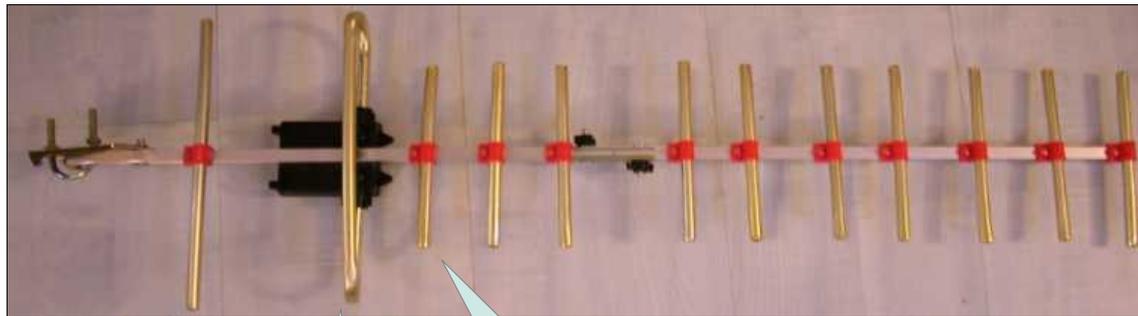
- Plutôt de générer un champ électrique (monopole/dipole), on peut commencer par générer un champ magnétique...
- C'est le principe des antennes boucles. Deux type :
  - boucles normales (périmètre =  $\lambda$ , rayonnement selon axe)
  - petites boucles (compactes mais peu efficaces, en général utilisées en RX)



# Les topologies d'antennes

## Yagi

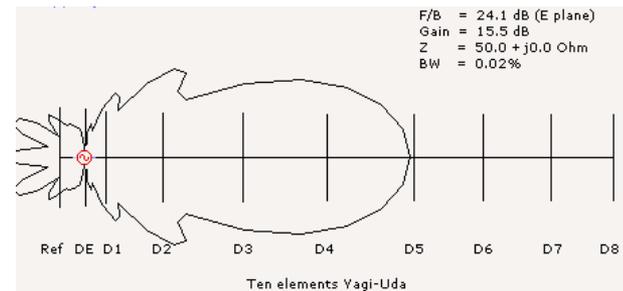
- Une famille d'antennes très directives : Les Yagi



Réfecteur

Directeur

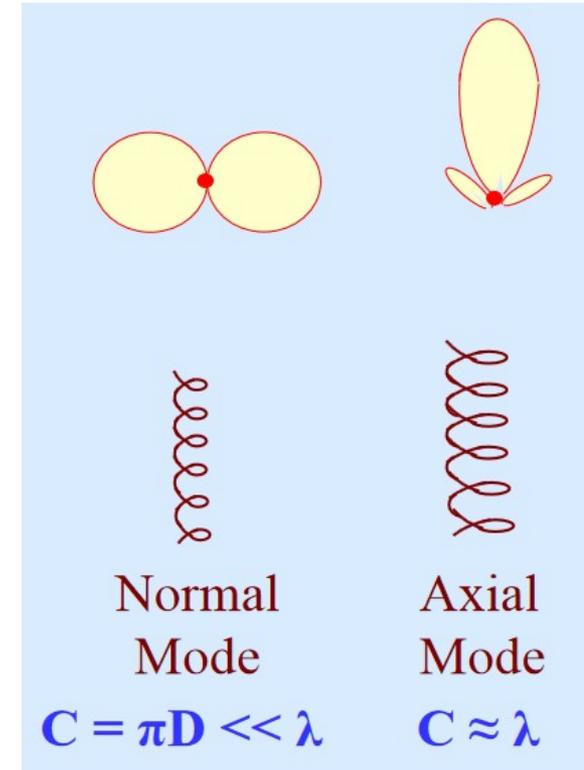
Folded dipole  
(élément piloté)



# Les topologies d'antennes

## Hélices axiales et normales

- ◆ Deux type d'antennes hélicoidales :
- ◆ Antennes à radiation normale
  - Pas de l'hélice petit par rapport à lambda
  - Rayonnement de type monopole
- ◆ Antennes à radiation axiale
  - Pas de l'hélice de l'ordre de lambda
  - Directive et à polarisation circulaire)

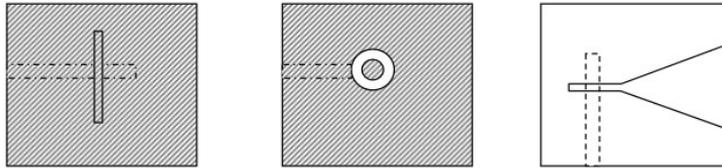


Source : <https://nptel.ac.in/content/storage2/courses/108101092/Week-9-Helical-Antenna-Final.pdf>

# Les topologies d'antennes

Les autres (polarisation circulaire, slot, cornet, réflecteur, log-périodique, fractales...)

- ◆ Des centaines d'autres topologies d'antennes ...
- ◆ Quelques exemples



Antennes slot (à fente)



Antennes à réflecteur

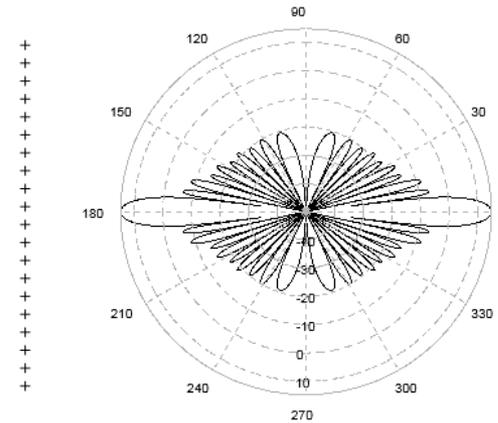
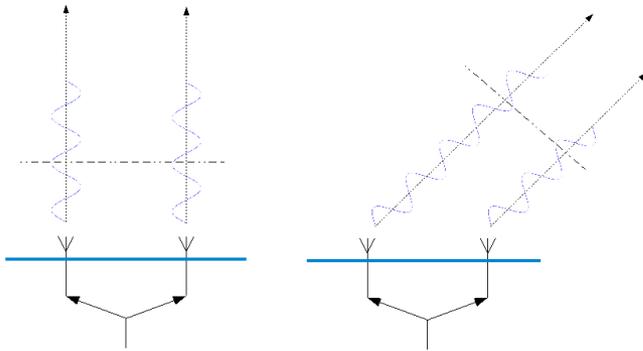


Antennes cornets

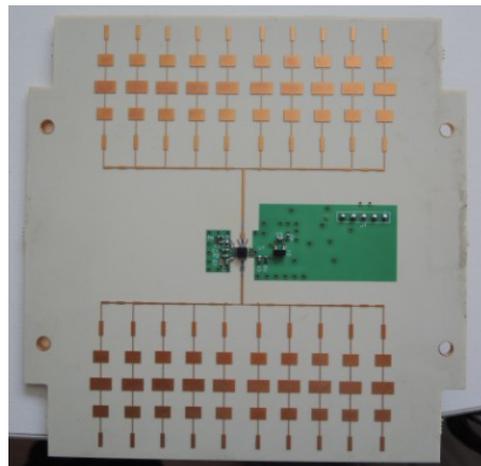
# Les topologies d'antennes

## Les autres (polarisation circulaire, slot, cornet, réflecteur, log-périodique, fractales...)

- Un moyen pour augmenter la directivité d'une antenne : En mettre plusieurs...
- ... et les piloter avec les bonnes amplitudes et déphasages



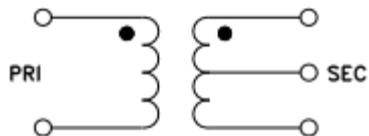
- Orientation du faisceau statique ou dynamique (balayage électronique)



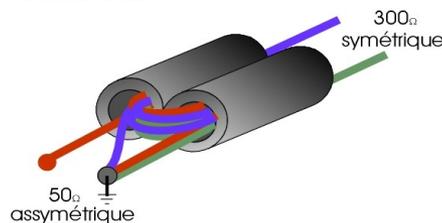
# Les topologies d'antennes

## Notion de balun

- ♦ BALUN = BALanced to UNbalanced
- ♦ C'est donc un transformateur, utilisé en particulier pour les antennes dipolaires
- ♦ Peut être réalisé physiquement par un minitransformateur, une tore de ferrite ou par lignes de transmission
- ♦ Isole le câble coaxial de la partie rayonnante de l'antenne
- ♦ Existe avec différents rapports de transformation (1:1, 1:2, 1:4, etc)

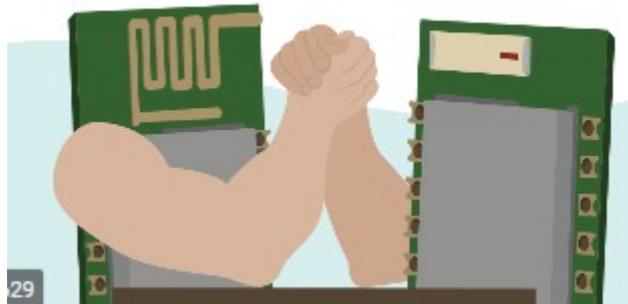


Dessins F6GWO





**Formation 203 - Antennes niveau 3 (conception)**  
**Module 04 - Les technologies de réalisation**



# Les technologies de réalisation des antennes

## Contenu du module

+ Les topologies d'antennes

- Les technologie de réalisation des antennes et exemples concrets

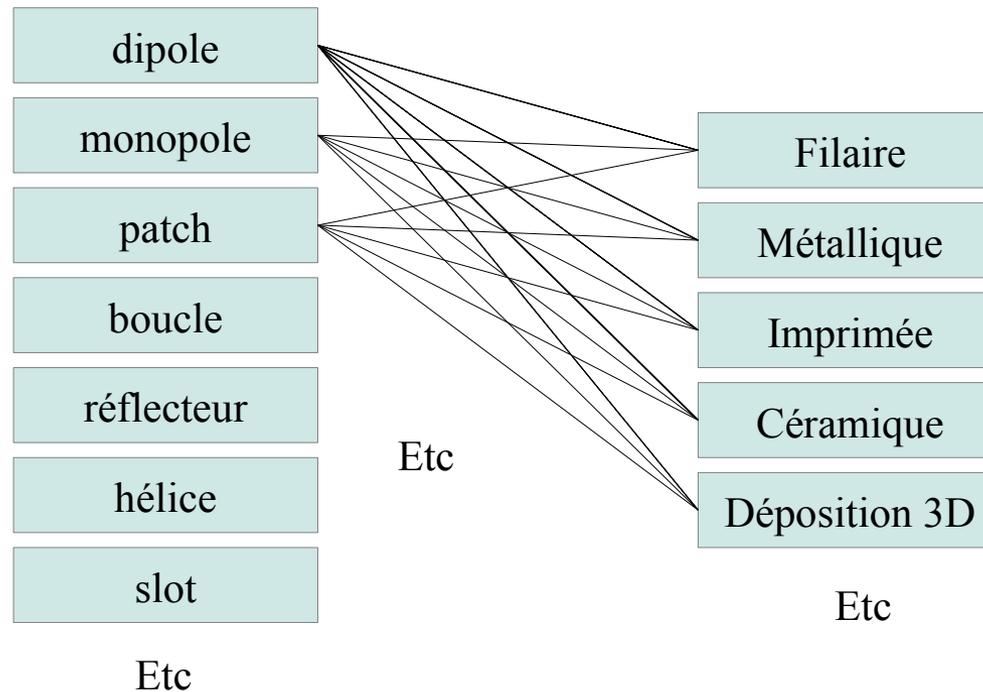
- > Influence de la constante dielectrique
- > , antennes filaires,
- > Antennes métalliques
- > Antennes imprimées
- > Antennes céramiques
- > Structures 3D

+ Antennes, encombrement et largeur de bande

# Les technologies de réalisation des antennes

## Introduction

- ◆ Topologies et technologie de réalisation sont indépendants



- ◆ Modules dédiés pour les antennes filaires, imprimées, céramiques
- ◆ Ce module = introduction générale aux différentes technologies

# Les technologies de réalisation des antennes

## Influence de la constante diélectrique

- ◆ Constante diélectrique (ou permittivité relative)  $\epsilon_r$  = Vitesse de polarisation d'un matériau soumis à un champ électrique
- ◆ Vitesse de propagation et longueur d'onde proportionnels à  $1/\sqrt{\epsilon_r}$

Matériau	Permittivité relative $\epsilon_r$
vide	1
Air sec	1,0006
isolant de câble de téléphone	1,5
Teflon (PTFE)	2,1
huile de transformateur, paraffine, pétrole	2,2
papier	2,3
polystyrène (PS)	2,4
caoutchouc vulcanisé	2,7
Plexiglas (PMMA)	3,5
Papier Kraft (imprégné d'huile)	3,5 <sup>2</sup>
Bakélite (PF)	3,6
marbre	4
isolant de câble pour courant fort	4,5
quartz	4,5
verre standard	5
mica	3-6 <sup>3</sup>
eau	78,5

$$V_p = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}}$$

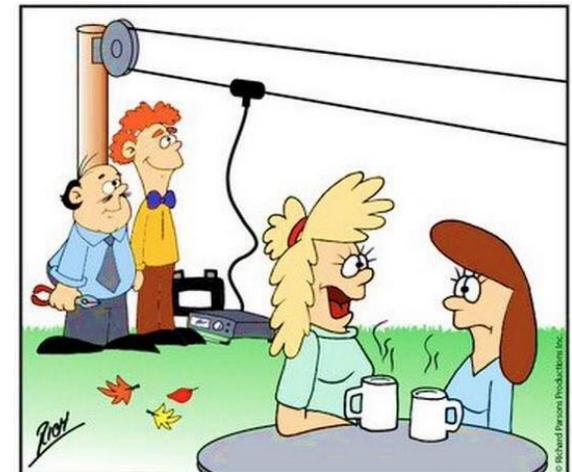
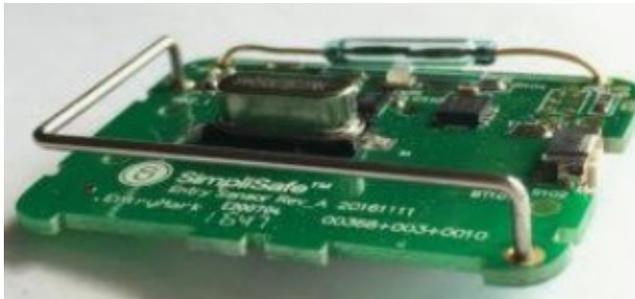


Et donc la longueur physique  
d'une antenne quart d'onde aussi !

# Les technologies de réalisation des antennes

## Antennes filaires

- Première technologie de réalisation d'une antenne : Fils conducteurs
- Structures dipôles, monopoles, boucle, mais aussi Yagi, IFA, etc
- Très bonnes performances mais encombrant

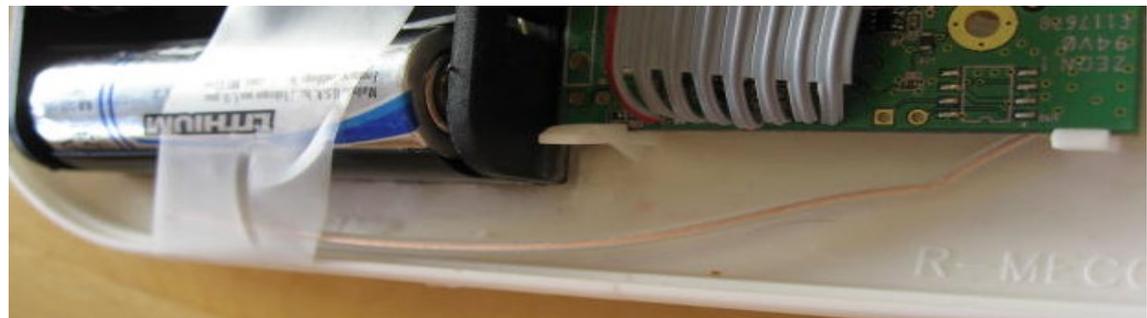
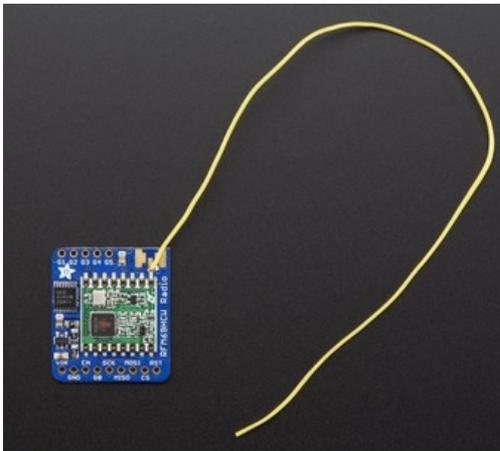


Stan & Cliff have been working all day on installing my clothesline, Mary.

# Les technologies de réalisation des antennes

## Antennes filaires

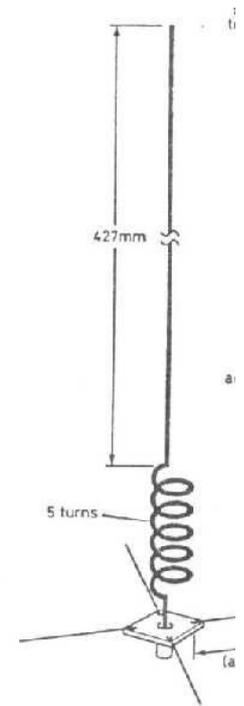
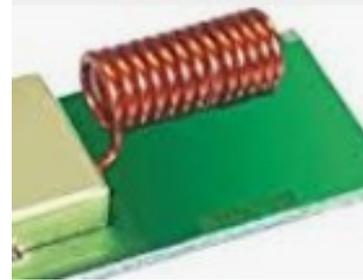
- Le plus important :
  - Géométrie de l'antenne stable (maintien par clips, etc)
  - Penser au plan de masse si monopole
  - Parties à haute impédance loin des objets
- Quelques très mauvais exemples :



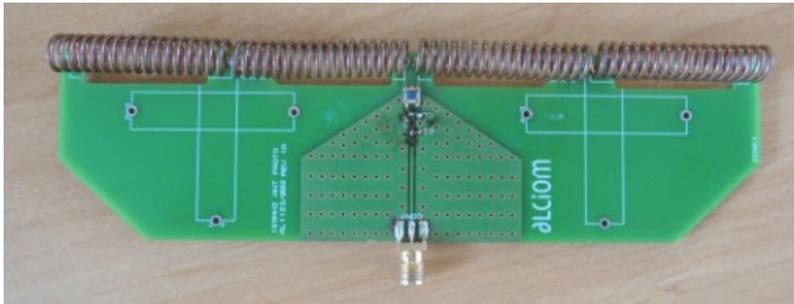
# Les technologies de réalisation des antennes

## Antennes filaires

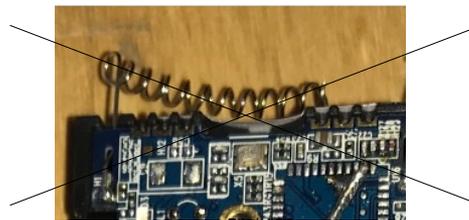
- Encombrant, peut être « tassé » par bobinage (mais moins bon...)



- Ou dipôles :



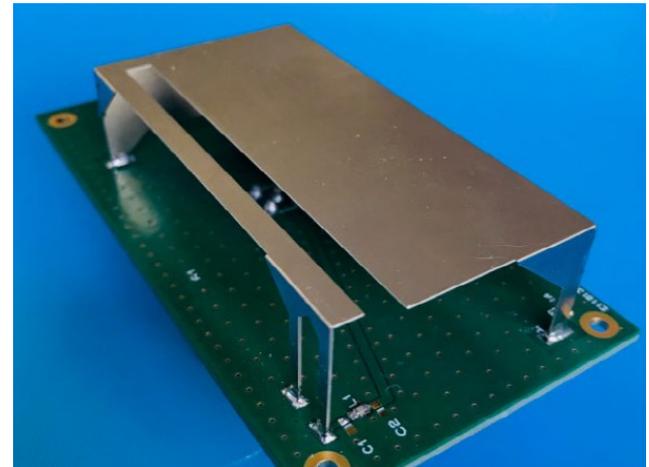
- Attention au maintien mécanique aussi...



# Les technologies de réalisation des antennes

## Antennes métalliques

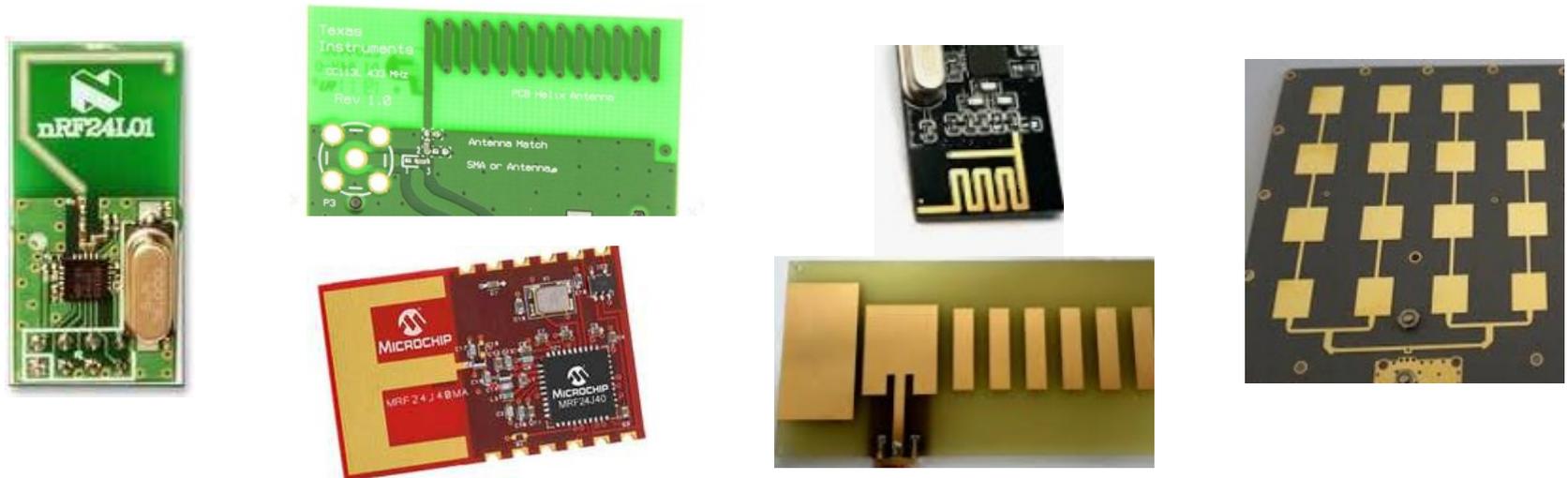
- Une variante souvent performante et très bas coût en série : L'antenne tôle
- Permet facilement de faire des antennes à angle droit du PCB : Plus de possibilités qu'une antenne imprimée... et permet de mettre des composants sous l'antenne
- Grande flexibilité de formes donc peut être optimisée par simulation
- Attention au choix des alliages (rigidité et conductivité de surface)



# Les technologies de réalisation des antennes

## Antennes imprimées

- Méthode bas coût : l'antenne imprimée
- Plus compacte qu'une antenne filaire ou métal (car constante diélectrique  $> 1$ )
- Moins compacte qu'une antenne céramique (mais plus large bande)
- Structures monopole, dipole, PIFA, boucles, yagii, etc
- Permet aussi de créer des patch ou réseaux de patches (avec plan de masse)

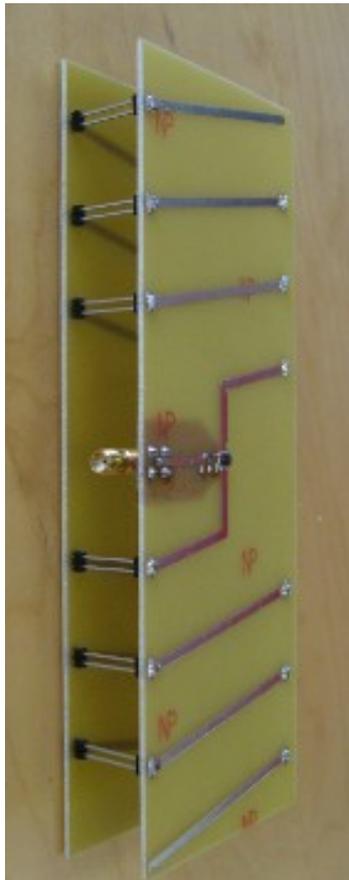


- Simulation quasi indispensable, et performances dépendantes du choix du substrat et de sa stabilité, cf module dédié

# Les technologies de réalisation des antennes

## Antennes imprimées

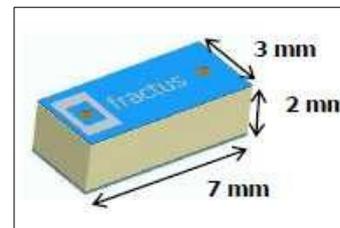
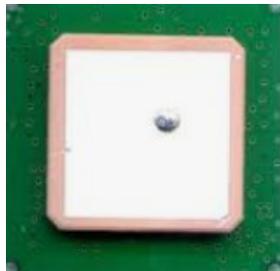
- Structures mixtes possibles, par exemple imprimé + filaire
- Deux exemples Alciom :



# Les technologies de réalisation des antennes

## Antennes céramiques

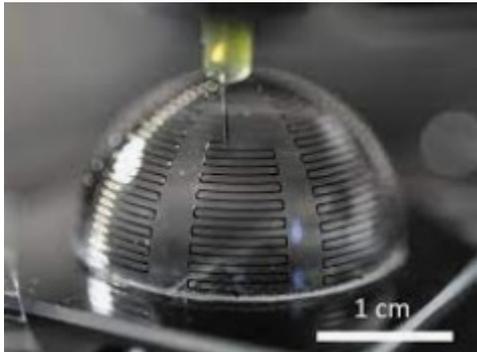
- Antenne céramique : Imprimée sur matériau à constante diélectrique élevée
- Toutes topologies possibles : monopole, dipole, patch, boucle, etc
- Avantages :
  - Très petite taille (car constante diélectrique élevée)
  - Faciles à industrialiser
  - Performances raisonnables
- Inconvénients :
  - Bande étroite, donc très sensibles à l'environnement
  - Respect scrupuleux des recommandations d'implantation
  - Adaptation d'impédance plus complexe
- Quelques fournisseurs :  
Wurth, Taoglass, Murata, Linx, Yageo, Fractus...



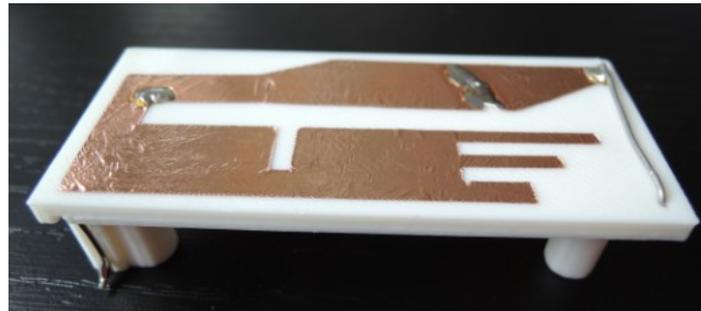
# Les technologies de réalisation des antennes

## Structures 3D

- ♦ Une direction de recherche : Structures d'antennes 3D complexes, en particulier réalisées par impression 3D
- ♦ Une évolution de la plastronique...



- ♦ Des solutions mixtes possibles, exemple d'un brevet Alciom :





**Formation 203 - Antennes niveau 3 (conception)**  
**Module 05 - Antennes, encombrement  
et largeur de bande**



# Les technologies de réalisation des antennes

## Contenu du module

**+ Les technologies de réalisation des antennes et exemples concrets**

**- Antennes, encombrement et largeur de bande**

- > La limitation théorique
- > Petit dipôles
- > Antennes hélicoïdales vs dipôles
- > Antennes chargées capacitivement
- > Antennes IFA/PIFA

**+ La conception d'antennes filaires**

# Les technologies de réalisation des antennes

## La limitation théorique

- Peut-on faire une bonne mais petite antenne ?
- Malheureusement non ! La limite pour les petites antennes parfaites (efficacité 100%) est connue depuis 1948
- Une antenne ne peut donc pas être à la fois :

Petite  
et efficace  
et Large bande

$$Q = \frac{1}{(ka)^3} + \frac{1}{ka}$$
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

extended Chu-Wheeler criterion

A=radius sphere

Q=quality factor (freq/bandwidth)

# Les technologies de réalisation des antennes

## La limitation théorique

- Donc une antenne est :
- soit (un peu) grande,
- soit pas très efficace (mauvais gain partout...),
- soit bande très étroite (critique si environnement non parfaitement maîtrisé)
- ... soit, en pratique, un peu les 3 !
- Antennes classiques **très loin de la limite théorique**... mais cela donne la tendance

*A grand vaisseau, grand voyage.*

- Proverbes Russes

# Les technologies de réalisation des antennes

## Petits dipôles

- ◆ Comment faire malgré tout une antenne plus petite ?
- ◆ Utiliser des diélectriques autre que l'air (cf autres modules)
- ◆ Créer des fentes (pour rallonger le parcours du courant)
- ◆ Utiliser une antenne loin de sa résonance et l'adapter avec un réseau d'accord ?
- ◆ « Tasser » l'antenne sur elle même (hélices, etc) ?
- ◆ Utiliser une antenne loin de sa résonance et l'adapter avec une charge capacitive ?
- ◆ « Tasser » l'antenne près du plan de masse et compenser par un réseau d'accord partiellement intégré (PIFA/IFA) ?



# Les technologies de réalisation des antennes

## Petits dipôles

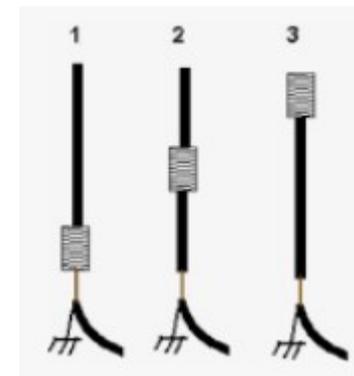
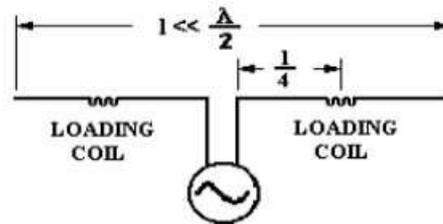
- ◆ Solution 1 : Utiliser une antenne loin de sa résonance et l'adapter
- ◆ Exemple dipole court,  $R=20\Omega$  pour  $\lambda/10$ , très capacitif
- ◆ Adaptation par inductances, monopole ou dipole

$$R_r = 20 \left( \frac{\pi L}{\lambda} \right)^2$$

### The Short Dipole

For dipoles longer than  $\lambda/5$ , the antenna can be matched to coax by using loading coils

For best results, the coils are placed in the middle of each leg of the dipole



- ◆ Inductances discrètes ou intégrées dans l'antenne (bobinage)
- ◆ Inconvénient : Pertes plus élevées, bande passante plus étroite

# Les technologies de réalisation des antennes

## Antennes hélicoidales vs dipoles

- ◆ Inductance intégrée dans l'antenne... devient l'antenne complète :

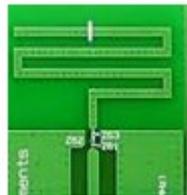
### Antenne Whip



ANT-868-VHETH

Antenna by Linx Technologies

- ◆ Même concept pour antennes imprimées : Antennes méandre etc

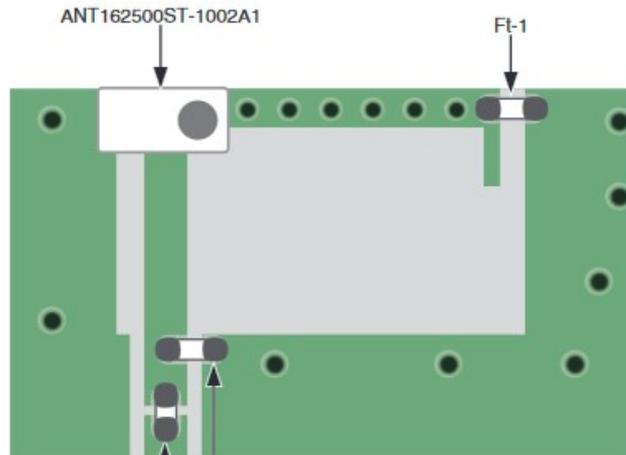


- ◆ Attention : longueur dépliée pas exactement la même qu'une antenne droite

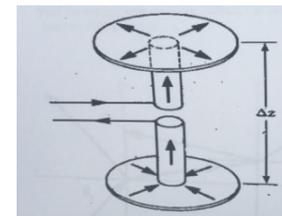
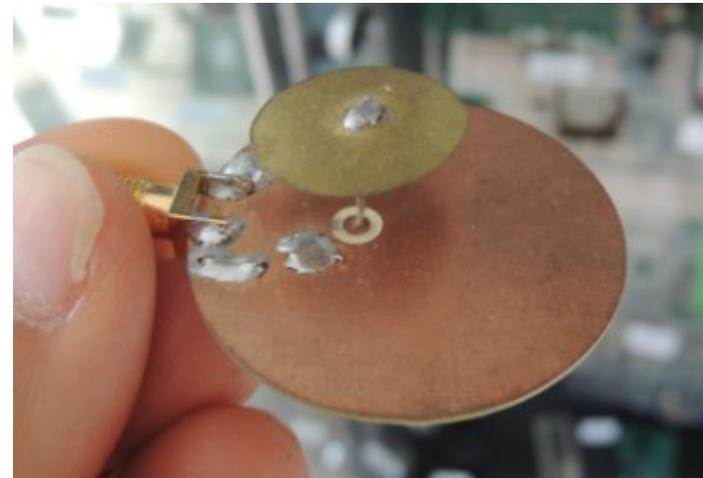
# Les technologies de réalisation des antennes

## Antennes chargées capacitivement

- ♦ Une autre manière de compenser l'impédance très faible d'un dipôle ou monopole court : Ajouter un condensateur à son extrémité
- ♦ Peut être un « vrai » condensateur ou une structure métallique



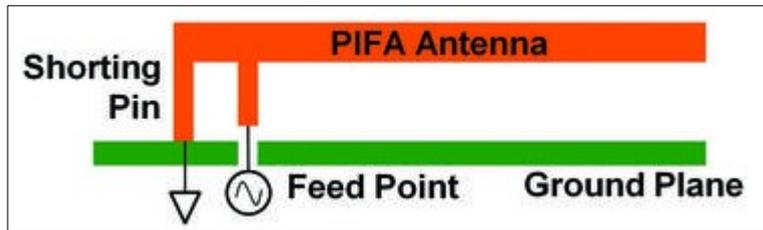
	Element Value
Ft-1	1.6pF
Mt-1	0.6pF (Shunt)
Mt-2	1.3pF (Series)



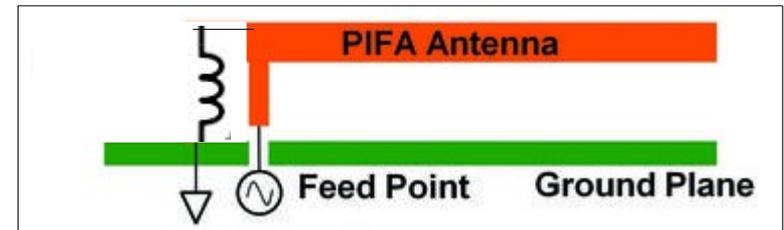
# Les technologies de réalisation des antennes

## Antennes IFA/PIFA

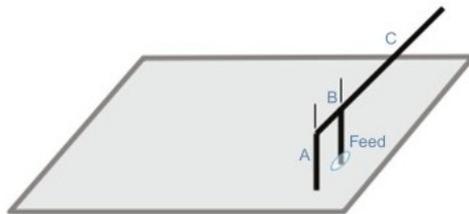
- L'une des solutions : "plier" l'antenne sur le plan de masse
- Mais rend l'antenne très capacitive
- Antenne PIFA (planar inverted F) : Un monopole plié + accord d'impédance



=



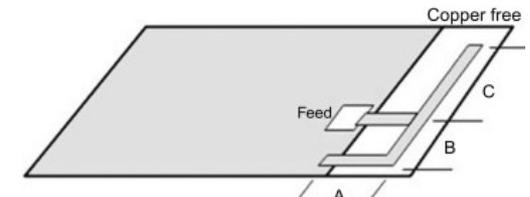
- Quelques variations :



IFA



PIFA

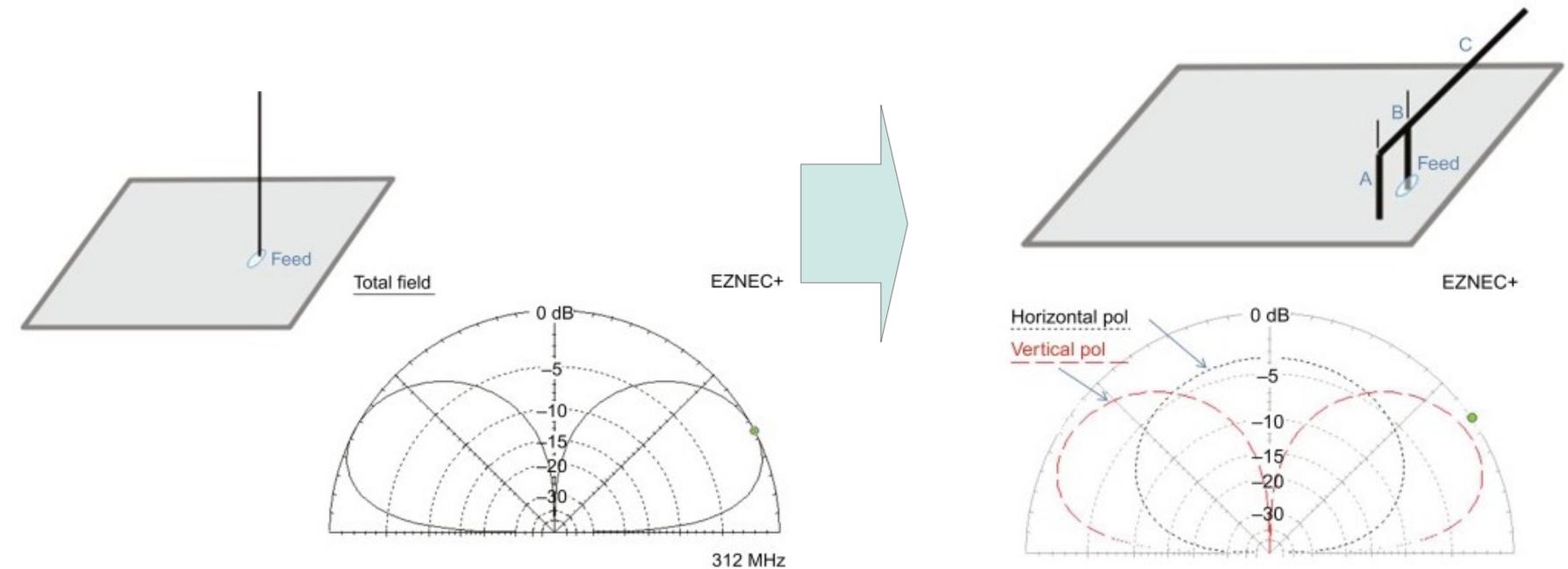


IFA planaire

# Les technologies de réalisation des antennes

## Antennes IFA/PIFA

- Diagramme de rayonnement d'une antenne IFA :

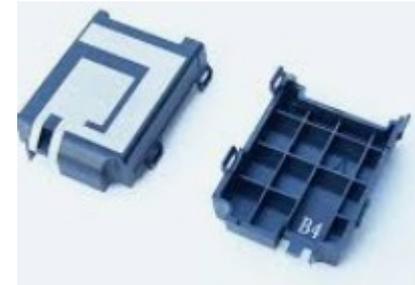
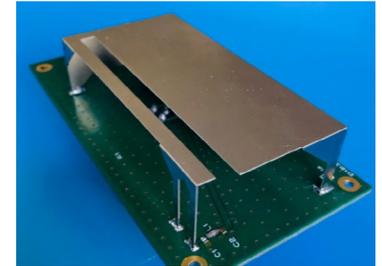
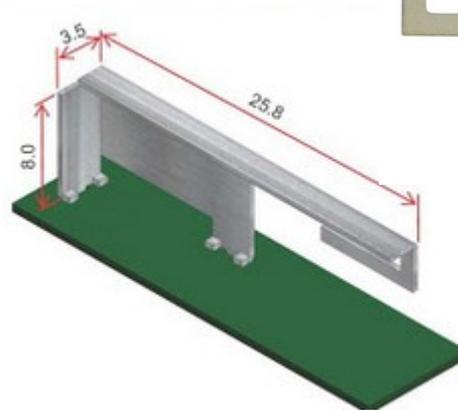
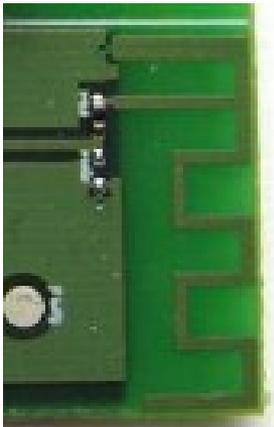


Source : <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/monopole-antenna>

# Les technologies de réalisation des antennes

## Antennes IFA/PIFA

- Quelques exemples :





**Formation 203 - Antennes niveau 3 (conception)**  
**Module 06 - Conception d'antennes filaires**



# La conception d'antennes filaires

## Contenu du module

### - La conception d'antennes filaires

- > Le modèle
- > Exemples d'outils de simulation EM filaires
- > Limitations et exemple d'applications
- > Travaux pratiques : Conception et simulation d'une antenne filaire (logiciel 4NEC2, version gratuite)

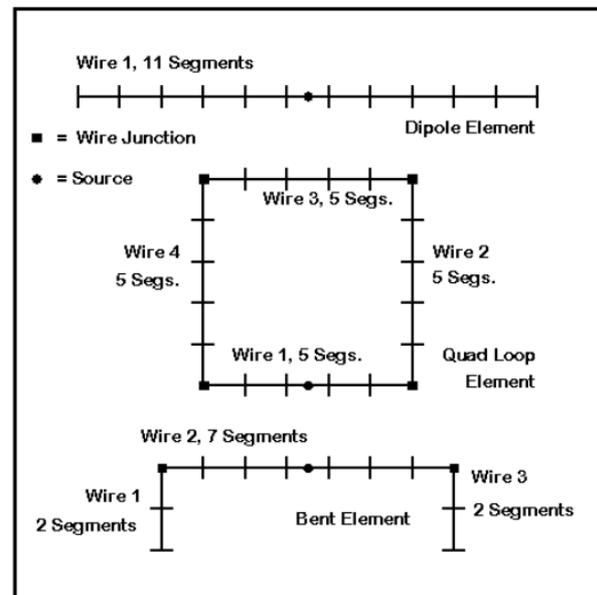
### + Les antennes céramique

### + Les antennes imprimées

# La conception d'antennes filaires

## Le modèle

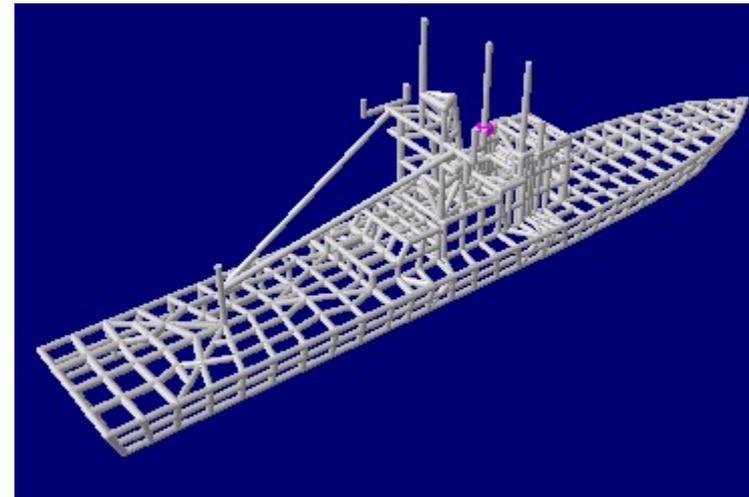
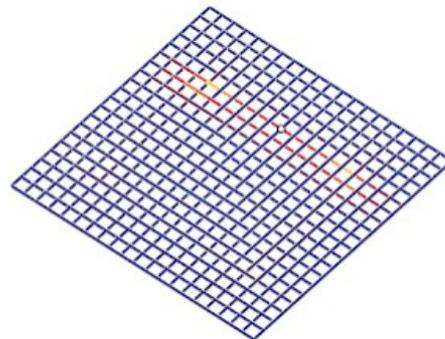
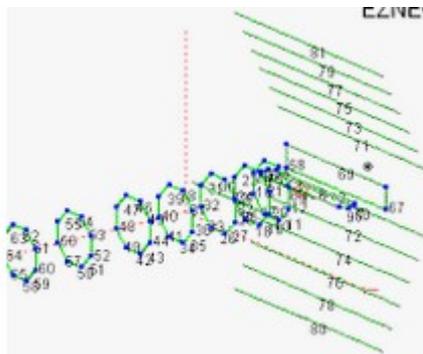
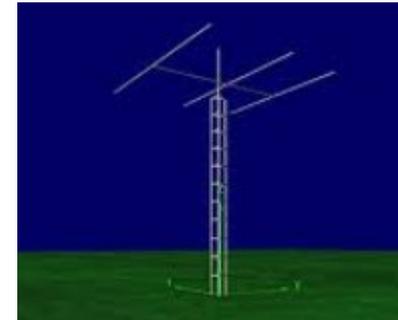
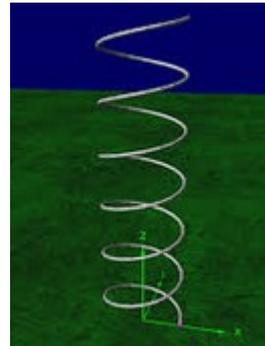
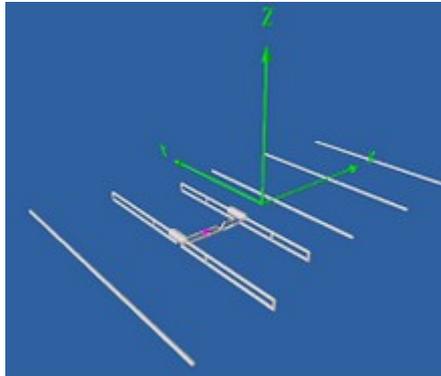
- ◆ Les outils de simulation les plus simples : Structure de « fils » et calcul par la **méthode des moments**
- ◆ Structure d'antenne = **Ensemble de conducteurs rectignes**
- ◆ Un conducteur = N segments (typiquement  $< \lambda/20$ )
- ◆ Diamètre des segments configurable (mais fins :  $d < l/4$ )
- ◆ Source = Jonction de deux segments



# La conception d'antennes filaires

## Le modèle

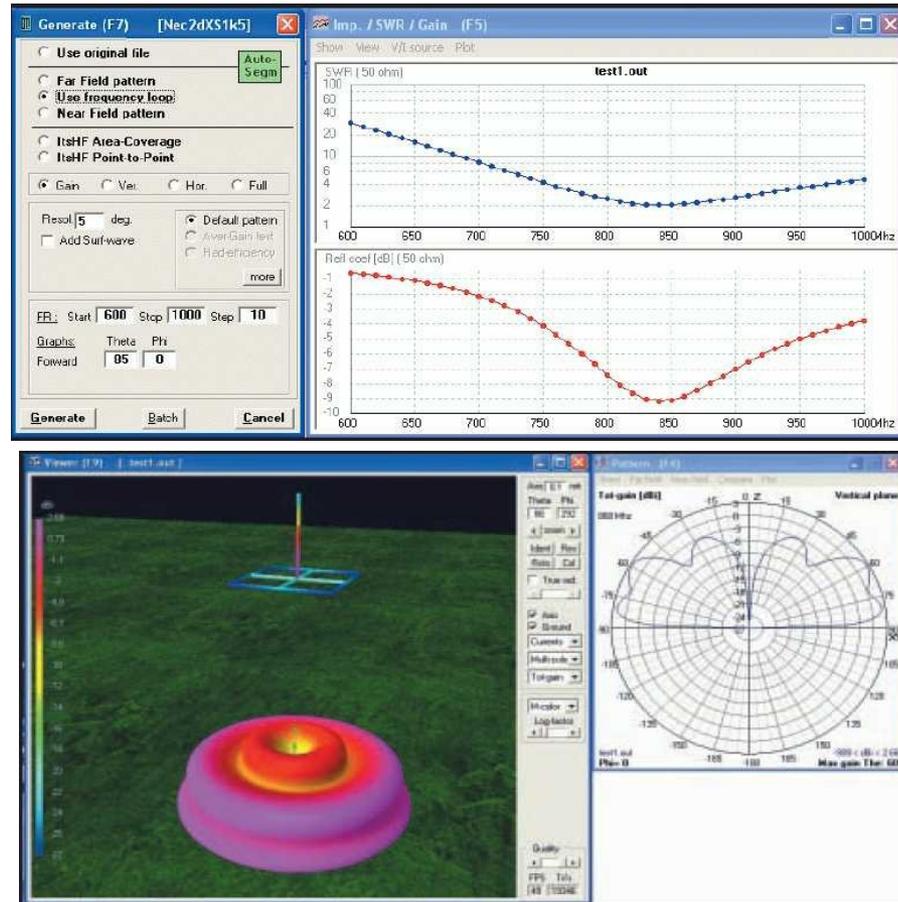
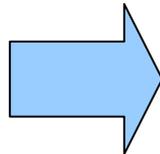
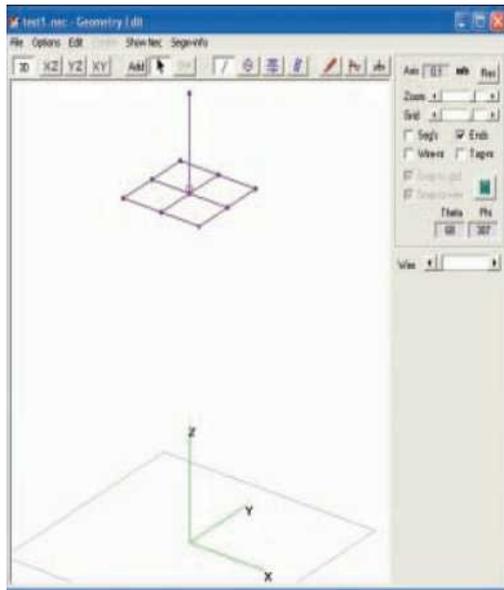
- ◆ Semble limité, mais permet de simuler beaucoup de choses...



# La conception d'antennes filaires

## Exemples d'outils de simulation EM filaires

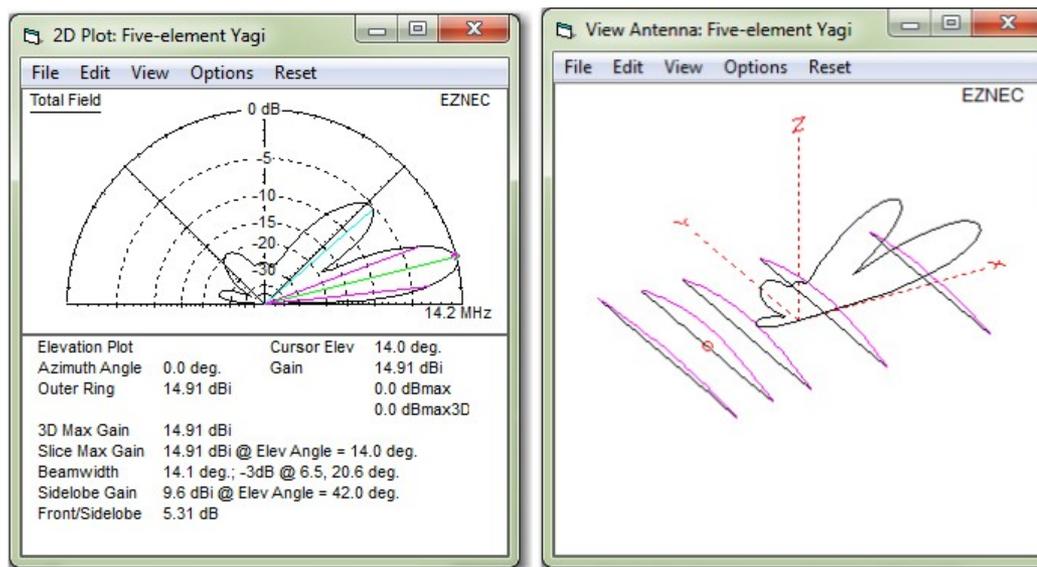
- Le logiciel de référence : NEC
- Développé en Fortran en 1970 (Lawrence Livermore Lab)
- Plein de versions, dont NEC2 (domaine public), MININEC, etc



# La conception d'antennes filaires

## Exemples d'outils de simulation EM filaires

- Un autre logiciel basé sur NEC, commercial : EZNEC
- Ergonomie peut être plus intuitive



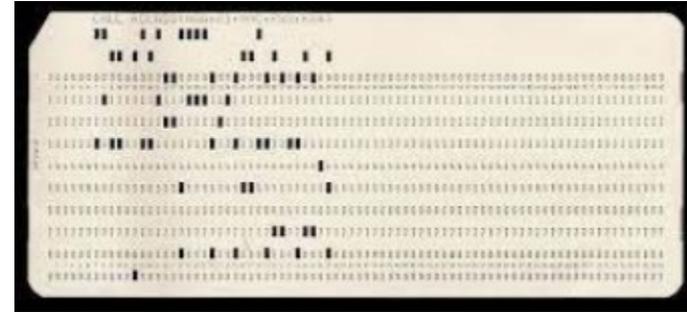
## ***EZNEC Antenna Software by W7EL***

***EZNEC (PRO/2) WILL BE FREE BEGINNING IN 2022.***  
***EZNEC PRO/4 WILL BE DISCONTINUED.***  
***THERE WILL BE NO SUPPORT OR REFUNDS AFTER 2021.***

# La conception d'antennes filaires

## Exemples d'ouils de simulation EM filaires

- NEC basé sur fichiers de « cartes »
- Une ligne = une carte



CM ⋮ CE	Comments  End of Comment Blocks
GW/SP/... ⋮ GE	Geometry Definition  End of Geometry Block
EX/GR/LD/FR/RP/... ⋮ EN	Program Control  End of Program

# La conception d'antennes filaires

## Exemples d'ouils de simulation EM filaires



- Un exemple :

```
CM TESTEX5
CM 12 ELEMENT LOG PERIODIC ANTENNA IN FREE SPACE
CM 78 SEGMENTS. SIGMA=O/L RECEIVING AND TRANS. PATTERNS.
CM DIPOLE LENGTH TO DIAMETER RATIO=150.
CE TAU=0.93. SIGMA=0.70. BOOM IMPEDANCE=50. OHMS.
GW 1 5 0.0000 -1.0000 0.0000000 0.00000 1.0000 0.000 .00667
GW 2 5 -.7527 -1.0753 0. -.7527 1.0753 0. .00717
GW 3 5 -1.562 -1.1562 0. -1.562 1.1562 0. .00771
GW 4 5 -2.4323 -1.2432 0. -2.4323 1.2432 0. .00829
GW 5 5 -3.368 -1.3368 0. -3.368 1.3368 0. .00891
GW 6 7 -4.3742 -1.4374 0. -4.3742 1.4374 0. .00958
GW 7 7 -5.4562 -1.5456 0. -5.4562 1.5456 0. .0103
GW 8 7 -6.6195 -1.6619 0. -6.6195 1.6619 0. .01108
GW 9 7 -7.8705 -1.787 0. -7.8705 1.787 0. .01191
GW 10 7 -9.2156 -1.9215 0. -9.2156 1.9215 0. .01281
GW 11 9 -10.6619 -2.0662 0. -10.6619 2.0662 0. .01377
GW 12 9 -12.2171 -2.2217 0. -12.2171 2.2217 0. .01481
GE
FR 0 0 0 0 46.29 0.
TL 1 3 2 3 -50.
TL 2 3 3 3 -50.
TL 3 3 4 3 -50.
TL 4 3 5 3 -50.
TL 5 3 6 4 -50.
TL 6 4 7 4 -50.
TL 7 4 8 4 -50.
TL 8 4 9 4 -50.
TL 9 4 10 4 -50.
TL 10 4 11 5 -50.
TL 11 5 12 5 -50. ,0.,0.,0.,.02
EX 0 1 3 10 1
RP 0 37 1 1110 90. 0. -5. 0.
EN
```

CM : Commentaire

CE : Fin des commentaires

GW : Fil rayonnant (rectiligne)

GE : Fin de la structure rayonnante

Ex : GW 1 : de -1m à +1m sur l'axe Y,  
5 segments, diametre 6,67mm

FR : Consigne de simulation (46,29MHz)

TL : Ligne de transmission (non rayonnante)  
interconnectant des fils rayonnants

EX : Source d'excitation

RP : Radiation pattern

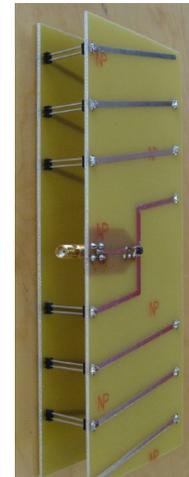
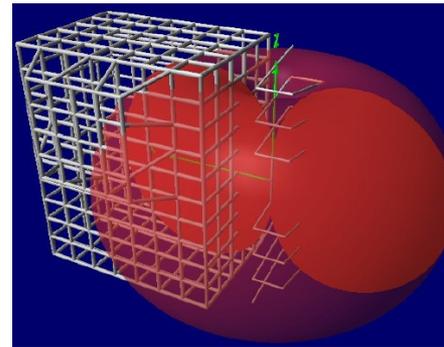
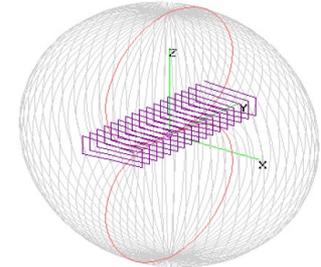
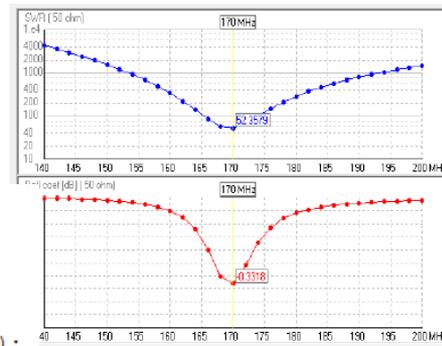
EN : Fin

# La conception d'antennes filaires

## Limitations et exemples d'applications

- ◆ Principale limitation : Pas de diélectriques ni d'objets environnants (à part un plan de masse ou la terre)
- ◆ Mais assez aisé de générer des modèles complexes par script ou tableur, calculs très rapides et gratuits
- ◆ Un exemple :

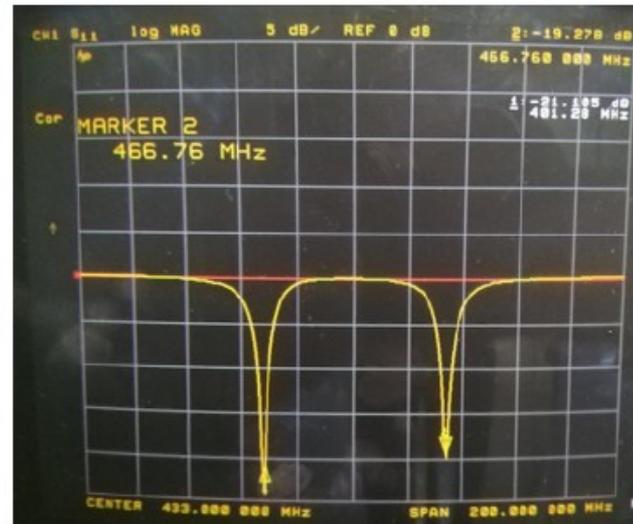
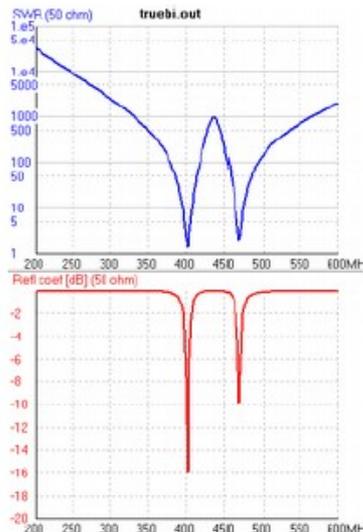
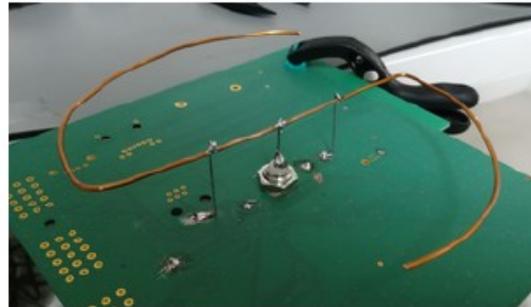
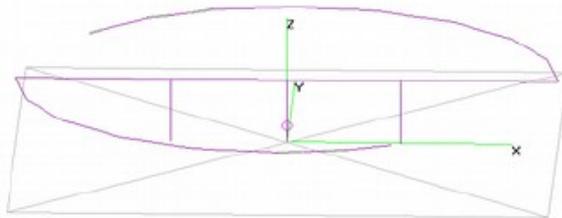
```
while (lf < la - 0.9 * sqrt(larg * larg + d * d) * 2) {  
    x1 = x0 + 1 * pow(-1, i);  
    z1 = z0 + 1 * pow(-1, i + 1);  
  
    // sur Z (hauteur)  
    fprintf(fp, "\nGW %d w2seg %f*w1x1 wly1*(%d-0.5)+ESP %f*w1z1 %f*w1x1  
            wly1*(%d-0.5)+ESP %f*w1z1 wlrads", j, x0, i, z0, x0, i, z1);  
    j++;  
    fprintf(fp, "\nGW %d w2seg %f*w1x1 -wly1*(%d-0.5)-ESP %f*w1z1 %f*w1x1  
            -wly1*(%d-0.5)-ESP %f*w1z1 wlrads", j, -x0, i, z0, -x0, i, z1);  
    j++;  
    lf = lf + 2 * h;  
  
    // sur XY (X: largeur, Y: longueur)  
    if (lf < la - 0.9 * sqrt(larg * larg + d * d) * 2) {  
        fprintf(fp, "\nGW %d w1seg %f*w1x1 wly1*(%d-0.5)+ESP %f*w1z1 %f*w1x1  
                wly1*(%d+0.5)+ESP %f*w1z1 wlrads", j, x0, i, z1, x1, i, z1);  
        j++;  
        fprintf(fp, "\nGW %d w1seg %f*w1x1 -wly1*(%d-0.5)-ESP %f*w1z1 %f*w1x1  
                -wly1*(%d+0.5)-ESP %f*w1z1 wlrads", j, -x0, i, z1, -x1, i, z1);  
        j++;  
        lf = lf + sqrt(larg * larg + d * d) * 2;  
        longueur = longueur + 2 * d;  
    }  
}
```



# La conception d'antennes filaires

## Limitations et exemples d'applications

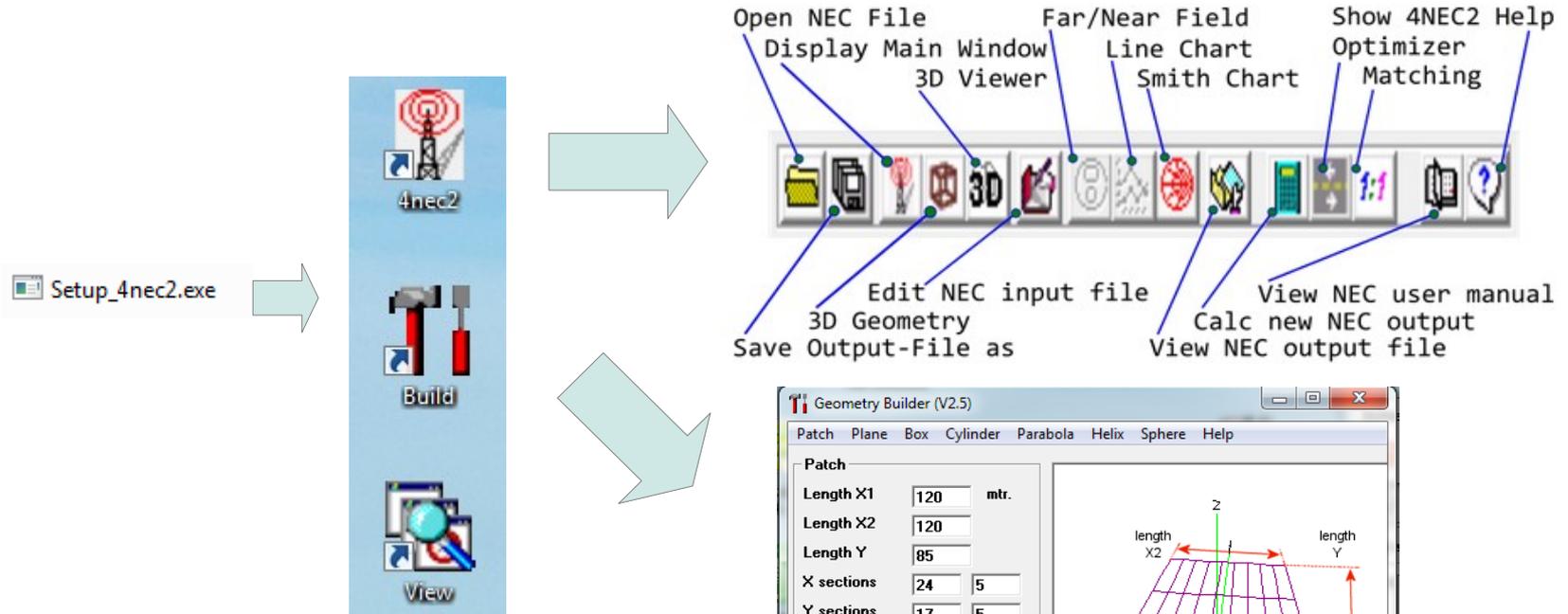
- ◆ Comme pour tout simulateur numérique, résultats très précis... si le modèle l'est
- ◆ Un exemple :



# La conception d'antennes filaires

## TP : Conception et simulation d'une antenne filaire avec 4NEC2

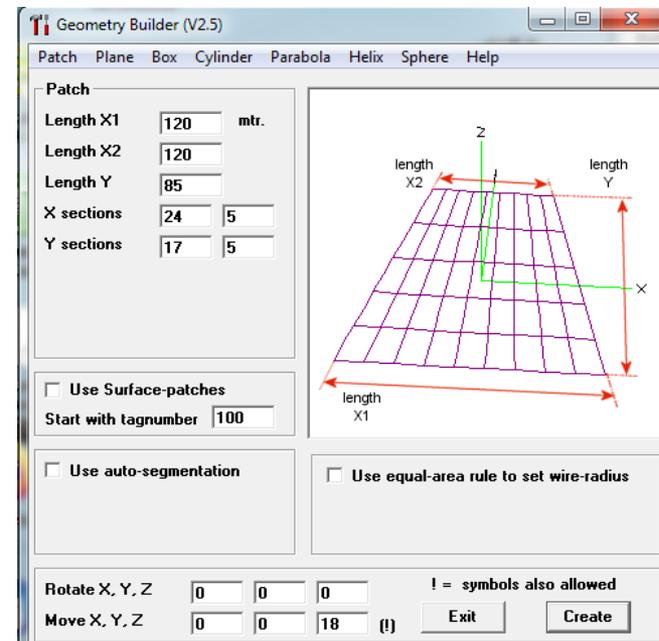
- ◆ Installez 4NEC2 (<http://www.ql.net/4nec2/>)



- ◆ Documentation :

◆ <https://leanpub.com/4nec2definitiveguide/read>

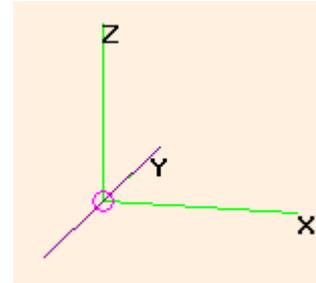
◆ [http://wireless.ictp.it/school\\_2005/download/nec2/nec\\_part1.pdf](http://wireless.ictp.it/school_2005/download/nec2/nec_part1.pdf)



# La conception d'antennes filaires

## TP : Conception et simulation d'une antenne filaire avec 4NEC2

- ◆ Ouvrir « exemple 1.nec »
- ◆ Regarder le fichier source (F6)



Symbols		Geometry		Source/Load		Freq./Ground		Others		Comment	
<b>Geometry</b> (Scaling=Meters) <input type="checkbox"/> Use wire tapering											
Nr	Type	Tag	Segs	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Radius	
1	Wire	1	9	0	-.2418	0	0	.2418	0	.0001	

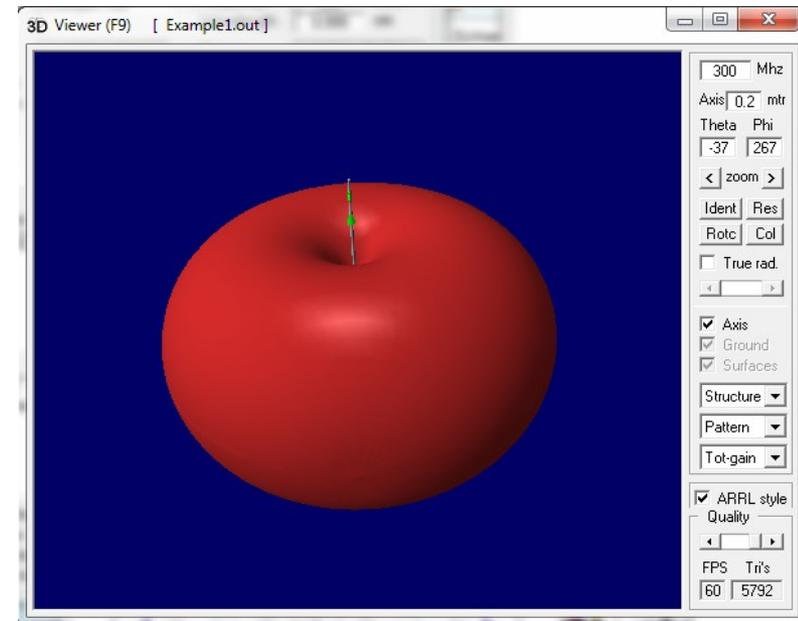
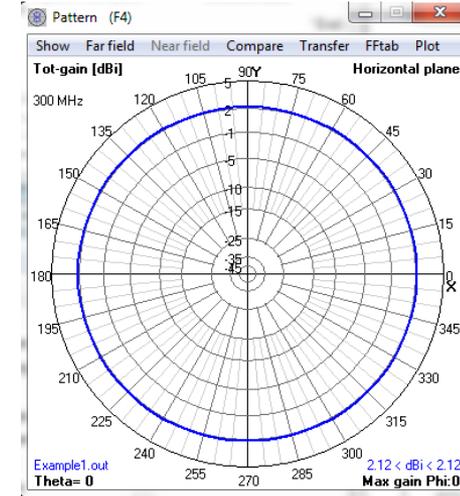
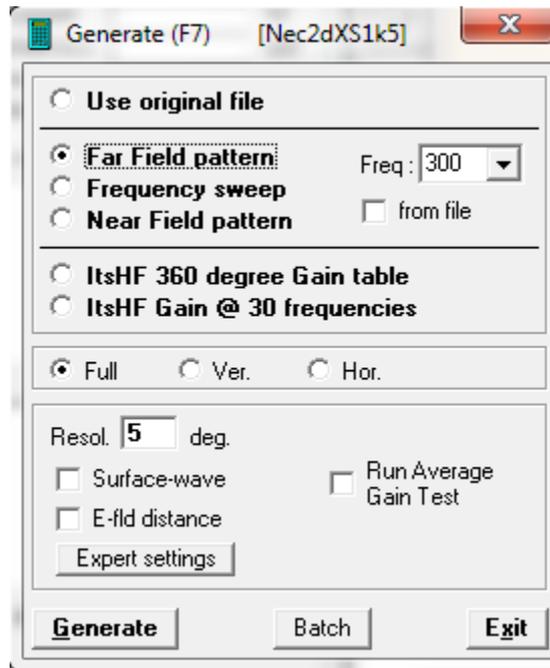
Symbols		Geometry		Source/Load		Freq./Ground		Others		Comment	
<b>Source(s)</b> <input checked="" type="checkbox"/> Show source <input type="checkbox"/> Show loads <input type="checkbox"/> Show Tr-line											
Nr	Type	Tag	Seg	(opt)	Real	Imag	Magn	Phase	(norm)		cc
1	Voltage-src	1	5	0	1	0	1	0			V

Symbols		Geometry		Source/Load		Freq./Ground		Others		Comment	
<b>Frequency</b>						<b>Ground screen</b>					
Frequency	300	Mhz				Nr of radials					
Nr steps			<input type="checkbox"/> Sweep				Radial length			mtr	
Stepsize					Wire radius					mm	
<b>Environment</b>						<b>Second ground</b>					
Ground / Free-space	Free-space									Ground type	

# La conception d'antennes filaires

## TP : Conception et simulation d'une antenne filaire avec 4NEC2

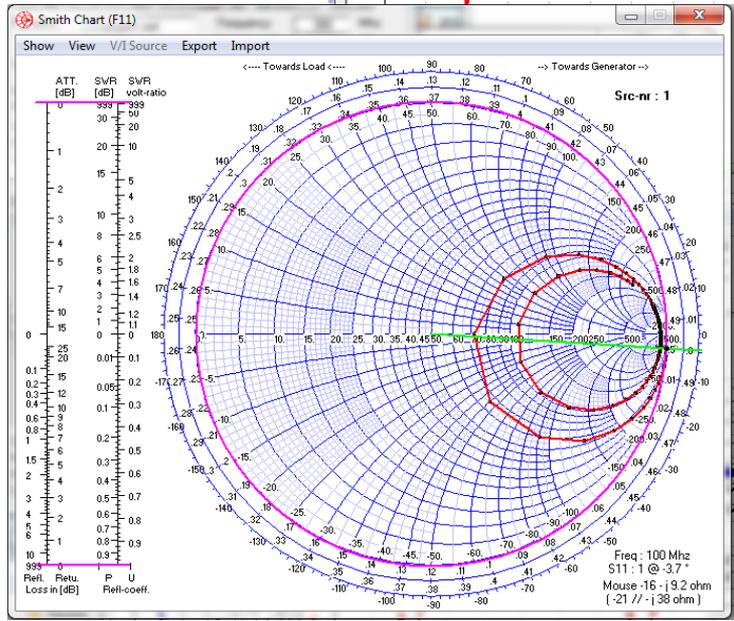
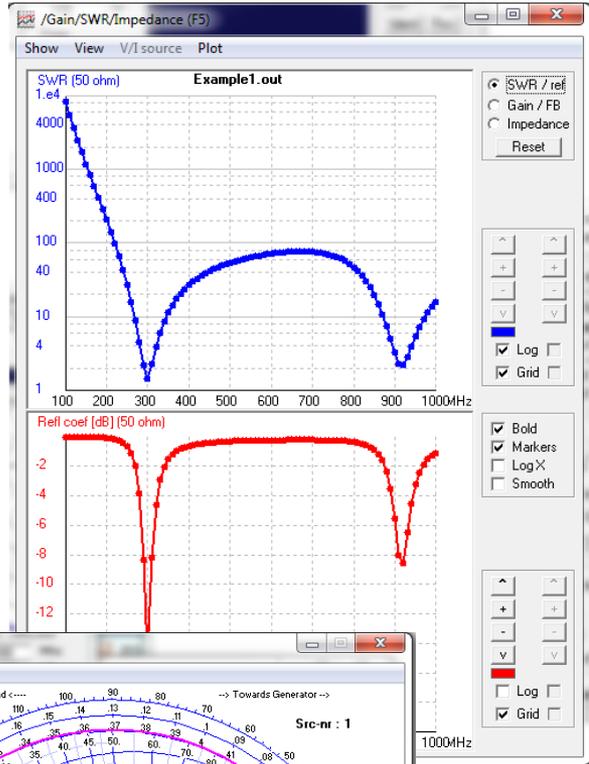
◆ « Calculate » / « NEC output date » (F7)



# La conception d'antennes filaires

## TP : Conception et simulation d'une antenne filaire avec 4NEC2

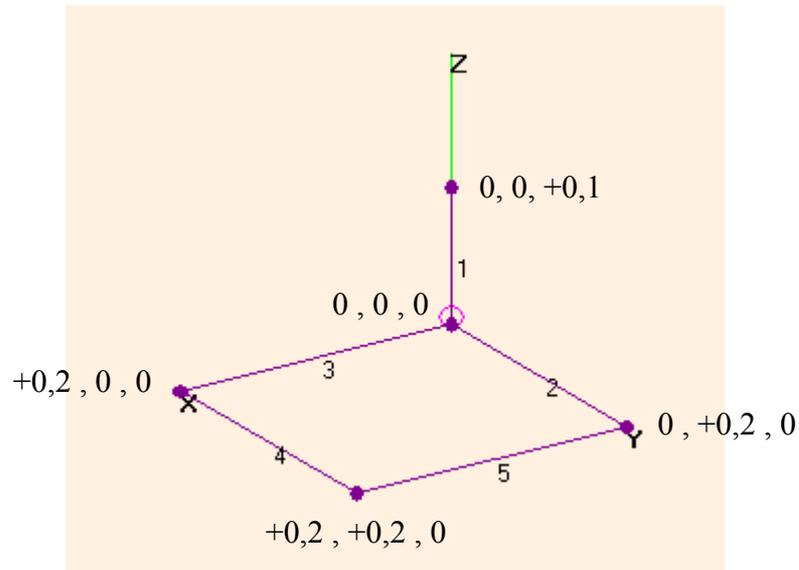
◆ « Calculate » / « NEC output date » (F7)



# La conception d'antennes filaires

## TP : Conception et simulation d'une antenne filaire avec 4NEC2

- ◆ Modifier le fichier source pour définir un monopole de 10cm au coin d'un PCB de 20x20cm



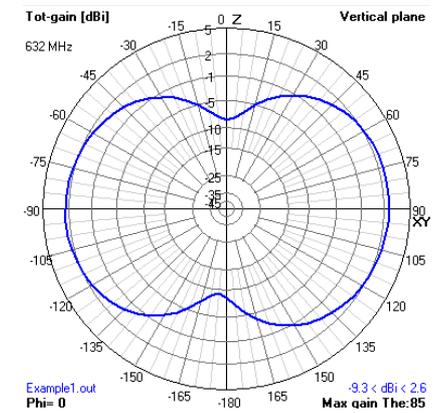
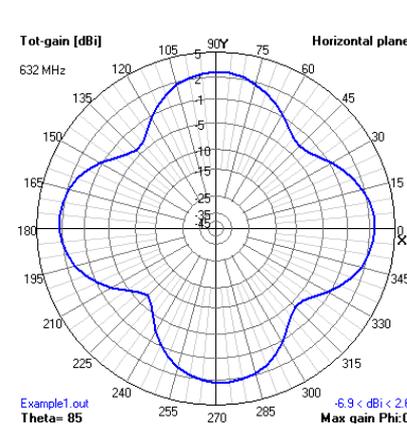
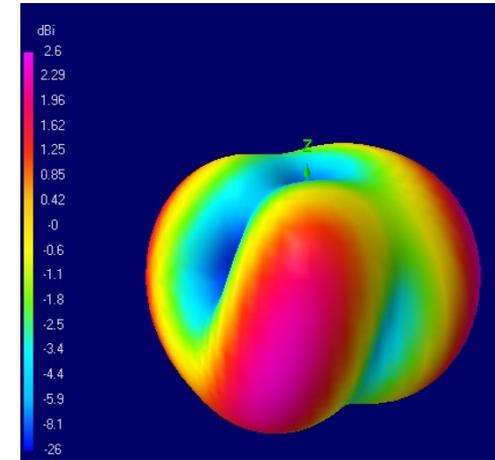
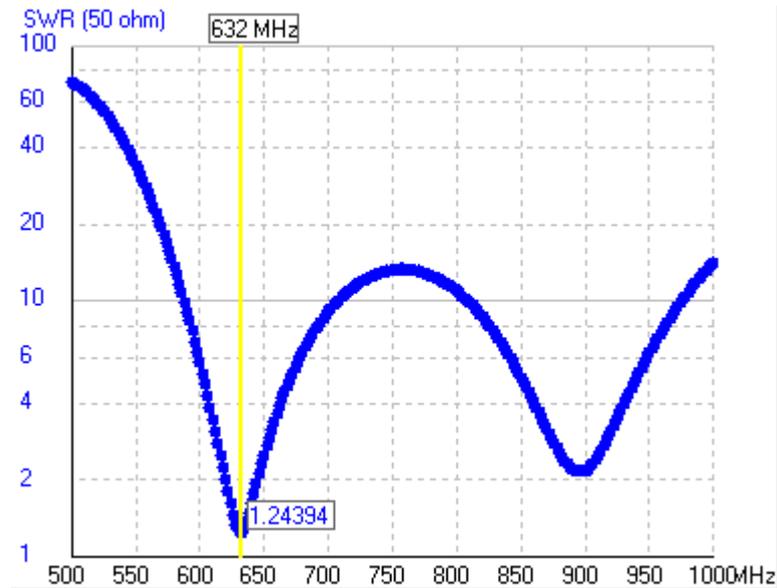
Geometry (Scaling=Meters)										
Nr	Type	Tag	Segs	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Radius
1	Wire	1	9	0	0	0	0	0	.1	.0001
2	Wire	2	9	0	0	0	0	.2	0	.0001
3	Wire	3	9	0	0	0	.2	0	0	.0001
4	Wire	4	9	.2	0	0	.2	.2	0	.0001
5	Wire	5	9	.2	.2	0	0	.2	0	.0001

Source(s)									
Nr	Type	Tag	Seg	(opt)	Real	Imag	Magn	Phase	
1	Voltage-src	1	1	0	827.162	0	1	0	

# La conception d'antennes filaires

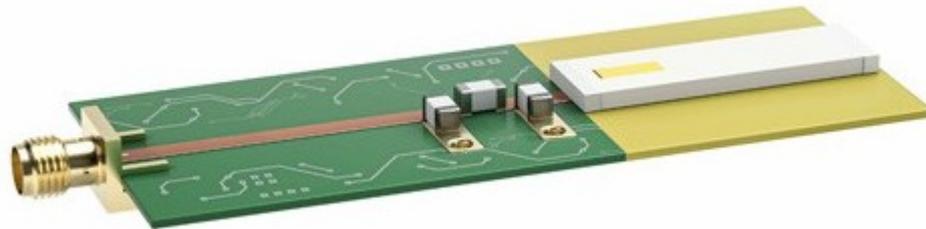
## TP : Conception et simulation d'une antenne filaire avec 4NEC2

- ◆ Calculer l'impédance, puis calculer le champ rayonné à la fréquence de résonance



- ◆ Nota :  $\lambda/4 = 10\text{cm} \Rightarrow 750\text{MHz}$

**Formation 203 - Antennes niveau 3 (conception)**  
**Module 07 - Les antennes céramique**



# Les antennes céramique

## Contenu du module

+ La conception d'antennes filaires

- Les antennes céramique

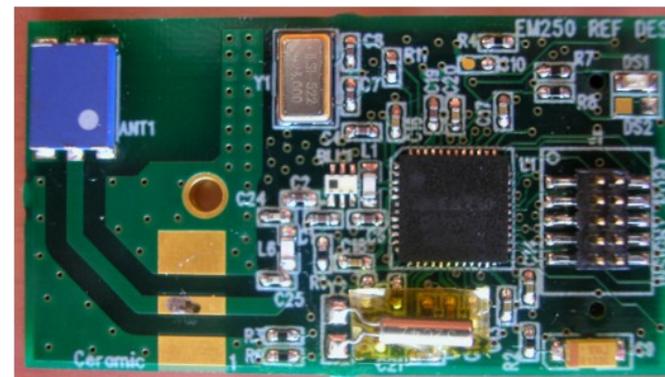
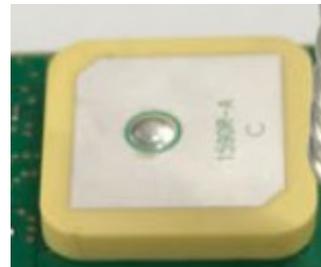
- > Technologie
- > Choix
- > Intégration
- > Limitations et précautions
- > Exemples

+ Les antennes imprimées

# Les antennes céramique

## Technologie

- ♦ Antenne céramique = Toute topologie d'antenne mais réalisée sur une céramique à forte constante diélectrique
- ♦ De là plus petite qu'une antenne filaire ou PCB, mais « moins bonne » (efficacité plus faible et/ou bande passante plus étroite)



# Les antennes céramique

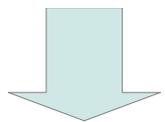
## Choix

- De nombreuses références et tailles disponibles chez les fabricants
- Conseil : Choisir les plus **grandes** possibles pour le projet !



Passive Components Antennas x Mechanical Style = Chip x Product Type = 2.4GHz Antenna - 2.4GHz, 5GHz, Bluetooth, WiFi, WLAN, Zigbee x

Results: 92

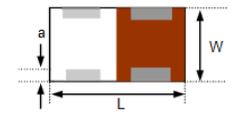


Length	Width	Height
1 mm	0.5 mm	0.3 mm
1.6 mm	0.8 mm	0.37 mm
2 mm	1 mm	0.4 mm
3 mm	1.2 mm	0.5 mm
3.2 mm	1.5 mm	0.55 mm
4 mm	1.6 mm	0.6 mm
5 mm	2 mm	0.65 mm
5.2 mm	2.2 mm	0.8 mm
8.5 mm	3.2 mm	1.2 mm
9.5 mm	3.5 mm	1.3 mm
9.6 mm	3.6 mm	1.33 mm
10 mm	3.9 mm	1.5 mm
12 mm	4 mm	2 mm
12.8 mm	6.7 mm	3 mm
20.5 mm	8.4 mm	3.3 mm
24 mm	12 mm	4 mm



Ultra-Miniature 2.4GHz Chip antenna 0.37mm max Thickness P/N 2450AT07A0100  
Detail Specification: 10/12/2020 Page 1 of 5

Mechanical Dimensions	
	In mm
L	0.039 ± 0.004 1.00 ± 0.10
W	0.020 ± 0.004 0.50 ± 0.10
T	0.014 max 0.37 max
a	0.006 +.004/-0.006 0.15 +0.1/-0.05
b	0.010 +.004/-0.006 0.25 +0.1/-0.05
c	0.003 +.004/-0.006 0.08 +0.1/-0.05

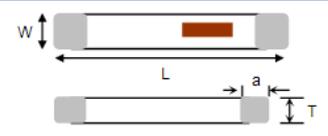


Peak Gain (dBi typ.)	1.0 (XZ-Total)
Average Gain (dBi typ.)	-1.5 (XZ-Total)



2.45 GHz High Gain SMD Chip Antenna P/N 2450AT45A100  
Detail Specification: 11/7/2016 Page 1 of 10

Mechanical Specifications	
	In mm
L	0.374 ± 0.008 9.50 ± 0.20
W	0.079 ± 0.008 2.00 ± 0.20
T	0.047 +.004/-0.008 1.20 +0.1/-0.2
a	0.020 ± 0.012 0.50 ± 0.30



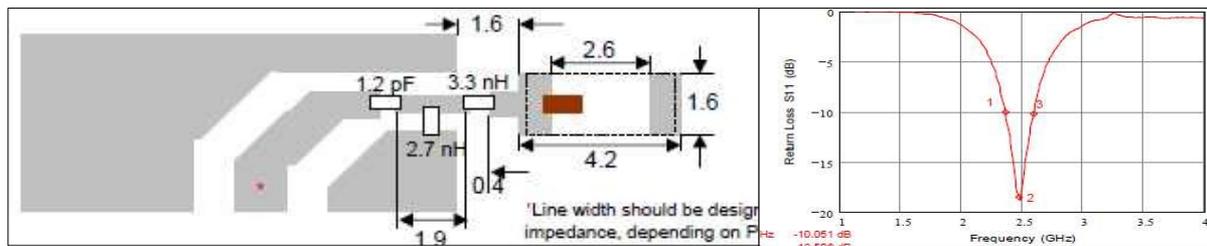
Antenna Gain Based on Orientation	
Mounting1 Vertical Orientation (Page 2)	2.2 dBi typ. (XZ-V)
Mounting2 Horizontal Orientation Type A (Pages 4/5)	1.5 dBi typ. (XZ-V)
Mounting3 Horizontal Orientation Type B (Pages 7/8)	1.3 dBi typ. (XZ-V)



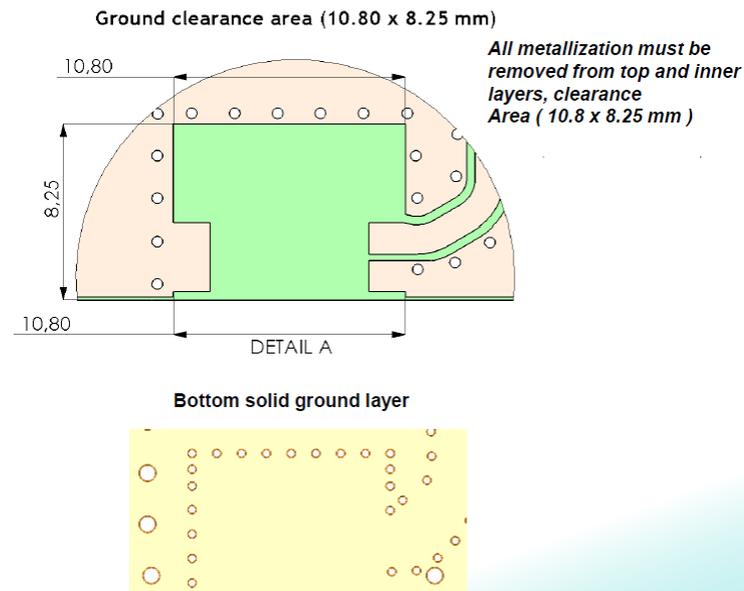
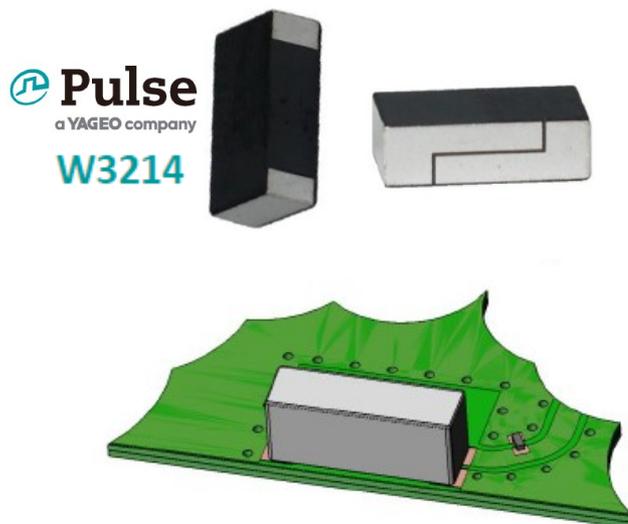
# Les antennes céramique

## Intégration

- Optimisation de l'adaptation d'impédance absolument indispensable
- Respecter scrupuleusement les indications du fabricant



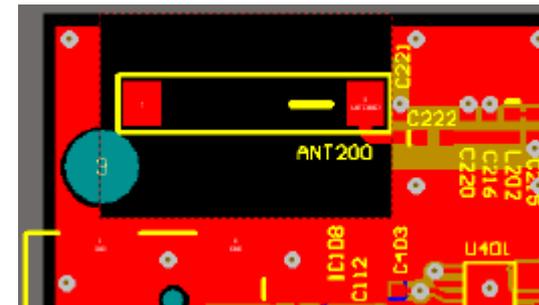
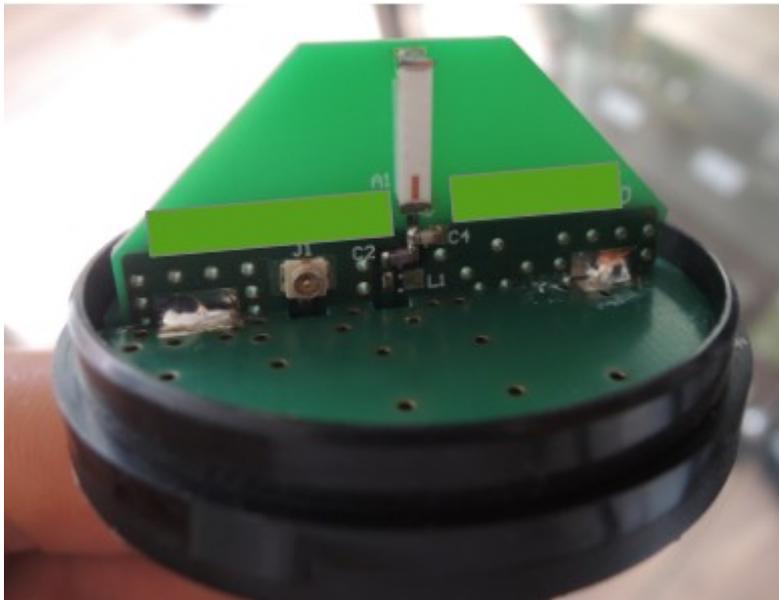
- Certaines sont plus critiques que d'autres...



# Les antennes céramique

## Intégration

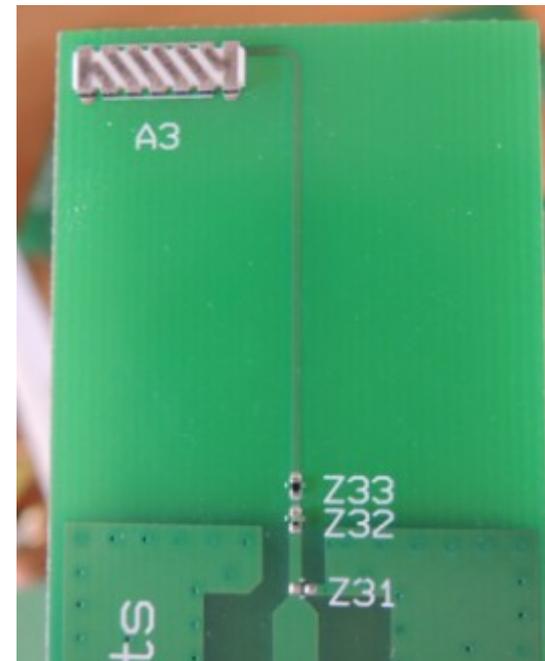
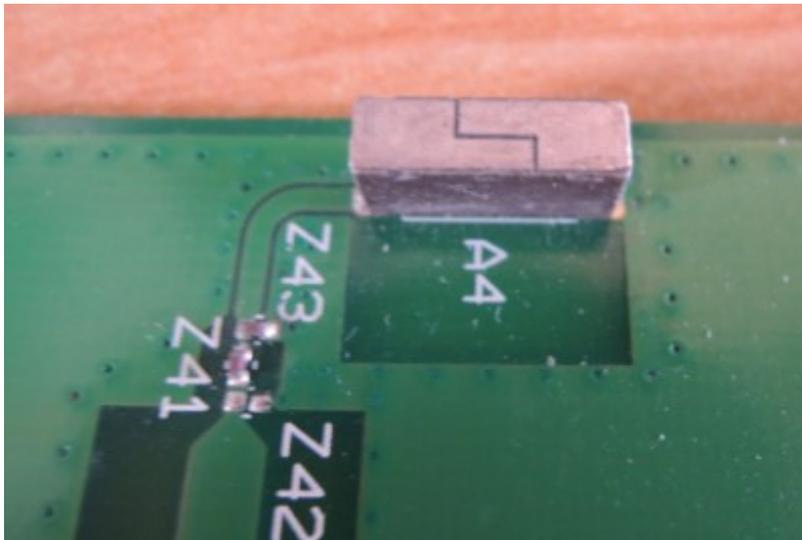
- ◆ Intégrer une antenne céramique = Autant voire plus de soin que pour une antenne imprimée ou filaire
- ◆ Penser à la zone de champ proche, au plan de masse...
- ◆ Un bon exemple et un mauvais



# Les antennes céramique

## Intégration

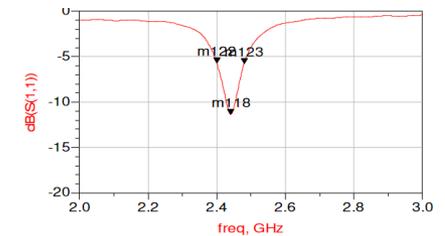
- ◆ Certaines antennes céramique sont conçues pour être associée à une structure imprimée. Respecter à la lettre les conseils du fabricant !



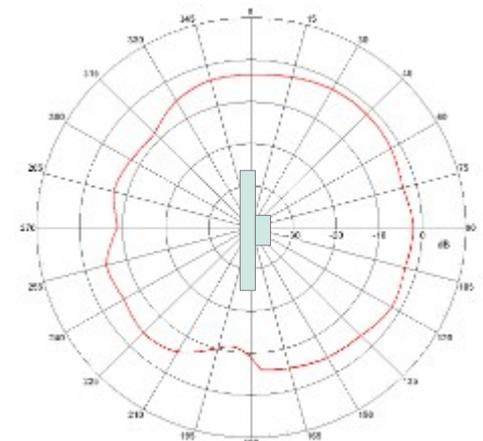
# Les antennes céramique

## Intégration

- ◆ Un cas particulier : les antennes « zero clearance »
- ◆ Micro-boucles, mais conçues pour être sur un plan de masse
- ◆ Attention ce ne sont pas des patches, rayonnement aussi par le plan de masse !
- ◆ Très dépendantes du substrat , et bande très étroite



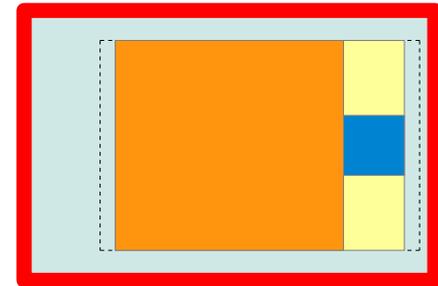
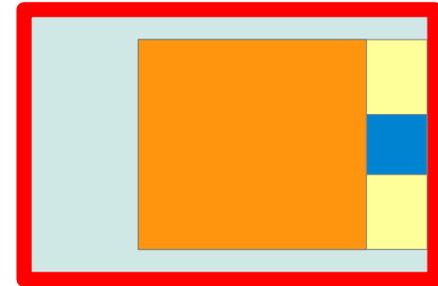
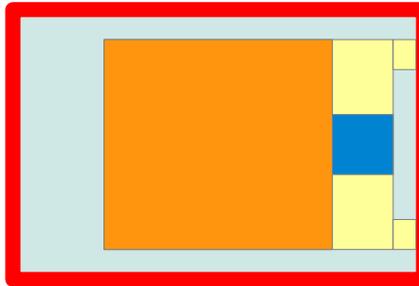
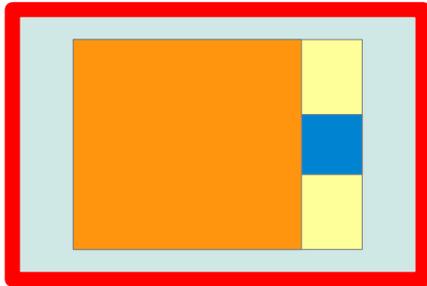
m122 freq=2.400GHz dB(S(1,1))=-5.691	m118 freq=2.440GHz dB(S(1,1))=-11.343	m123 freq=2.480GHz dB(S(1,1))=-5.746
--	---	--



# Les antennes céramique

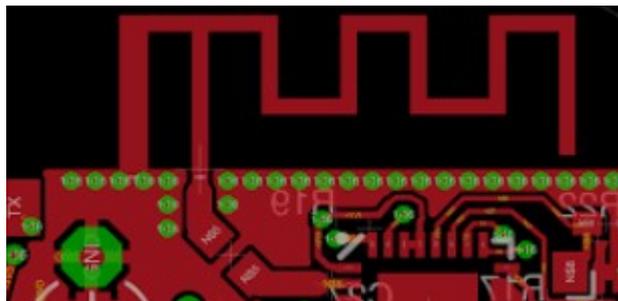
## Limitations et précautions

- ◆ Réaccord souvent complexe, en particulier si loin des conditions du kit d'éval
- ◆ Perturbations importante en quasi contact : Pas de résinage ni même de plastique trop proche
- ◆ A minima, garantir une bonne stabilité des conditions proches





**Formation 203 - Antennes niveau 3 (conception)**  
**Module 08 - Les antennes imprimées**



# Les antennes imprimées

## Contenu du module

+ Les antennes céramique

- Les antennes imprimées

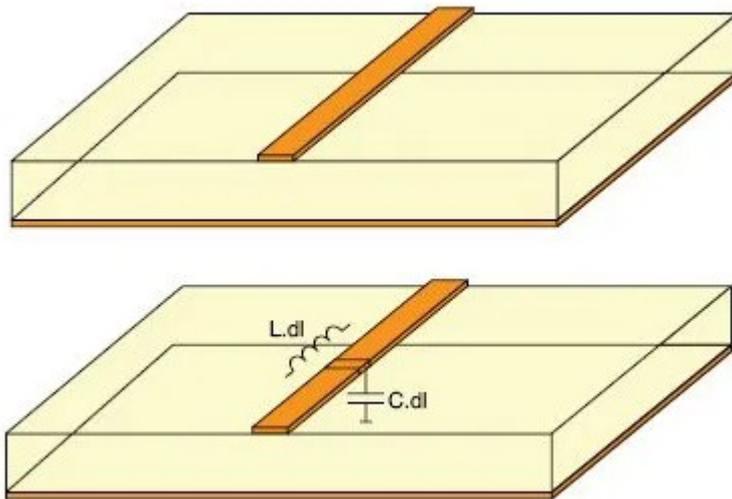
- > Microstrip et stripline : une introduction et les outils de calcul
- > Antennes « filaires imprimées »
- > Antennes patch
- > Choix du substrat
- > Bonnes pratiques et précautions industrielles
- > Exemples

+ La conception d'antennes imprimées

# Les antennes imprimées

## Microstrip et stripline : Introduction et outils de calcul

- ◆ Rappel : Lignes de transmission sur PCB = microstrip ou stripline



- ◆ De nombreux outils de calcul gratuits : Appcad, Saturn PCB Toolkit, etc
- ◆ Utile pour relier les antenne (avec leur réseau d'accord) au reste de l'électronique...
- ◆ ... mais permettent aussi de calculer la constante diélectrique effective si ligne sur le substrat et pas noyée dans celui ci

# Les antennes imprimées

## Microstrip et stripline : Introduction et outils de calcul

◆ Un exemple avec Appcad :

The screenshot shows the AppCAD software interface. On the left is a sidebar with a tree view containing categories like Agilent, Circuit Design, Active Circuits, Passive Circuits, Balun, Microstrip, Coplanar Waveguide, Stripline, Parallel Line, and Signals-Systems. The main window is titled 'AppCAD - [Microstrip]' and contains a 'Microstrip' calculator. A 3D diagram of a microstrip is shown with dimensions: width  $W = 1.5$ , height  $H = 0.8$ , thickness  $T = 0.035$ , and length  $L = 100$ . The dielectric constant is  $\epsilon_r = 4.6$ . The calculator results are as follows:

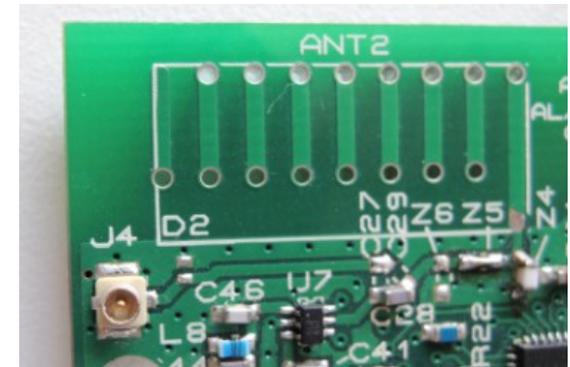
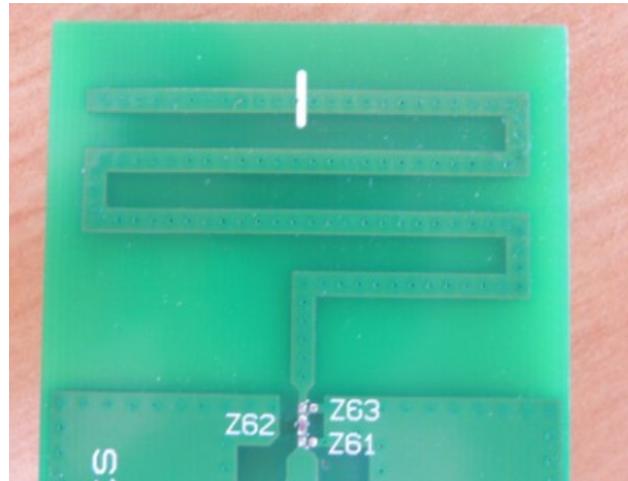
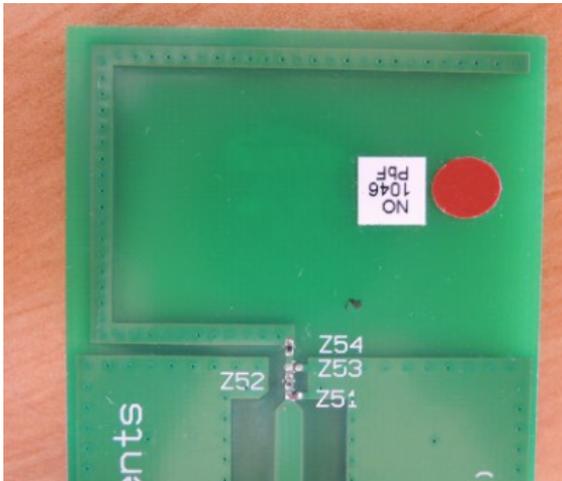
Parameter	Value	Unit
$Z_0$	48.83	$\Omega$
Elect Length	0.617	$\lambda$
Elect Length	222.1	degrees
1.0 Wavelength	162.080	mm
$V_p$	0.541	fraction of c
$\epsilon_{eff}$	3.421	
W/H	1.875	

The  $\epsilon_{eff}$  value of 3.421 is circled in red in the original image. At the bottom of the main window, there is a link for 'Click for Web: APPLICATION NOTES · MODELS · DESIGN TIPS · DATA SHEETS · S-PARAMETERS'.

# Les antennes imprimées

## Antennes « filaires imprimées »

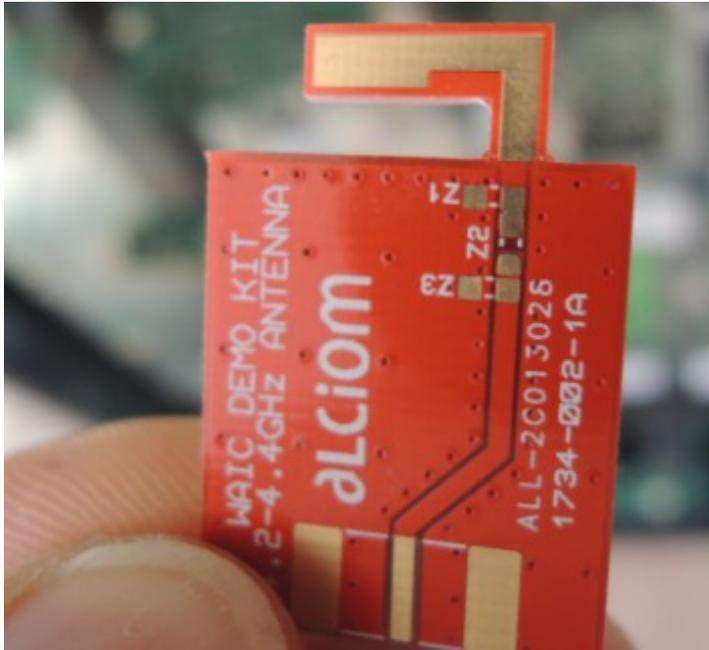
- ◆ Premier type d'antenne imprimées : Reproduction d'une structure filaire mais à la surface d'un PCB (sans plan de masse derrière!)
- ◆ Simulation quasi indispensable, mais comme ordre de grandeur longueur du brin rayonnant réduit d'un facteur racine carrée de  $\epsilon_{\text{effectif}}$
- ◆ Possibilité aussi de prévoir plus long... et de couper sur le proto avec œil sur VNA
- ◆ Piste recto/verso avec vias multiples si besoin, réduit la résistance



# Les antennes imprimées

## Antennes « filaires imprimées »

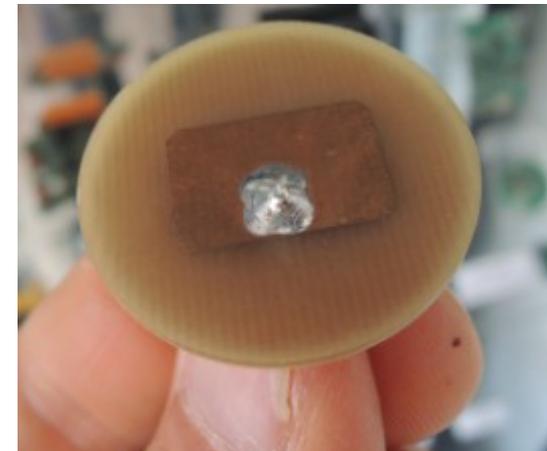
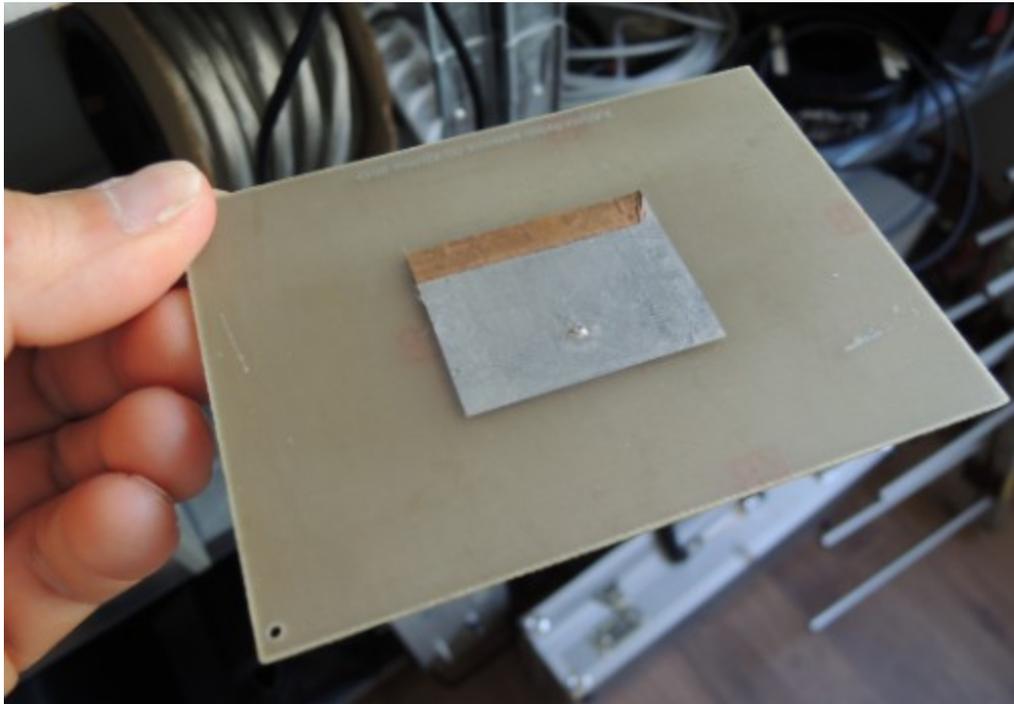
- ♦ Structures monopolaires ou bipolaires possibles
- ♦ Si monopole, le plan de masse est orthogonal à la position idéale, donc doit être théoriquement encore plus grand...



# Les antennes imprimées

## Antennes patch

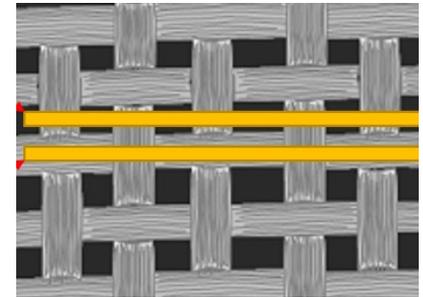
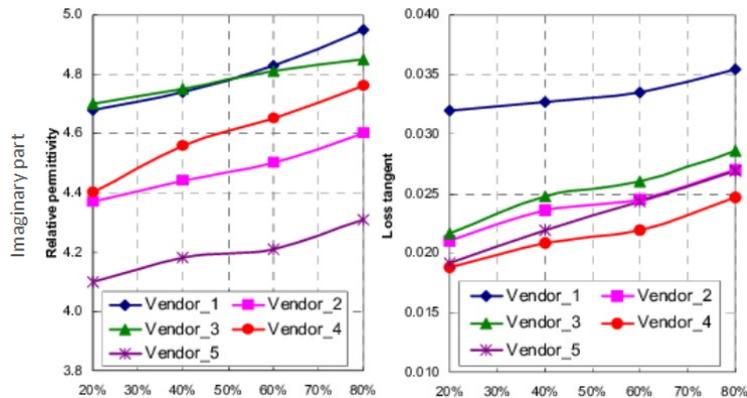
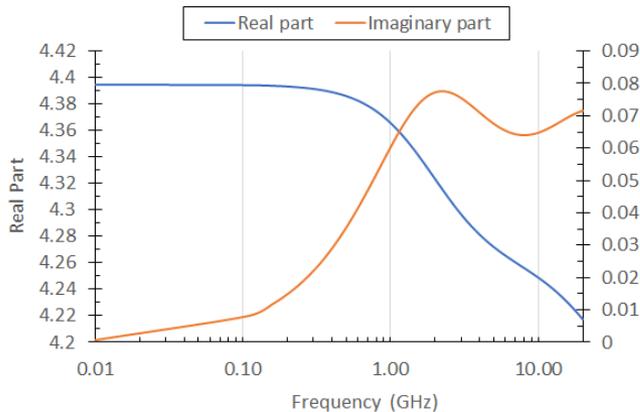
- ♦ Possibilité de patch imprimés (sur un plan de masse)
- ♦ La contrainte : Épaisseur typiquement 1,6mm si PCB, faible pour de bonnes performances à « basses » fréquences (<3-4GHz)



# Les antennes imprimées

## Choix du substrat

- ◆ Substrat PCB standard : FR4, contrainte diélectrique aux environ de 4 / 4,5
- ◆ Pas cher, mais pas de datasheet de FR4 « absolue » :
  - Constante diélectrique de 3,3 à 4,8 selon mode d'assemblage
  - Variation significative en fonction de la fréquence et de l'humidité
  - Pertes non négligeables, fibres larges



- ◆ Donc utilisable, mais uniquement pour antennes de performances modestes et surtout de bande d'accord assez large (pour tolérer ces dispersions)
- ◆ Imposer a minima le fournisseur des substrats du PCB !

# Les antennes imprimées

## Choix du substrat

- ◆ D'autres substrats sont bien mieux définis et performants... mais plus chers
- ◆ Quelques exemples :

Material	Relative Permittivity (Real Part)	Loss Tangent
Typical FR4	4	0.02
GETEK	3.9	0.01
Isola 370HR	4.17	0.016
Isola FR406	4.29	0.014
Isola FR408	3.7	0.011
Rogers 4350B	3.48	0.0037

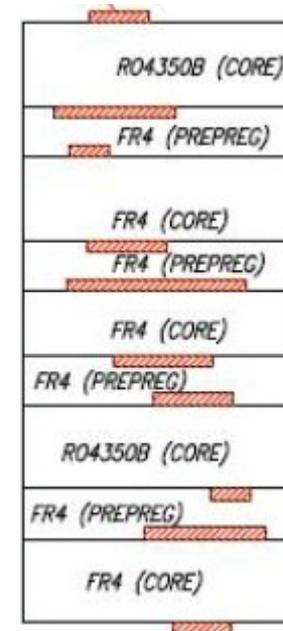
Dk of 3.48 +/- 0.05

Dissipation factor of 0.0037 at 10 GHz

# Les antennes imprimées

## Choix du substrat

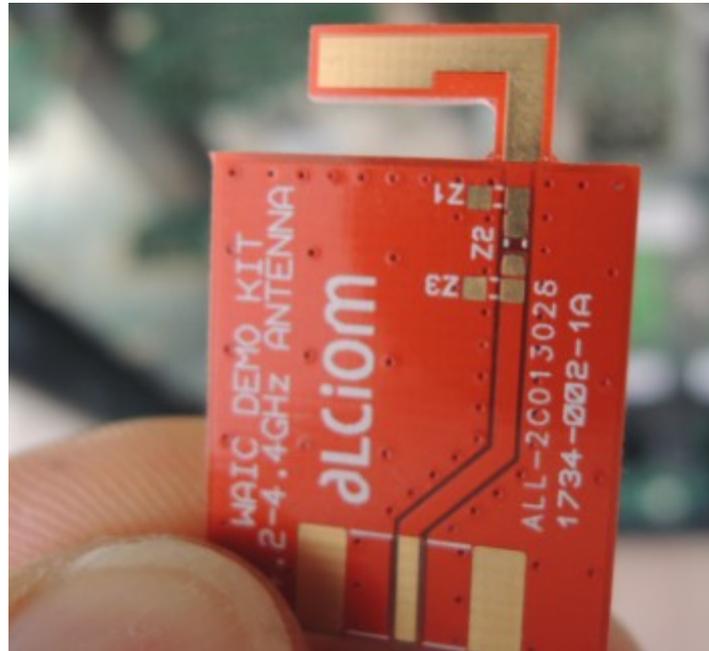
- ♦ Autre avantage des substrats plus haut de gamme :
  - Défini par fournisseur/référence = performances stables en production
  - Choix plus large de constantes dielectriques
  - Possibilités d'épaisseurs custom (en particulier pour antenne patch)
  - Possibilité de multicouches hétérogènes pour limiter les coûts



# Les antennes imprimées

## Bonnes pratiques et précautions industrielles

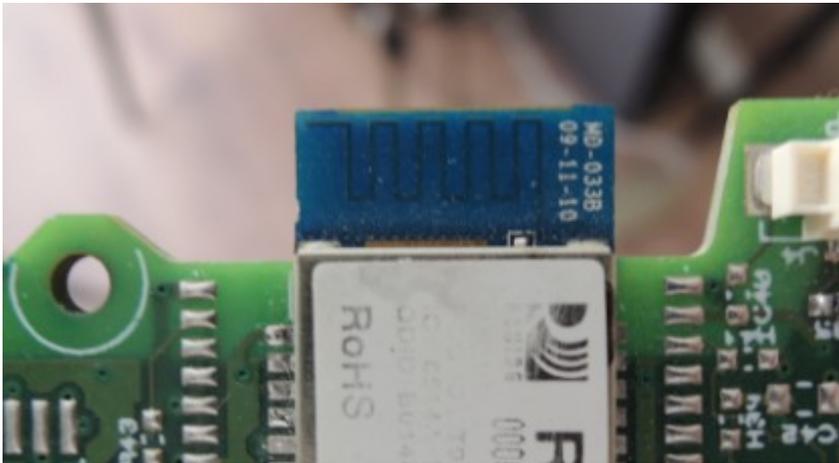
- ◆ Attention à la position du réseau d'accord, doit être près de l'antenne, avant la ligne de transmission :
- ◆ Attention au vernis, qui modifie la constante diélectrique effective
- ◆ Attention au fournisseur du FR4



# Les antennes imprimées

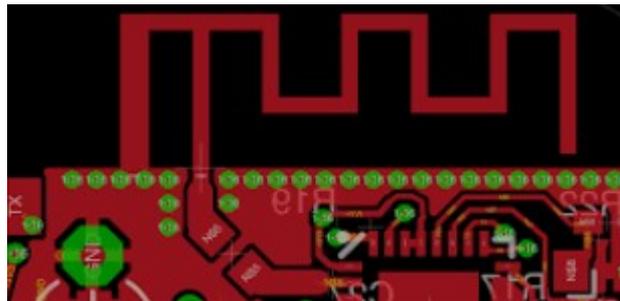
## Bonnes pratiques et précautions industrielles

- ◆ Nombreuses antennes OEM de type imprimées
- ◆ Mêmes règles pour leur intégration
- ◆ En particulier attention à l'environnement proche, d'autant plus qu'il n'y a pas possibilité de réseau d'accord...





**Formation 203 - Antennes niveau 3 (conception)**  
**Module 09 - Conception d'antennes**  
**imprimées «simples »»**



# Conception d'antennes imprimées « simples »

## Contenu du module

### + Les antennes imprimées

#### - La conception d'antennes imprimées « simples »

- > Outils de simulation EM 2D 1/2
- > Notion d'optimisation numérique
- > Méthodologie de conception et limitations
- > Exemples
- > Travaux pratiques : Conception et simulation d'une antenne PIFA imprimée (logiciel SONNET Lite, version gratuite)

### + Introduction à la simulation EM 3D

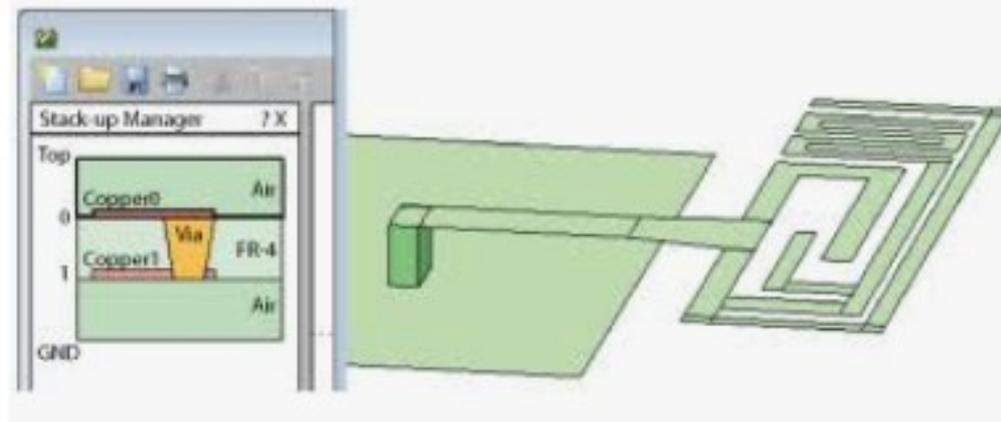
# Conception d'antennes imprimées « simples »

## Outils de simulation EM 2D 1/2

- Outils minimaux pour la simulation d'antennes imprimées :

### Simulateurs 2,5D ou « 3D planar »

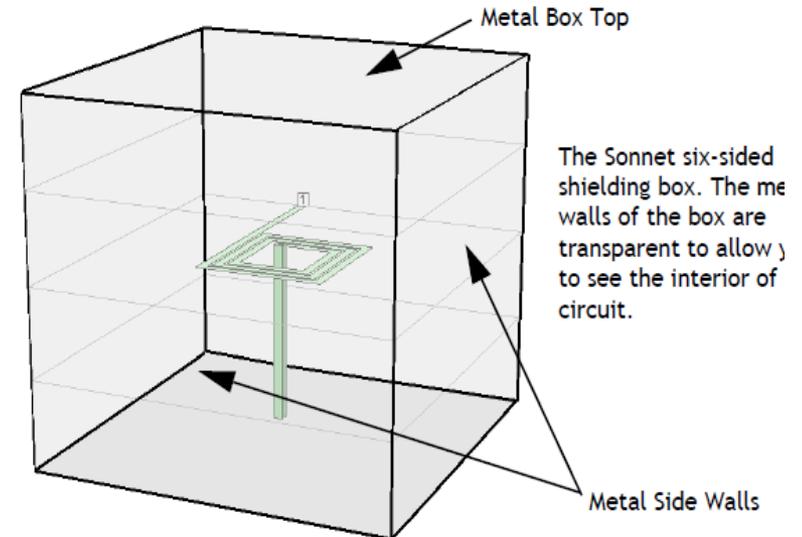
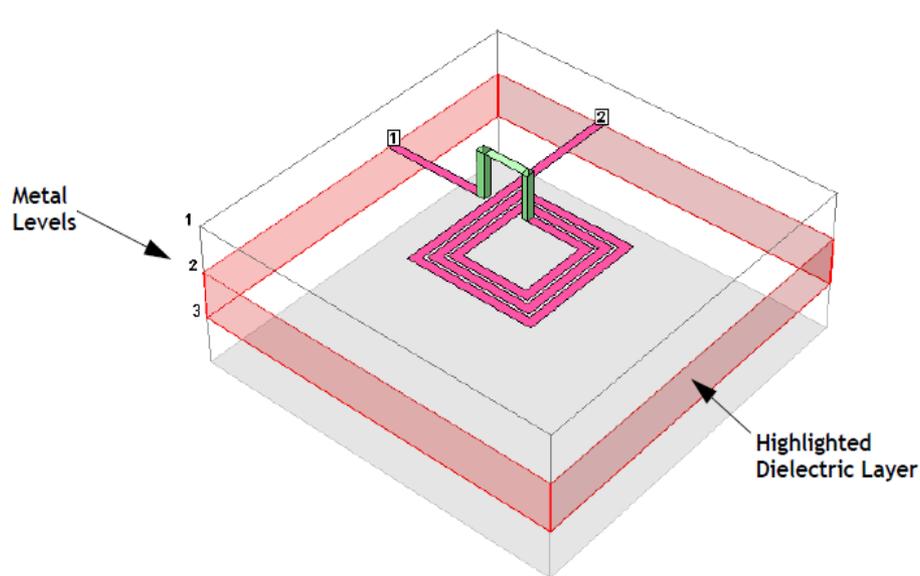
- 1er niveau de simulation EM avec prise en compte des diélectriques
- Modèle simplifié car espace composé de strates horizontales empilées



# Conception d'antennes imprimées « simples »

## Outils de simulation EM 2D 1/2

- Les limitations :
  - Chaque couche a des propriétés dielectriques homogènes (plein)
  - Métalisation **entre** chaque couche uniquement (+ vias)
  - Le domaine de simulation est « fermé » (métal sur 4 cotés, métal ou ouvert sur top et bottom)



- Très bien adapté aux circuits microstrip... mais aussi aux circuits intégrés
- Avantage vs simulateurs « full 3D » : Beaucoup plus rapide, et moins cher

# Conception d'antennes imprimées « simples »

## Outils de simulation EM 2D 1/2

- Un exemple : SONNET, méthode des moments 2D 1/2

### Sonnet Lite

---

- 32MB Memory Allowed by Registration Only
- 2 Signal Conductor Levels + Gnd
- Up to 4 Port Circuits
- 3 Ideal Internal Components
- Sweep Analysis of 1 Parameter
- Create, save and analyze arbitrary planar circuits
- Lite Interface to AWR® Microwave Office®
- Lite Interface to Keysight (Agilent) ADS
- [learn more](#)
- [FREE\\*\\* Download Now](#)

(limité à 1Mo sans enregistrement)

### Sonnet Level 2 Basic

---

- 128 MB Memory Allowed
- 2 Signal Conductor Levels + Gnd
- Up to 6 Port Circuits
- Unlimited Ideal Internal Components
- Thick Metal
- Sweep Analysis and Optimization of 2 Parameters
- DXF Import/Export
- Options:

GDSII Import/Export

Gerber Import/Export

Interface to AWR® Microwave Office®

Interface to Keysight (Agilent) ADS

Far-field Radiation Pattern Display

### Sonnet Level 2 Silver

---

- 256 MB Memory Allowed
- 2 Signal Conductor Levels + Gnd
- Up to 8 Port Circuits

### Sonnet Level 3 Gold

---

- 2000 MB Memory Allowed
- 3 Signal Conductor Levels + Gnd
- Unlimited Ports
- Unlimited Ideal Internal Components
- Internal Components and Co-calibrated™ Ports
- Thick Metal
- Components for Vendor SMD Models
- Sweep Analysis and Optimization of 4 Parameters

### Sonnet Professional

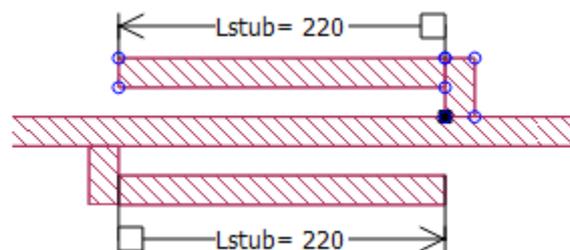
---

- Engine Options: **Sonnet Desktop Solver** (8 threads) or **Sonnet High Performance Solver** (64 threads)
- Unlimited Memory, Ports, Dielectric, Signal Levels
- Unlimited Parameter Sweep and Optimization
- Conformal Meshing

# Conception d'antennes imprimées « simples »

## Notion d'optimisation numérique

- ◆ La plupart des outils EM ont des fonctions d'optimisation numérique paramétrique
- ◆ Magique, mais bien réfléchir aux paramètres et objectifs !

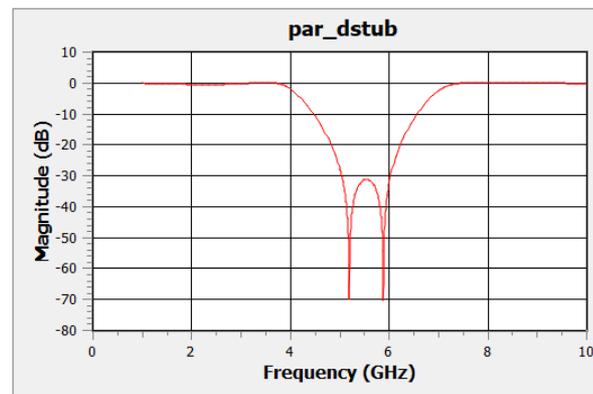


Optimization Setup:

- Goal Set 1
  - Frequencies: ABS: 1.0 to 4.0 GHz
  - Goals:  $\text{par\_dstub DB[S11]} > -1.0$  weight=1.0
- Goal Set 2
  - Frequencies: ABS: 5.0 to 6.0 GHz
  - Goals:  $\text{par\_dstub DB[S21]} < -30.0$  weight=1.0
- Goal Set 3
  - Frequencies: ABS: 7.0 to 10.0 GHz
  - Goals:  $\text{par\_dstub DB[S21]} > -1.0$  weight=1.0

Optimization Result

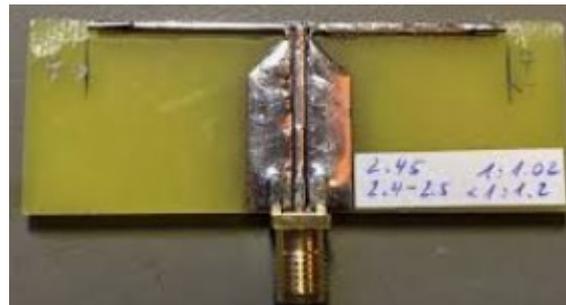
Parameter	Min	Max	Nominal	Results
Lstub	100	300	220	192.31495758836



# Conception d'antennes imprimées « simples »

## Méthodologie de conception et limitations

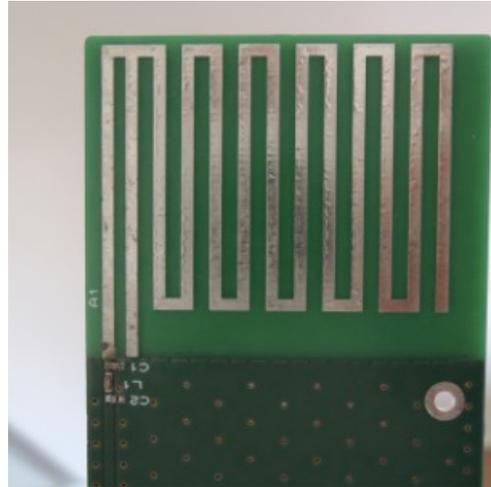
- ◆ Un simulateur simule toujours, mais les résultats n'ont pas forcément de sens
- ◆ Toujours partir d'un design physiquement réaliste
- ◆ Ne pas oublier la recherche bibliographique, il n'y a pas que google...
- ◆ Simulation numérique parfaite pour comparer différentes solutions, puis optimiser un design, et tout en gagnant du temps
- ◆ Ne pas oublier de vérifier à la fois l'impédance complexe, la largeur de bande et le diagramme de rayonnement
- ◆ Sur le 1er prototype, ne pas hésiter à prévoir une structure un peu plus longue, car plus facile de couper un brin que le rallonger...



# Conception d'antennes imprimées « simples »

## Exemples

- ◆ Un exemple parfait pour un simulateur 2D 1/2 :

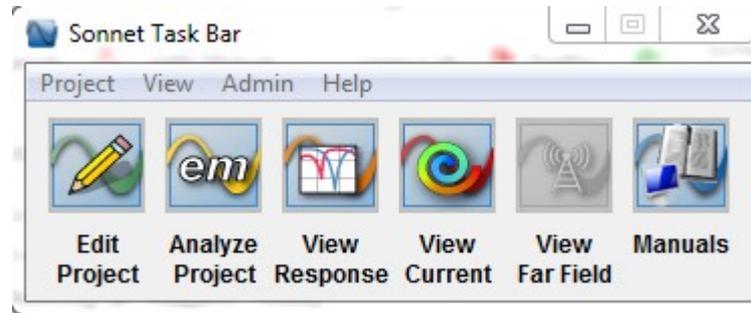


- ◆ Par contre pas possible de prendre en compte la présence du boîtier, la main de l'utilisateur, la proximité de la pile, etc
- ◆ A réserver donc aux cas où des éléments ne sont pas critiques

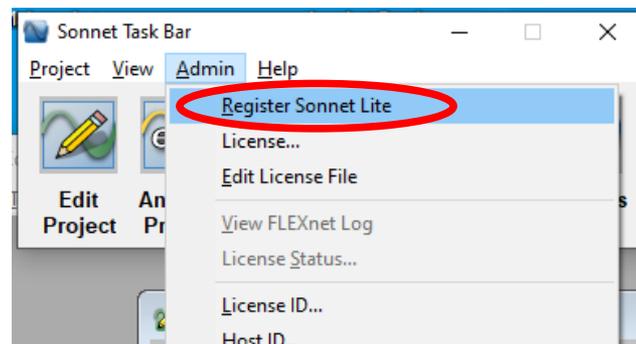
# Conception d'antennes imprimées « simples »

## TP : Antenne PIFA imprimée avec SONNET lite

- ◆ Installer SONNET LITE



- ◆ Version TRES limitée avant enregistrement (1Mo de calcul), nettement plus utilisable après enregistrement (32Mo), cf :

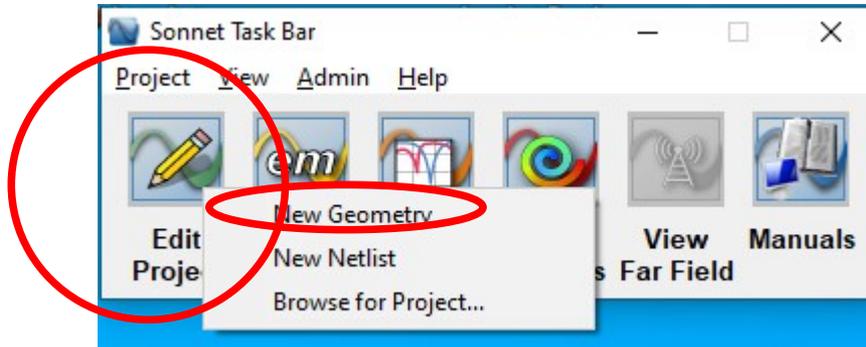


- ◆ TP fait avec la version non enregistrée, mais résultats très approximatifs, uniquement à titre pédagogique

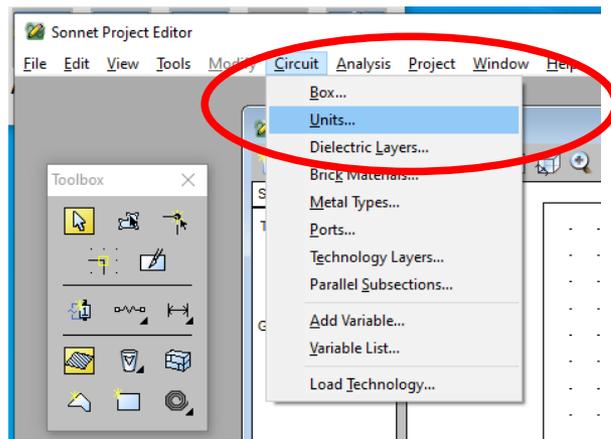
# Conception d'antennes imprimées « simples »

## TP : Antenne PIFA imprimée avec SONNET lite

- ◆ Lancer l'éditeur de géométrie



- ◆ Définir les unités



# Conception d'antennes imprimées « simples »

## TP : Antenne PIFA imprimée avec SONNET lite

- ◆ Donner un nom au projet (save as...)
- ◆ Définir le monde...

The image shows two screenshots from the Sonnet Project Editor software. The top screenshot shows the 'File' menu with 'Save As...' highlighted in red. The bottom screenshot shows the 'Box Settings' dialog box with the 'Box...' menu item highlighted in red. The 'Box Settings' dialog box has several fields highlighted in red: 'Cell Size' (2.0), 'Box Size' (40.0), and 'Num. Cells' (20). The 'Covers' section has 'Top Metal' and 'Bottom Metal' dropdowns set to 'Free Space', also highlighted in red. The 'Current Units' are set to 'mm'.

Sonnet Project Editor

File Edit View Tools Modify Circuit

New Geometry Ctrl+N  
New Netlist  
Open >  
Browse Examples...  
Close  
Save Ctrl+S  
Save As...  
Revert to Saved  
Import >  
Export >

Sonnet Project Editor

File Edit View Tools Modify Circuit Analysis Project Window Help

Box...  
Units...  
Box Settings-test1.son

Sizes

	X	Y	
Cell Size	2.0	2.0	<input type="checkbox"/> Lock
Box Size	40.0	40.0	<input type="checkbox"/> Lock
Num. Cells	20	20	<input type="checkbox"/> Lock

Set Box Size with Mouse  
Cell Size Calculator

Current Units: mm

OK Apply Cancel Help

Covers

Top Metal  
Free Space

Bottom Metal  
Free Space

Symmetry

Estimate Memory

# Conception d'antennes imprimées « simples »

## TP : Antenne PIFA imprimée avec SONNET lite

### ◆ Définir les diélectriques

The screenshot shows the SONNET Lite software interface. On the left, the 'Circuit' menu is open, with 'Dielectric Layers...' highlighted. The main window displays the 'Dielectric Layers' table for 'test.son'.

Thickness (mm)	Mat. Name	Erel	Dielectric Loss Tan	Cnd, Res S/m, Ohm-cm
0.0	Unnamed	1.0	0.0	Cnd:0.0
0.0	Unnamed	1.0	0.0	Cnd:0.0

The 'Dielectric Editor' dialog is open, showing 'Select dielectric from library...' selected, 'Mat. Name' set to 'FR-4', and 'Thickness' set to '1.6 mm'. The 'Specify Using' dropdown is set to 'Conductivity'.

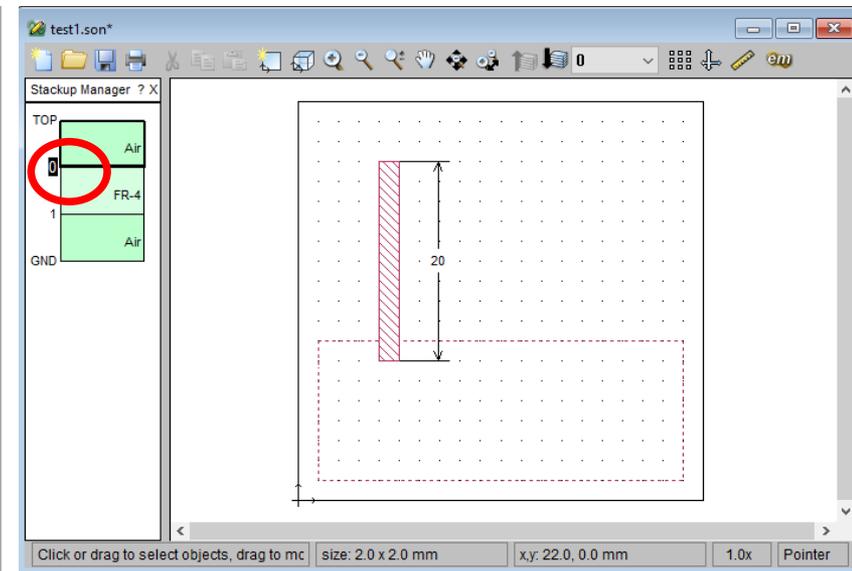
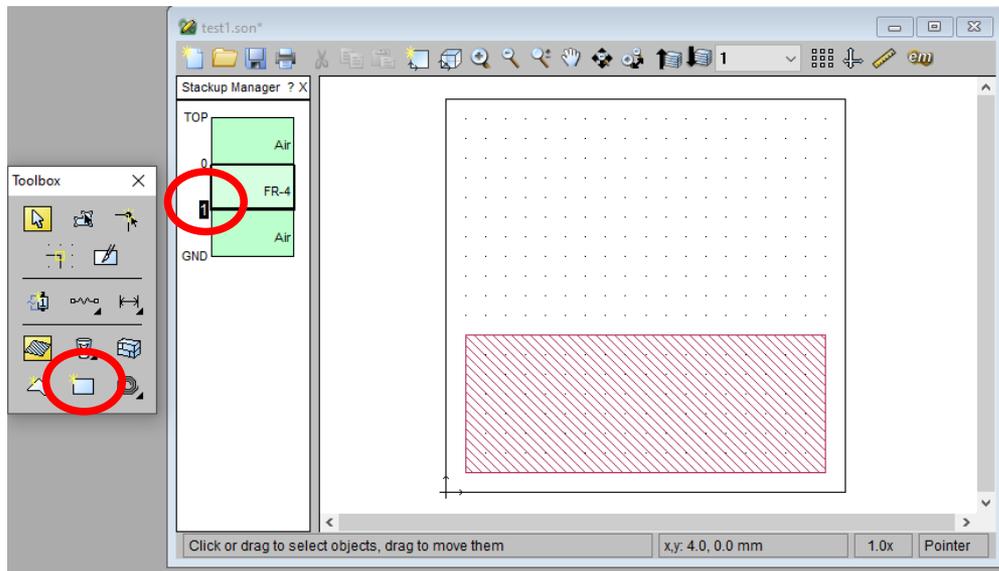
The 'Dielectric Layers' table is updated to show three layers:

Thickness (mm)	Mat. Name	Erel	Dielectric Loss Tan	Cnd, Res S/m, Ohm-cm
4.0	Air	1.0	0.0	Cnd:0.0
1.6	FR-4	4.4	0.02	Cnd:0.0
4.0	Air	1.0	0.0	Cnd:0.0

# Conception d'antennes imprimées « simples »

## TP : Antenne PIFA imprimée avec SONNET lite

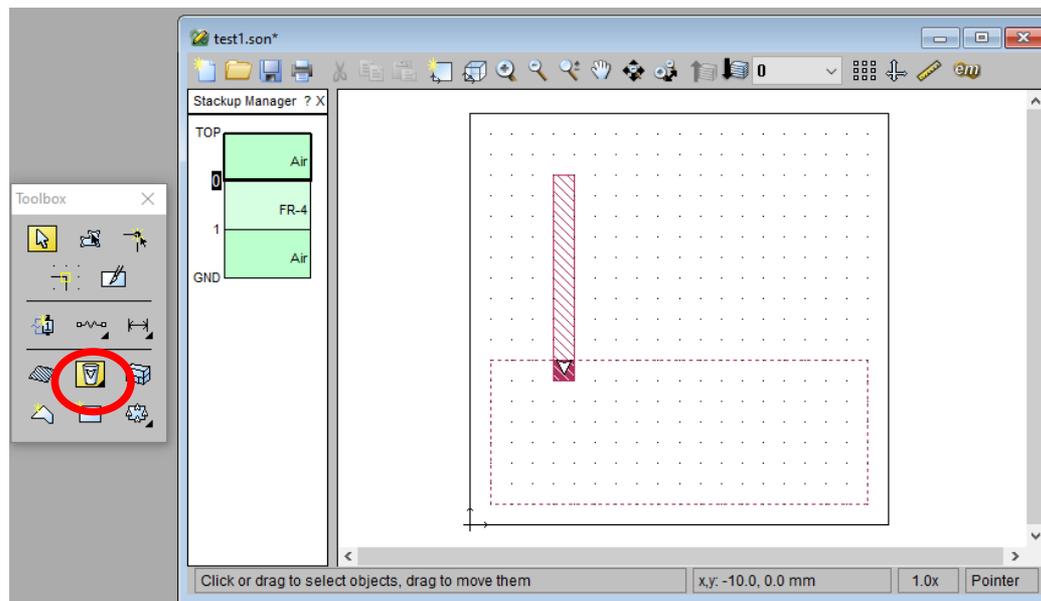
- ◆ Dessiner une antenne monopole sur un PCB double face
- ◆ Plan de masse en couche 1... et élément rayonnant en couche 0



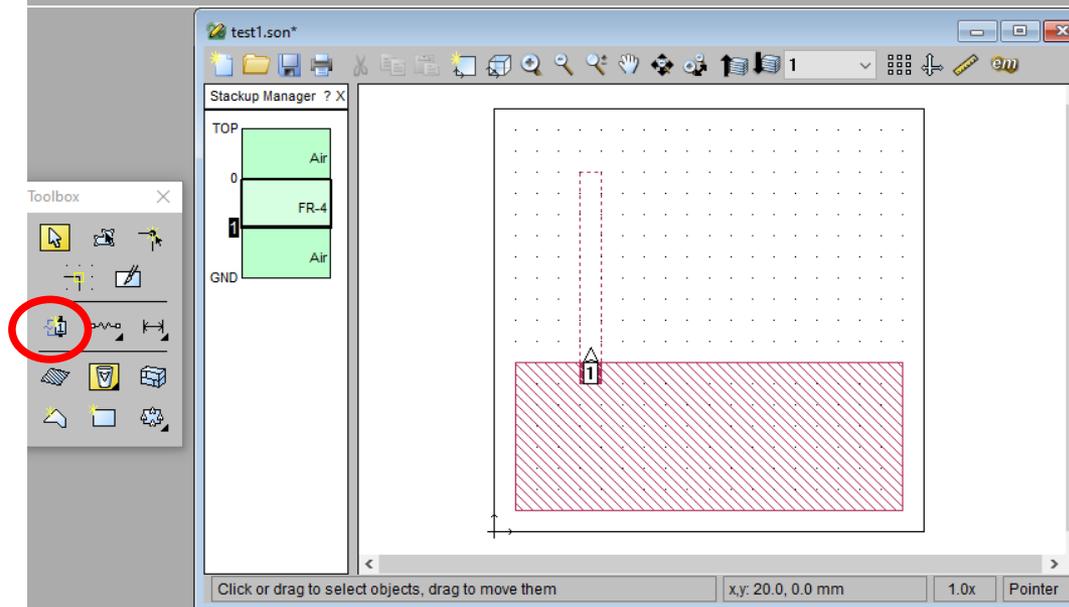
# Conception d'antennes imprimées « simples »

## TP : Antenne PIFA imprimée avec SONNET lite

- ◆ Ajouter un via (sur la couche 0, il descend...)



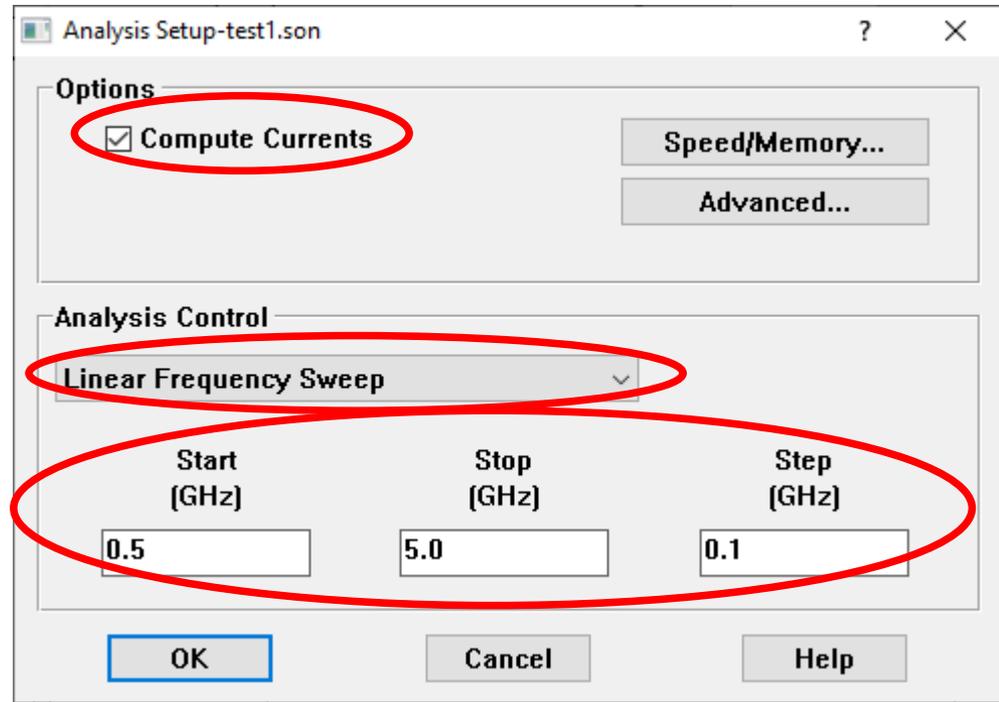
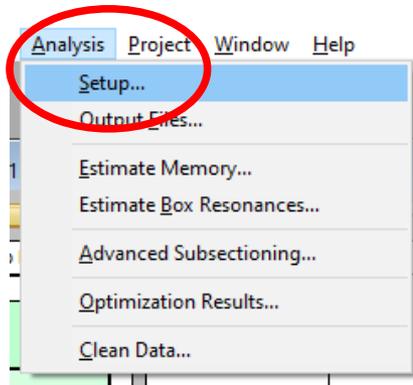
- ◆ Définir le port 1 sur le via (visible sur la couche inférieure)



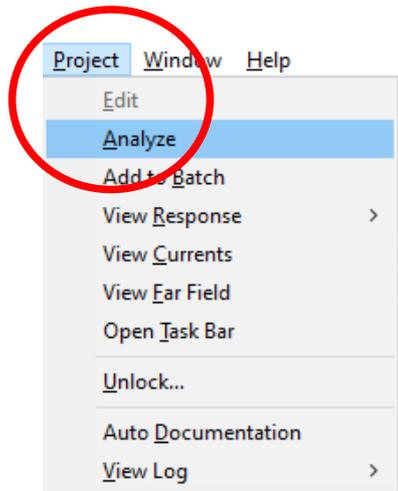
# Conception d'antennes imprimées « simples »

## TP : Antenne PIFA imprimée avec SONNET lite

- ◆ Définir les options de simulation



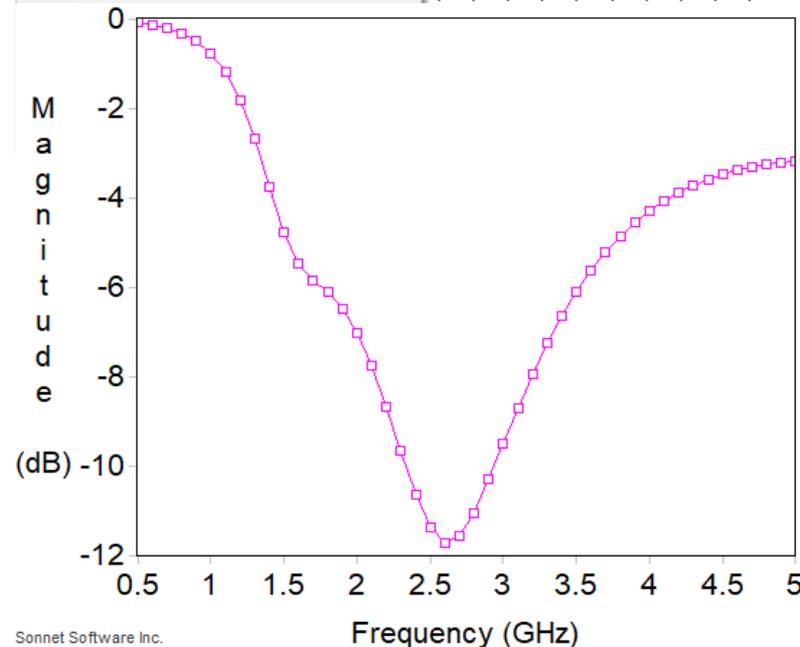
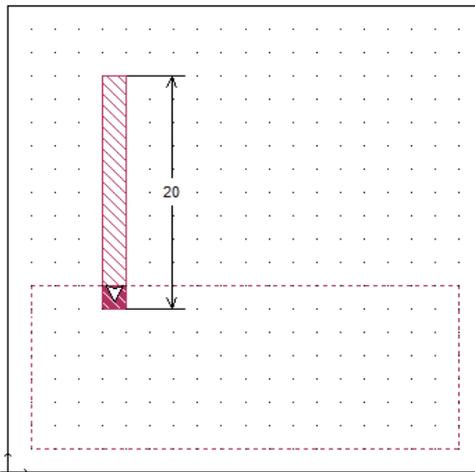
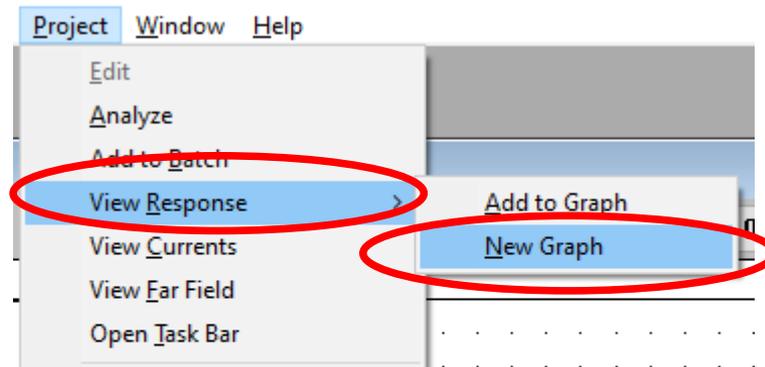
- ◆ Et lancer le calcul !



# Conception d'antennes imprimées « simples »

## TP : Antenne PIFA imprimée avec SONNET lite

- Visualiser la réponse en fréquence (S11) : Ca résonne à 2.5GHz !



Ordres de grandeur corrects ?

$$f=2.5\text{GHz}$$

$$\text{Lambda} = c/f = 120\text{mm}$$

$$\text{Lambda}/4=30\text{mm}$$

$$\text{EpsR}=4.4$$

$$\text{EpsEff}=3$$

$$\text{sqrt}(\text{EpsEff})=1.7$$

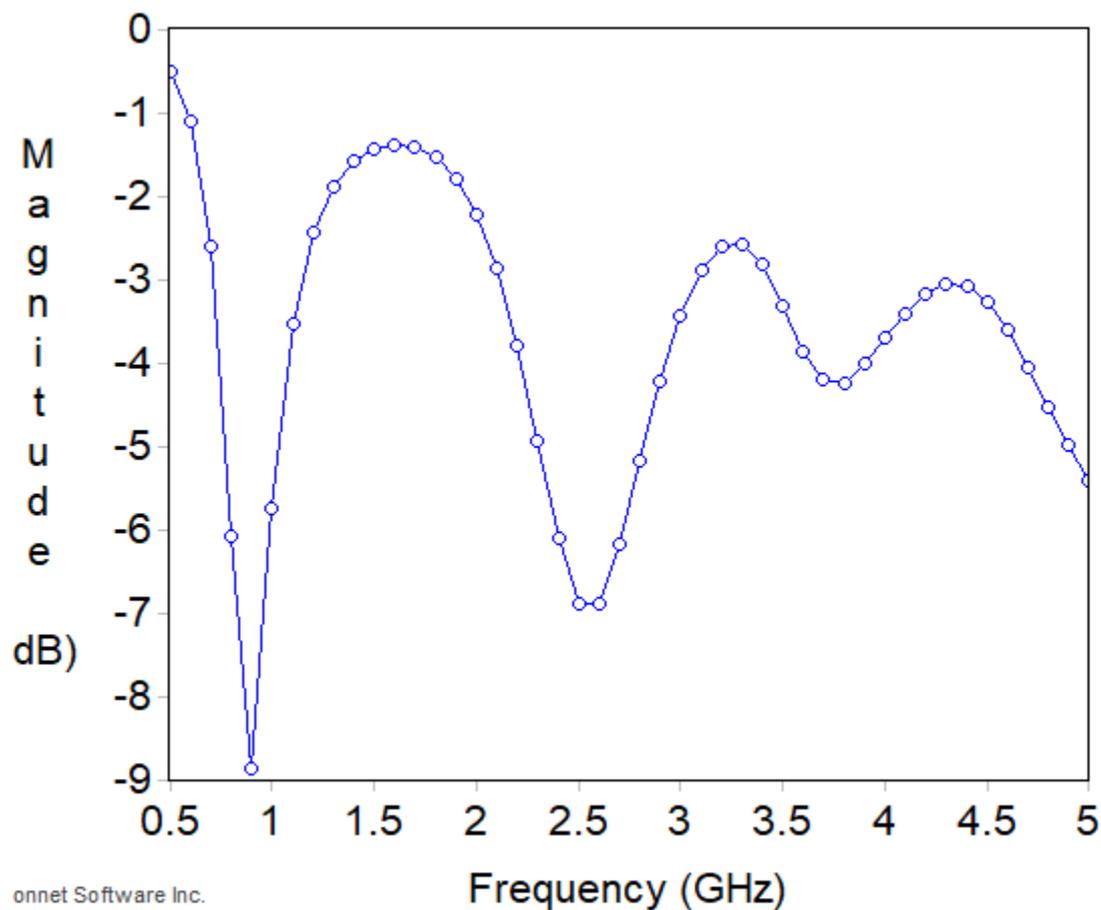
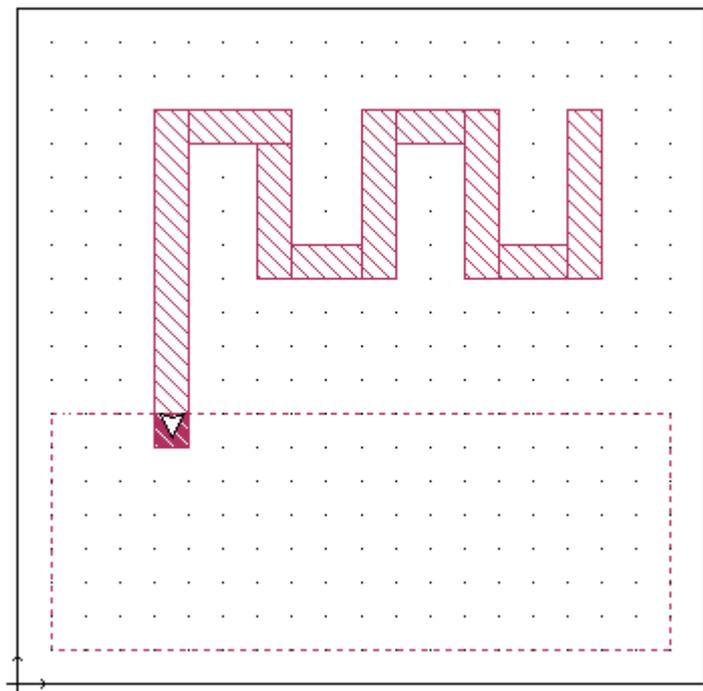
$$30\text{mm}/1.7=17\text{mm}$$

Sonnet Software Inc.

# Conception d'antennes imprimées « simples »

## TP : Antenne PIFA imprimée avec SONNET lite

- ▶ Allongeons l'antenne... en restant assez loin des murs latéraux

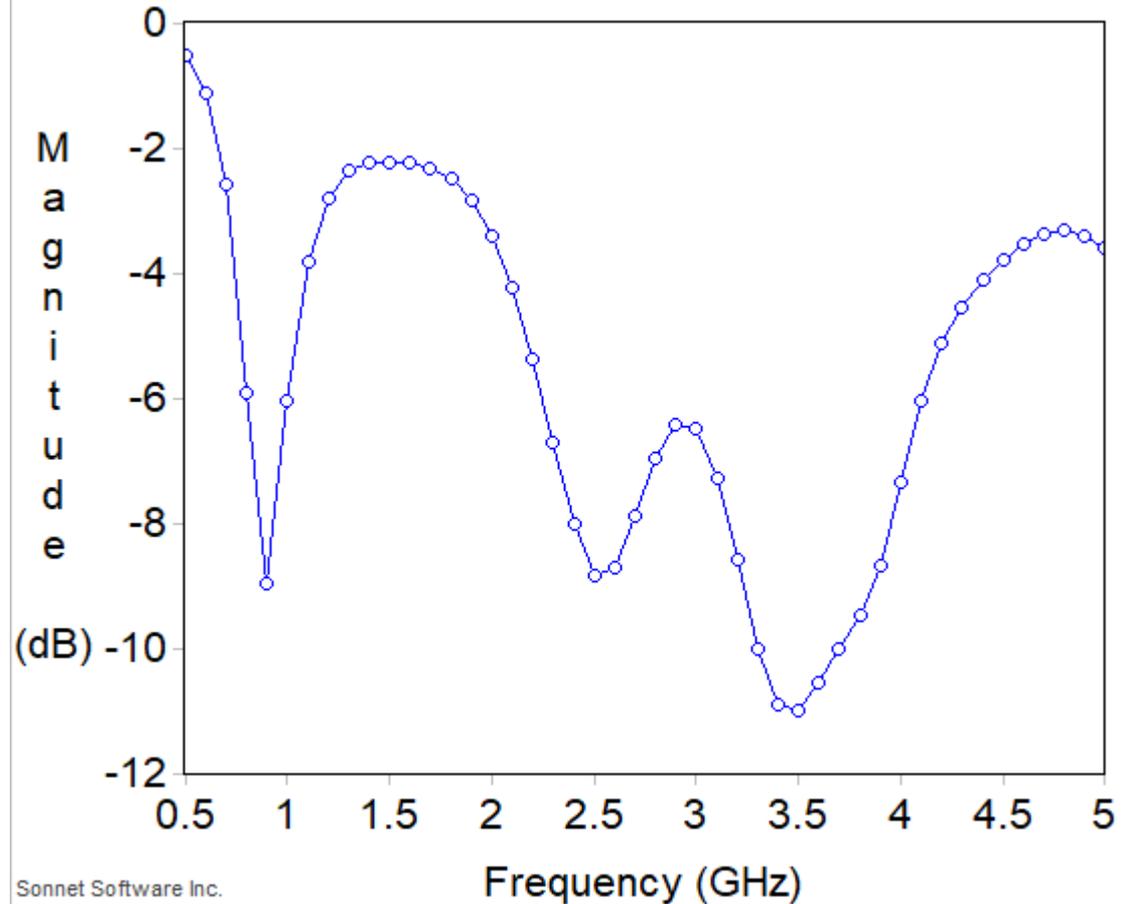
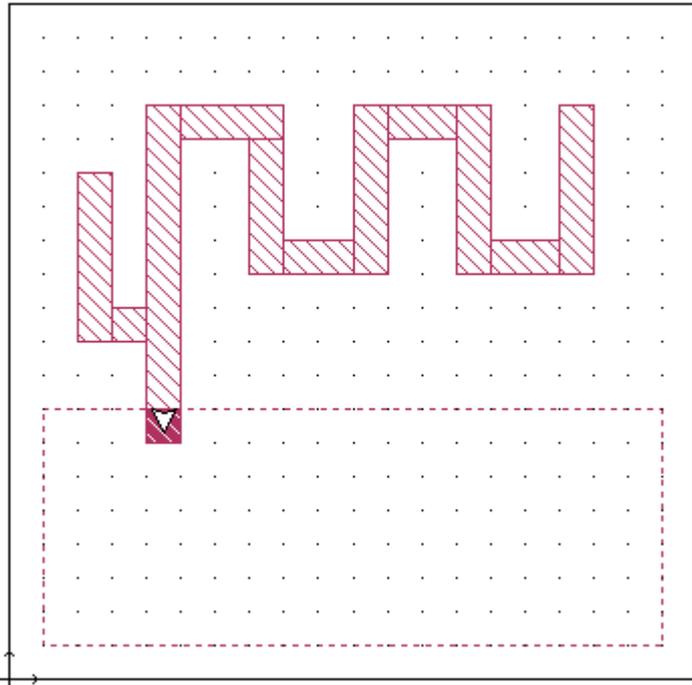


sonnet Software Inc.

# Conception d'antennes imprimées « simples »

## TP : Antenne PIFA imprimée avec SONNET lite

- ◆ Ajoutons un élément rayonnant pour jouer

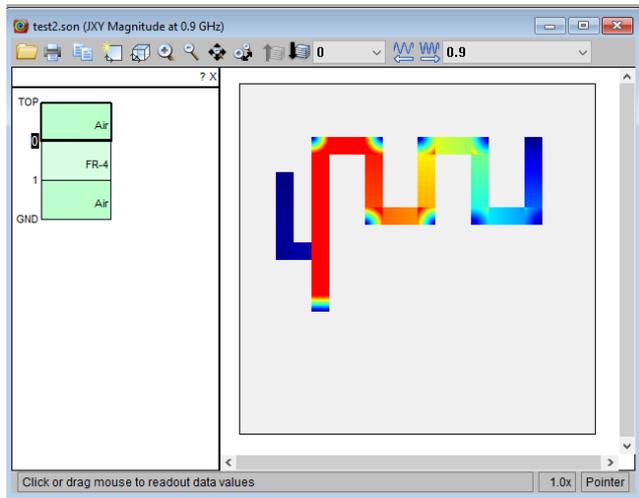
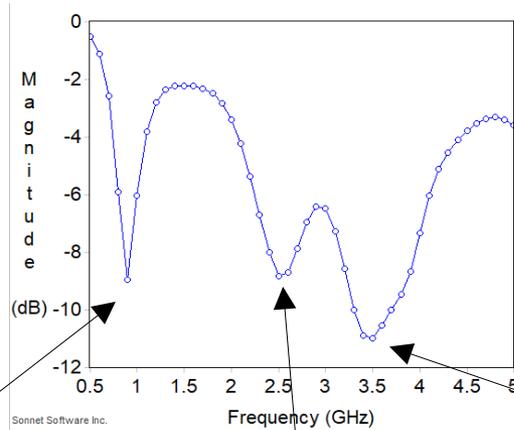
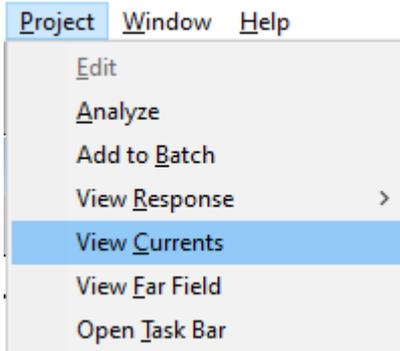


Sonnet Software Inc.

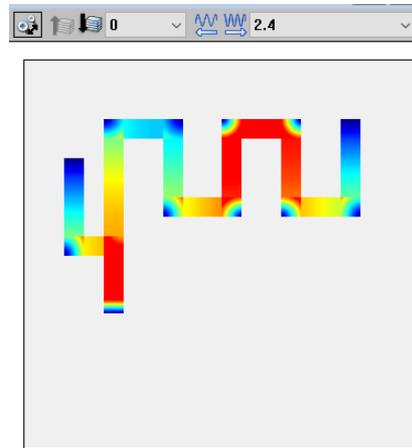
# Conception d'antennes imprimées « simples »

## TP : Antenne PIFA imprimée avec SONNET lite

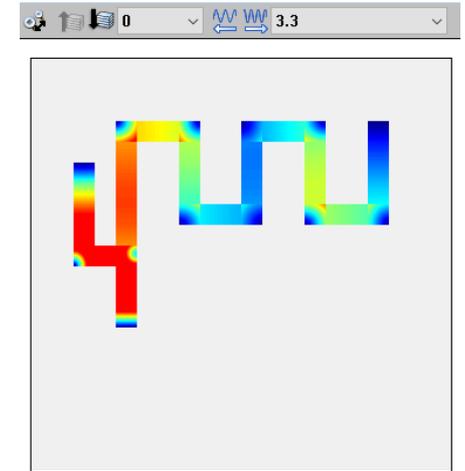
♦ D'où viennent ces résonances ? La visualisation des courants aide...



Mode 1



Mode 3



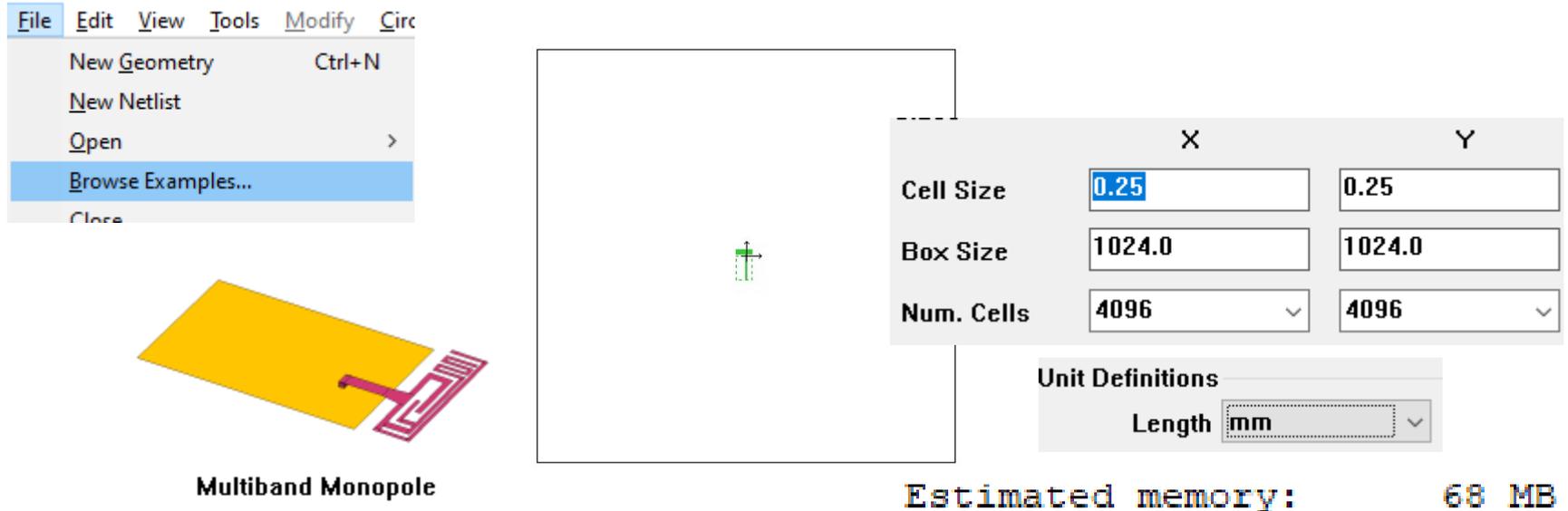
Mode 1 petit élément

# Conception d'antennes imprimées « simples »

## TP : Antenne PIFA imprimée avec SONNET lite

- ♦ Attention car TP uniquement pédagogique et rapide. Pour un vrai projet :
  - « Monde » nettement plus grand (murs latéraux loins de l'antenne)
  - Résolution spatiale beaucoup plus fine nécessaire
  - Option « far field » plus qu'utile et non disponible en versions Lite

### ♦ Exemple :

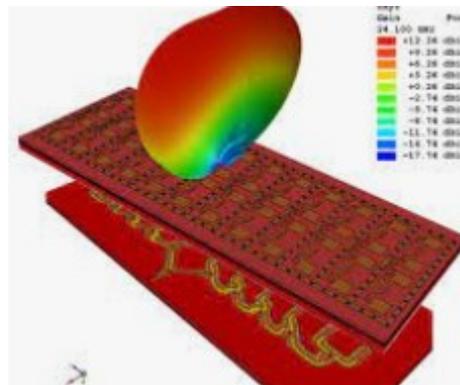


The screenshot displays the SONNET Lite software interface. On the left, a menu is open with the following options: File, Edit, View, Tools, Modify, and Circ. The 'Browse Examples...' option is highlighted. Below the menu is a 3D perspective view of a yellow rectangular antenna labeled 'Multiband Monopole'. In the center is a 2D layout view of the antenna on a white background, with a green crosshair indicating the center. On the right, a configuration panel is visible with the following settings:

	X	Y
Cell Size	0.25	0.25
Box Size	1024.0	1024.0
Num. Cells	4096	4096

Below the configuration panel, the 'Unit Definitions' section shows 'Length' set to 'mm'. At the bottom right, the text 'Estimated memory: 68 MB' is displayed.

## Formation 203 - Antennes niveau 3 (conception) Module 10 - Introduction à la simulation EM 3D



# Introduction à la simulation EM 3D

## Contenu du module

### - Introduction à la simulation EM 3D

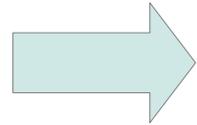
- > Les limites des méthodes filaires et 2D 1/2
- > Modèle et fonctionnement d'un simulateur 3D
- > Exemples de logiciels commerciaux
- > La modélisation de l'environnement
- > Exemples d'applications concrètes
- > Fiabilité des résultats
- > Limitations et coûts

### + Introduction aux antennes large bande

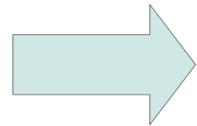
# Introduction à la simulation EM 3D

## Les limites des méthodes filaires et 2D1/2

- ♦ Qu'est ce qui ne peut pas être modélisé en 2D 1/2, p.ex Sonnet ?

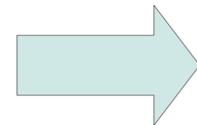


Dielectriques et/ou conducteurs  
« proches » de l'antenne : Boitier,  
piles, corps humain, supports, fils, etc



Elements rayonnants non plans ou non  
parallèles

- ♦ Qu'est ce qui ne peut pas être modélisé en filaire, p.ex NEC ?

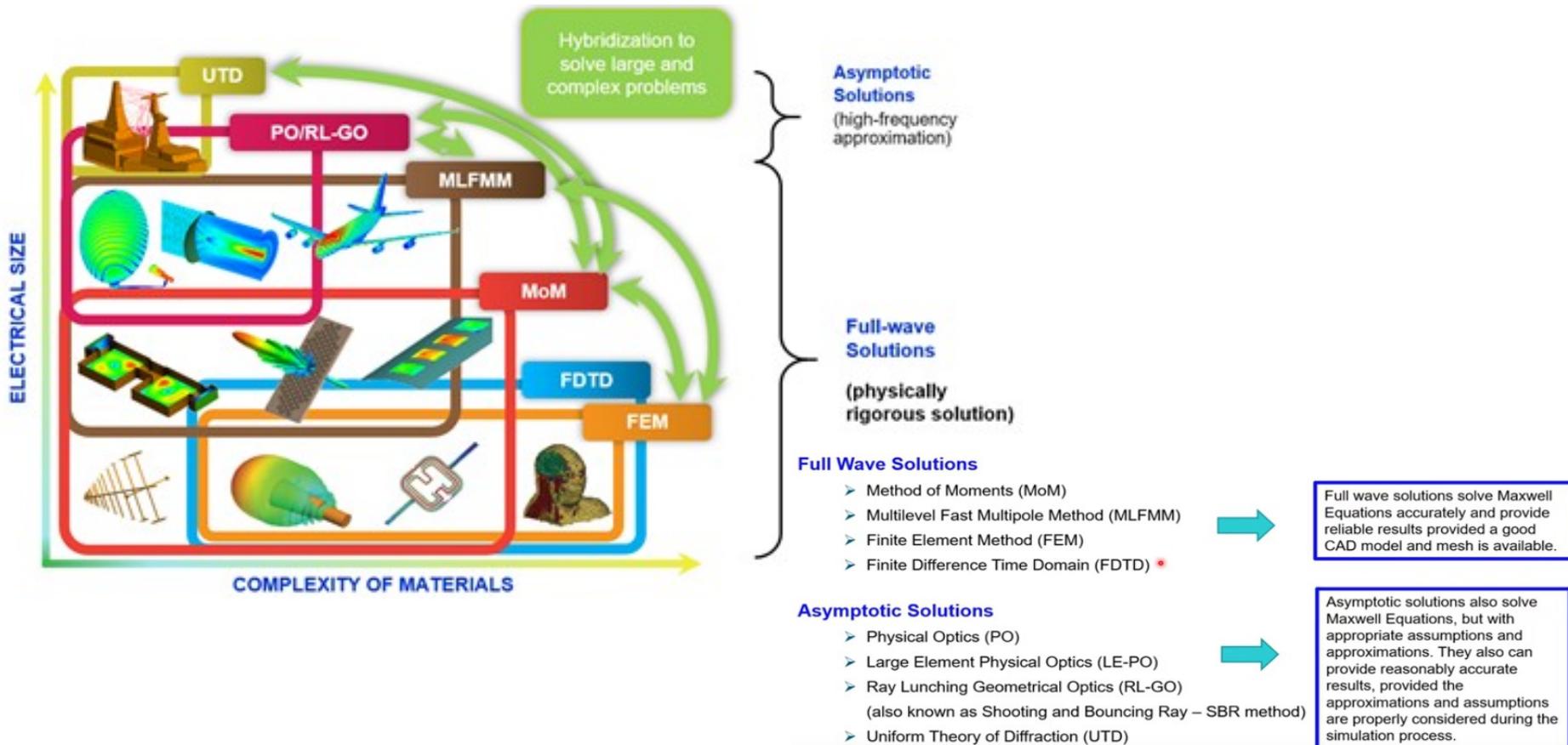


Tous les dielectriques, en particulier  
proches de l'antenne

# Introduction à la simulation EM 3D

## Modèle et fonctionnement d'un simulateur 3D

- Modélisation « sans contraintes » de l'antenne et de son environnement
- Solveurs numériques via plusieurs méthodes selon le projet et ses contraintes.  
Exemple (source : Altair/Feko) :



Cf [https://support.altair.com/csm?id=community\\_blog&sys\\_id=01296fcfdbac6490e8863978f496195d](https://support.altair.com/csm?id=community_blog&sys_id=01296fcfdbac6490e8863978f496195d)

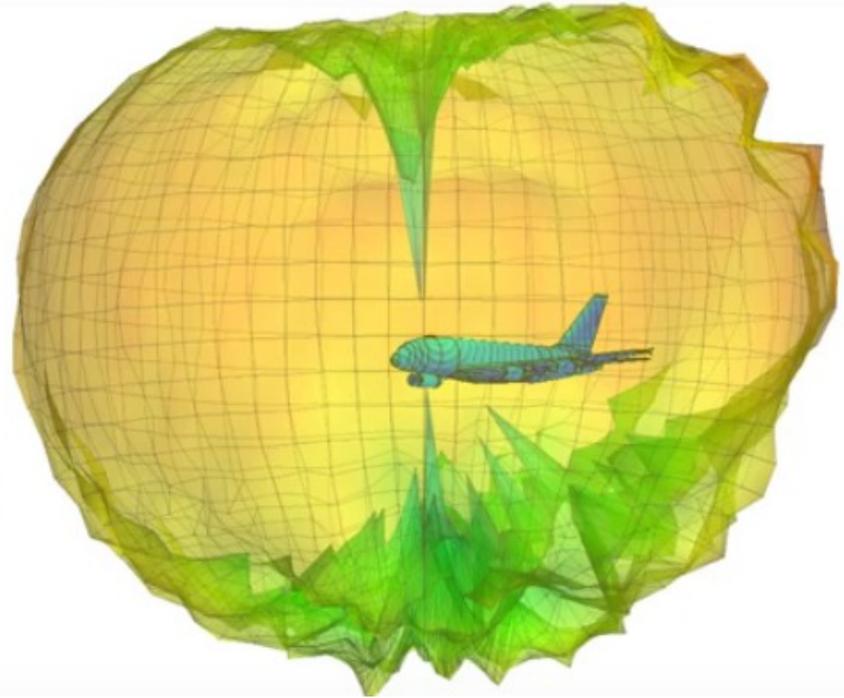
# Introduction à la simulation EM 3D

## Modèle et fonctionnement d'un simulateur 3D

- Possibilité de segmentation du projet et d'utilisation de méthodes hétérogènes
- Intérêt majeur : réduction drastique du temps de calcul
- Un exemple extrême : (source : Altair/Feko) :



120MHz VHF Comm Antenna



# Introduction à la simulation EM 3D

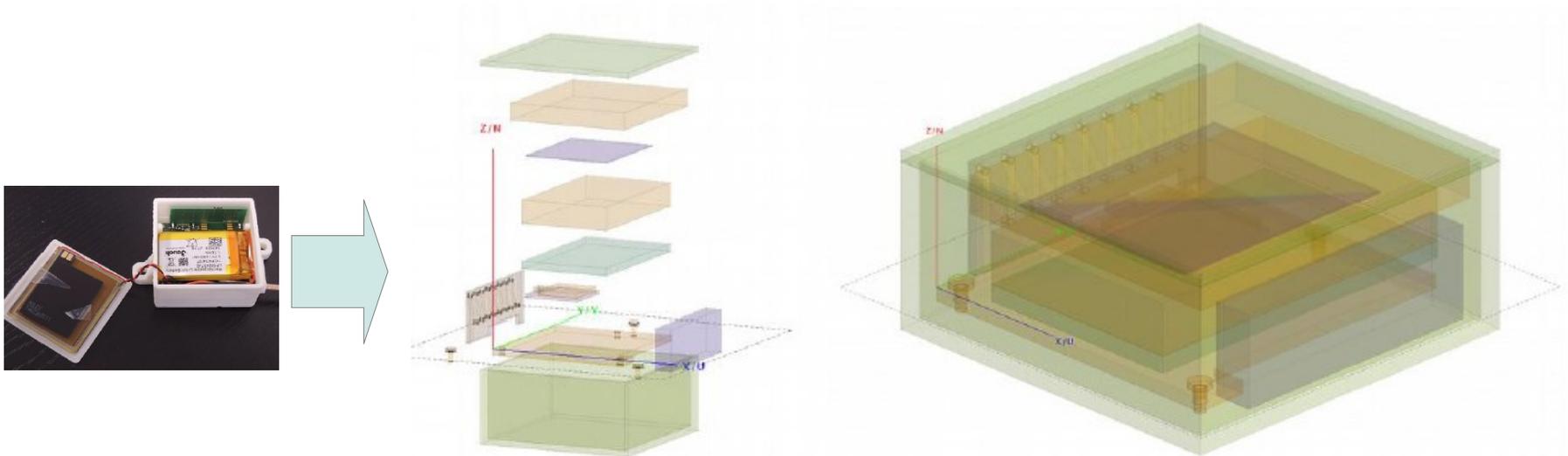
## Exemples de logiciels commerciaux

- ◆ De nombreux logiciels commerciaux « full 3D ». Les plus connus :
  - HFSS (ANSYS)
  - CST MWS (Dassault Systèmes)
  - FEKO (Altair)
  - EMPIRE XPU (IMST)
  - AXIEM & ANALYST 3D (Cadence/AWR)
  - EMPro 3D (Keysight)
  - COMSOL Multiphysics (Comsol)
  - Xfdtd (REMCOM), ...
  
- ◆ Différences clés : Méthodes numériques, ergonomie, support... et prix
  
- ◆ Cf <https://www.microwavejournal.com/articles/print/29299-electromagnetic-analysis>

# Introduction à la simulation EM 3D

## La modélisation de l'environnement

- ◆ Le plus complexe et long : Modéliser correctement l'environnement
- ◆ Etape critique pour de bons résultats et pour un temps de calcul raisonnable
- ◆ Nécessité fréquente de simplifier les modèles mécaniques.
- ◆ Solution 1 : Réaliser un modèle numérique simple approchant le produit réel



- Nécessite un peu d'expérience pour savoir ce qui va être critique ou pas...

# Introduction à la simulation EM 3D

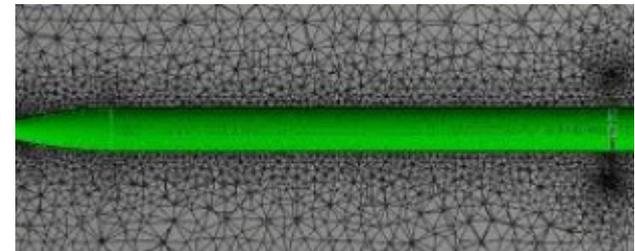
## La modélisation de l'environnement

- ◆ Solution 2 : Utiliser les modèles 3D réels (step/iges des boitiers, Gerbers des PCBs, etc,...), et y associer des propriétés électromagnétiques
- ◆ Nécessité la plupart du temps de simplifier les modèles mécaniques pour arriver à des temps de calcul réalistes
- ◆ Peut nécessiter des semaines de travail si modèles maillés complexes...
- ◆ Disponibilité d'outils dédiés qui peuvent aider. Un exemple :

### Altair® HyperMesh®

#### High-fidelity Finite Element Modeling

HyperMesh is the market-leading, multi-disciplinary finite element pre-processor which manages the generation of the largest, most complex models, starting with the import of a CAD geometry to exporting a ready-to-run solver file.

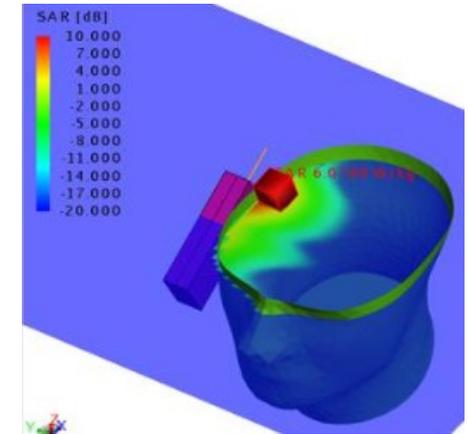


- ◆ Nécessite de connaître finement les techniques de maillage utilisés par les solveurs numériques utilisés

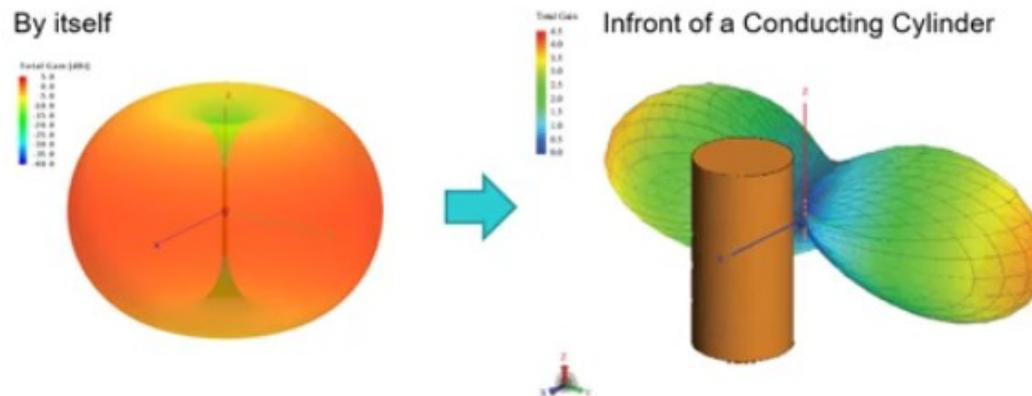
# Introduction à la simulation EM 3D

## La modélisation de l'environnement

- ◆ Les sources pour la modélisation de l'environnement :
  - Fichiers 3D de la CAO du PCB
  - Fichiers 3D du boîtier
  - Modèles externes (ex corps humain)
- ◆ ... mais souvent beaucoup d'approximations nécessaires (ex : LCD, etc)
- ◆ Mais fondamental pour des résultats corrects !



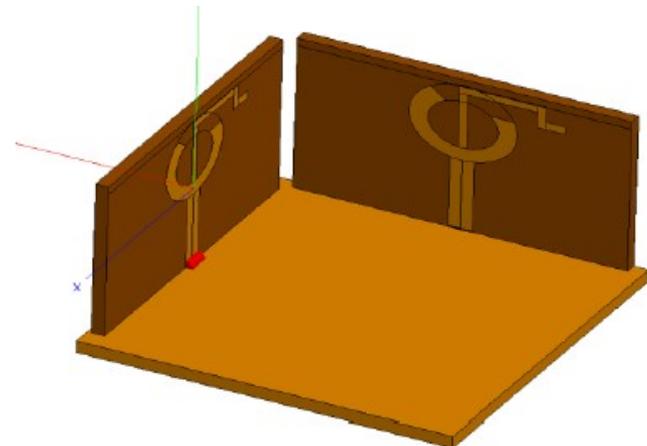
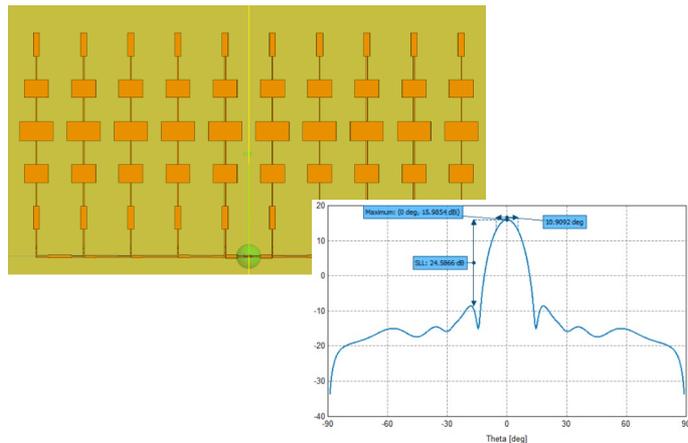
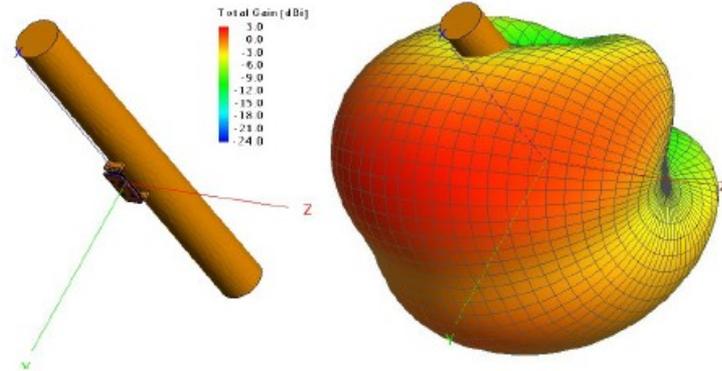
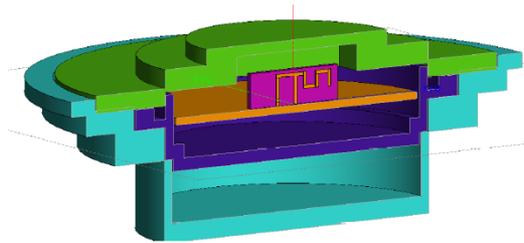
### Dipole Antenna with Surrounding Environment



# Introduction à la simulation EM 3D

## Exemples d'applications concrètes

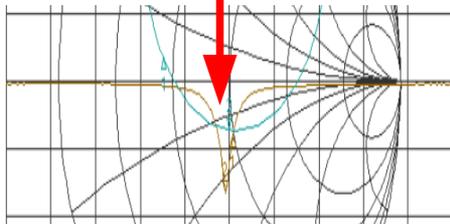
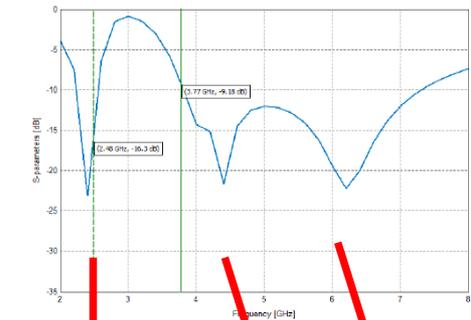
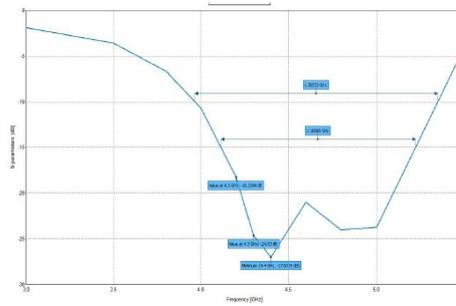
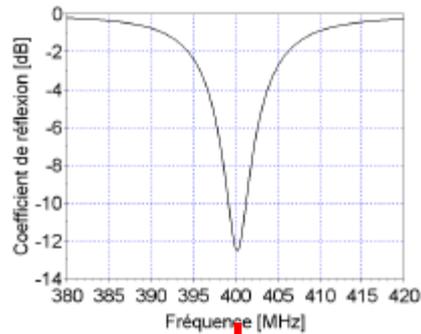
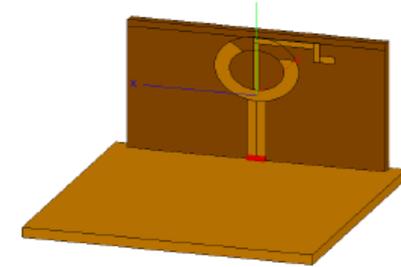
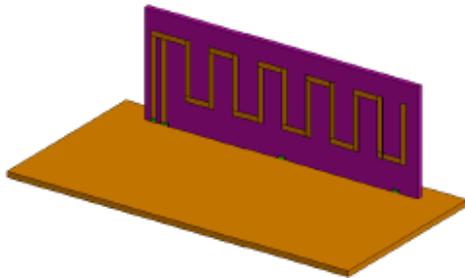
- ◆ Quelques projets réels (ALCIOM) où la 3D est nécessaire :



# Introduction à la simulation EM 3D

## Fiabilité des résultats

- Des résultats souvent excellents, et sinon explicables en réfléchissant...
- ... car liés à des erreurs du modèle et permettant de corriger celui ci

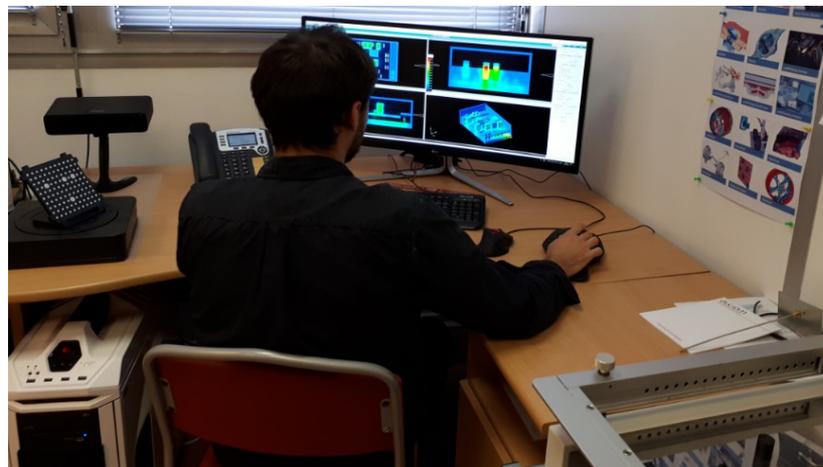


# Introduction à la simulation EM 3D

## Limitations et coûts

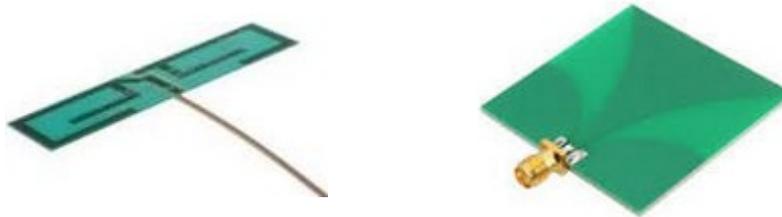
- ◆ Evidemment logiciels chers et complexes
- ◆ Modèles économiques très variables selon les fournisseurs. Modèle SAAS possible
- ◆ Formation impérative (quelques semaines...)
- ◆ Support du fournisseur quasi impérative : Maintenance/support (+15-20%/an ?)
- ◆ Résultats quasi conformes aux mesures, sinon erreur de modèle ou logiciel mal utilisé (ce qui est facile...) !
- ◆ ... et besoin de PCs plus que musclés pour projets importants (voire HPC)

Processeur	Passmark	Taille Mémoire RAM	Disque
AMD Ryzen Threadripper 3970X (32 cœurs, 3,7GHz)	64192	128Go DDR4 3466 Trident	SSD Samsung SSD 970 EVO Plus M.2 PCIe NVMe 500 Go





**Formation 203 - Antennes niveau 3 (conception)**  
**Module 11 - Introduction aux antennes large bande**



# Introduction aux antennes large bande

## Contenu du module

### - Introduction aux antennes large bande

- > Cas d'usage
- > Antennes bi-bandes, multi-bandes, UWB
- > Techniques d'élargissement de la plage d'accord d'une antenne
- > Exemples pratiques

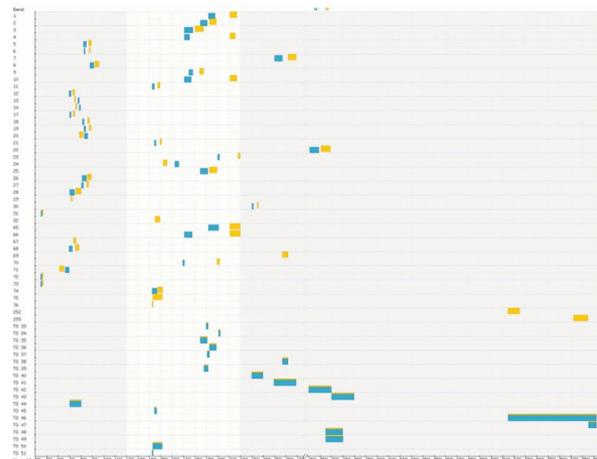
### + L'intégration de l'antenne

### + Conclusion et synthèse

# Introduction aux antennes large bande

## Cas d'usage

- ♦ Antenne « naturelle » = Résonne à une fréquence unique
- ♦ Peut être utilisée un peu autour de cette fréquence
- ♦ Largeur de bande fonction de la topologie et de la taille de l'antenne
- ♦ ... mais comment faire pour les applications nécessitant une large bande ou plusieurs bandes de fréquence plus ou moins larges ?
- ♦ Cas extrême : La téléphonie cellulaire

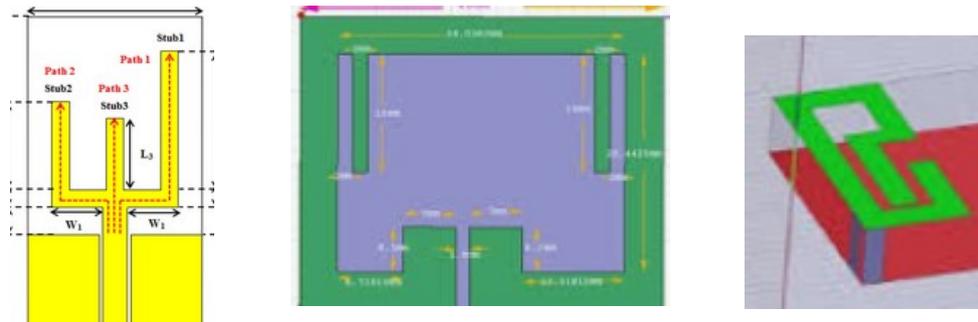


Summary of LTE Bands and Spectrum

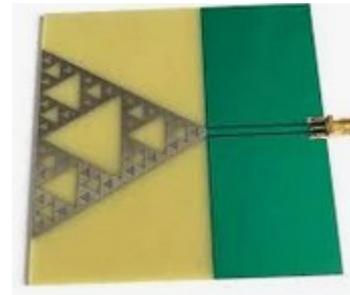
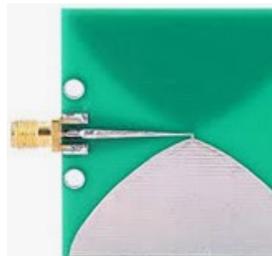
# Introduction aux antennes large bande

## Antennes bi-bandes / Multi-bandes / UWB

- Solution 1 : Accord dynamique
- Solution 2 : Développer des antennes résonnant à plusieurs fréquences
- D'autant plus complexe qu'il y a de fréquences et quelles sont proches...



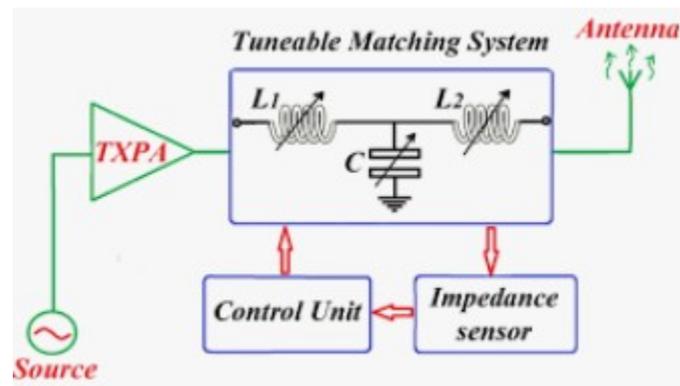
- A ne pas confondre avec les antennes large bande (résonnant plus ou moins dans une large plage, mais moins performantes)



# Introduction aux antennes large bande

## Techniques d'élargissement de la plage d'accord d'une antenne : Accord dynamique

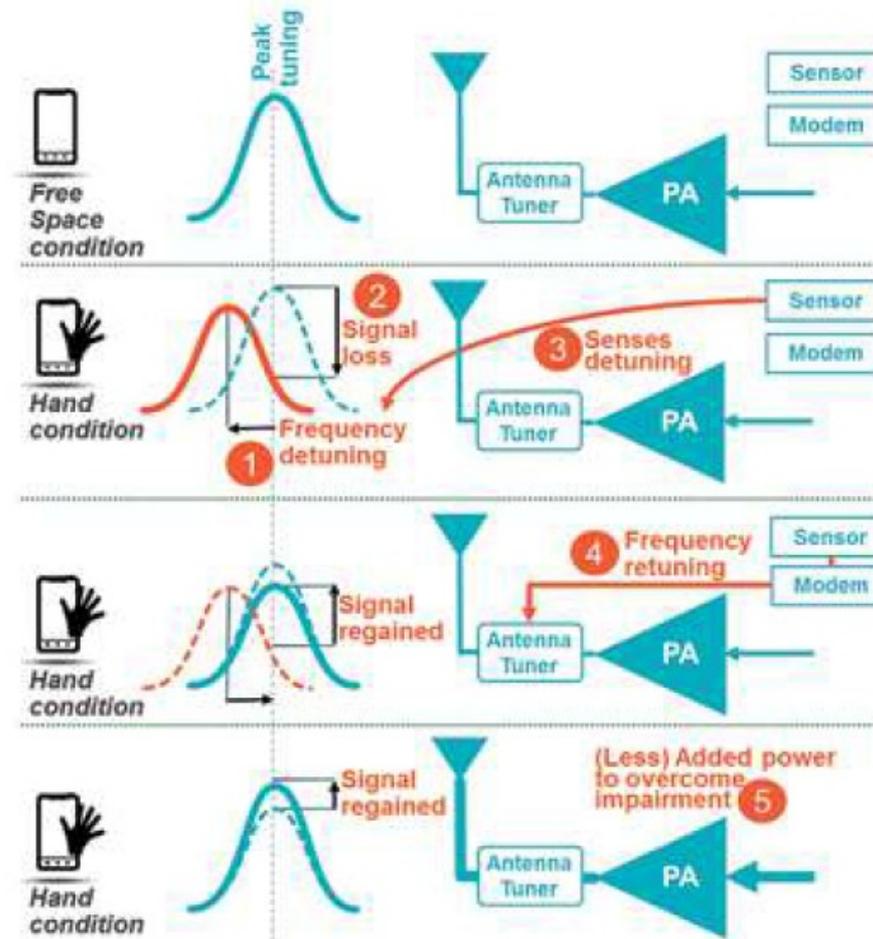
- ◆ Premier solution : Accord dynamique
- ◆ Le principe : Antenne « simple », mais réseau d'accord variable
- ◆ Le plus souvent réalisé par condensateur variable (diode varicap ou commutation de condensateurs d'accord)
- ◆ Choix de l'accord statique (table selon fréquence) ou adaptatif (selon mesure d'adaptation intégrée ou selon RSSI vue du correspondant)



# Introduction aux antennes large bande

## Techniques d'élargissement de la plage d'accord d'une antenne : Accord dynamique

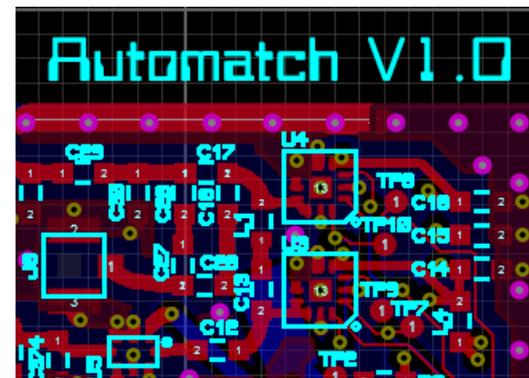
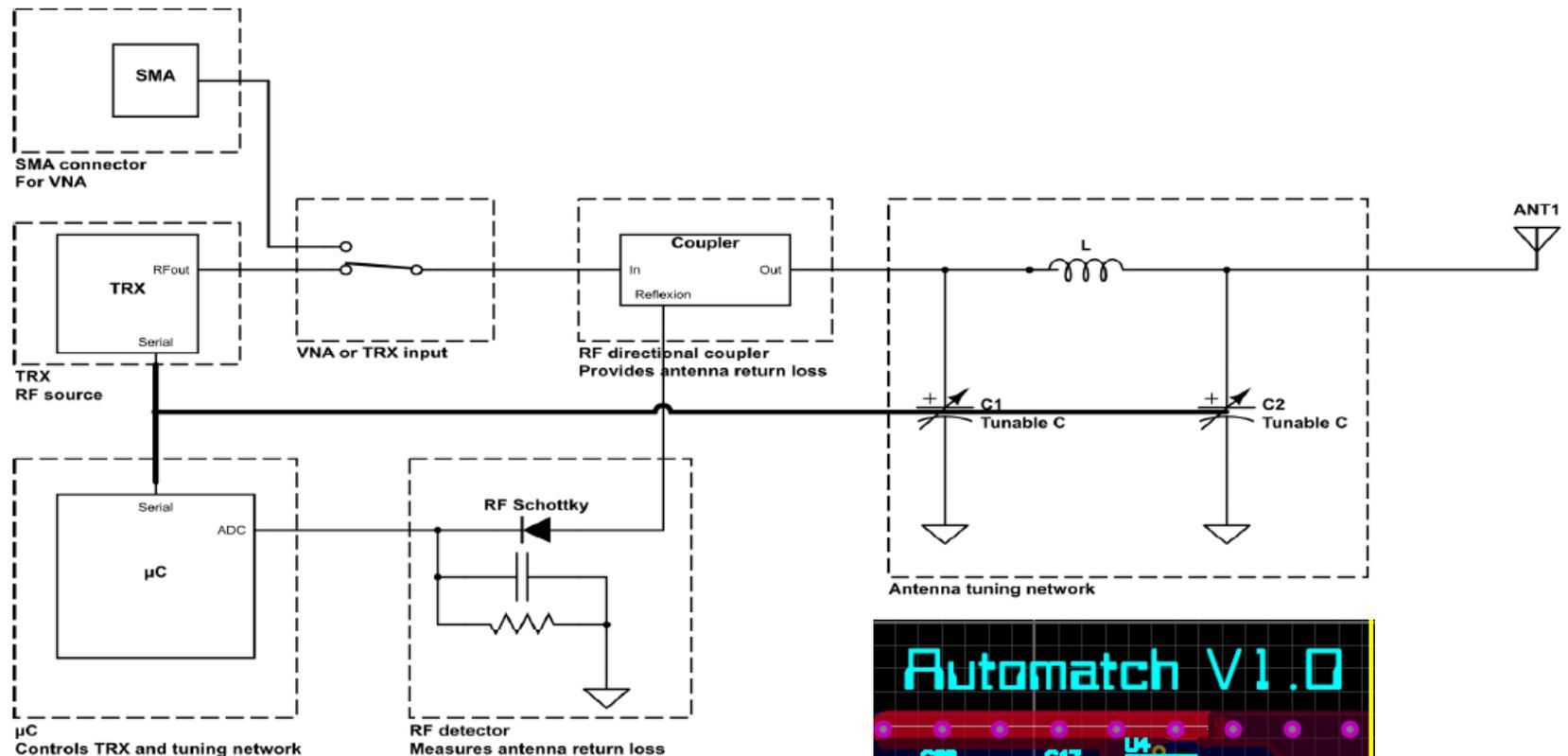
- ◆ Permet aussi d'adapter l'antenne en cas d'environnement changeant



# Introduction aux antennes large bande

## Techniques d'élargissement de la plage d'accord d'une antenne : Accord dynamique

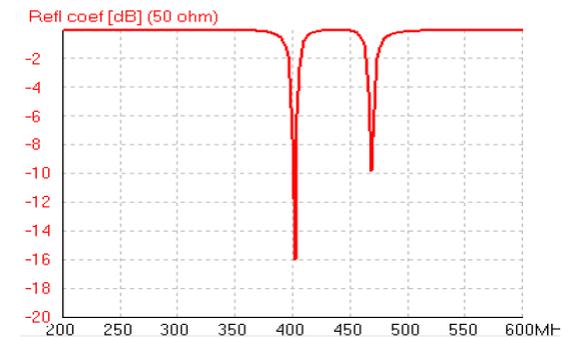
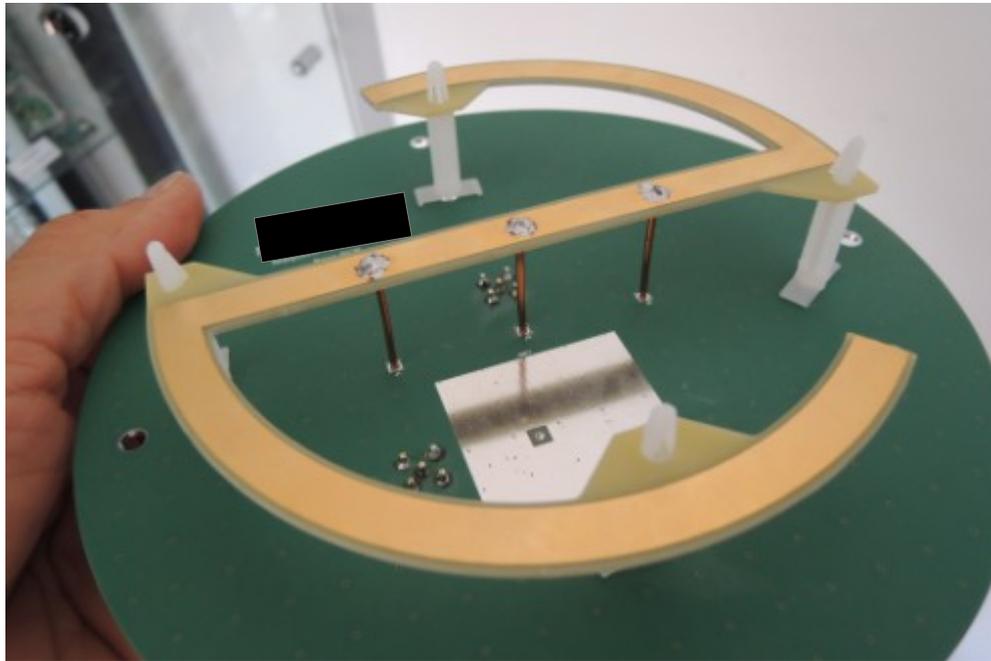
- Exemple (design de référence Alciom Automatch™ ) :



# Introduction aux antennes large bande

## Techniques d'élargissement de la plage d'accord d'une antenne : Plusieurs sections accordées

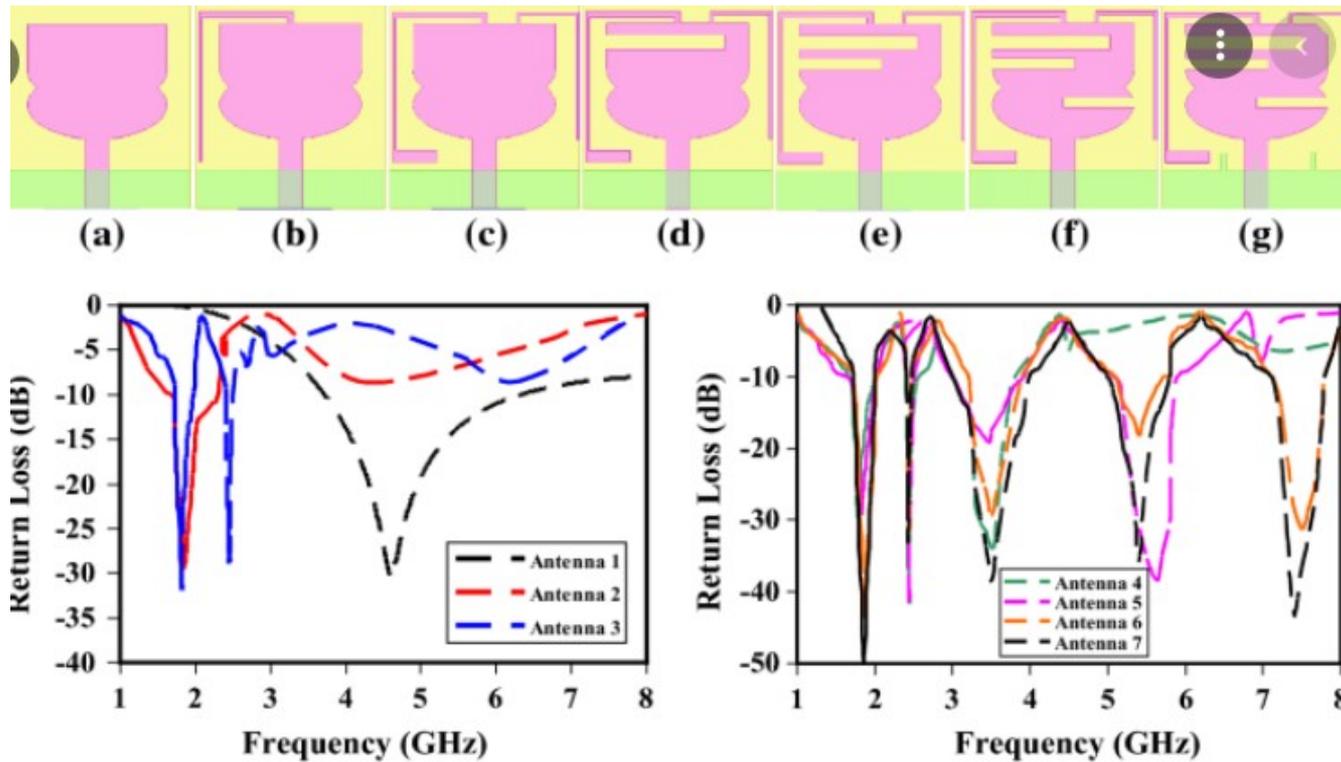
- ◆ Seconde gamme de solutions : **Plusieurs éléments accordés** constituant l'antenne
- ◆ Plus ou moins complexe selon le nombre de bandes et la taille de l'antenne (car brins proches = couplage fort)
- ◆ Un exemple « simple » (Alciom) :



# Introduction aux antennes large bande

## Techniques d'élargissement de la plage d'accord d'une antenne : Plusieurs sections accordés

- ◆ Se complexifie lorsqu'on ajoute des bandes, car couplages croisés
- ◆ Un exemple :



Published: 28 April 2020

Design and Analysis of Multiband Antenna for Wireless Communication

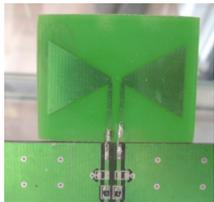
[Manish Sharma](#) ✉

145 / 162

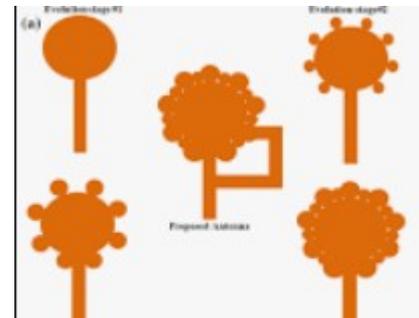
# Introduction aux antennes large bande

## Techniques d'élargissement de la plage d'accord d'une antenne : Antennes très large bande

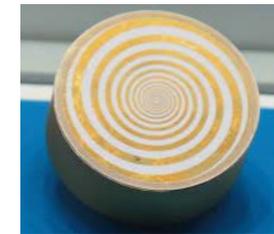
- ◆ Troisième solution : Structures d'antennes par nature très large bande (mais gain et efficacité réduite)
- ◆ Indispensables pour applications UWB par exemple
- ◆ Exemples :



disques



Flower-patches



Antennes spirales



Antennes à ondes progressives  
(cornets et antennes Vivaldi)



Antennes fractales

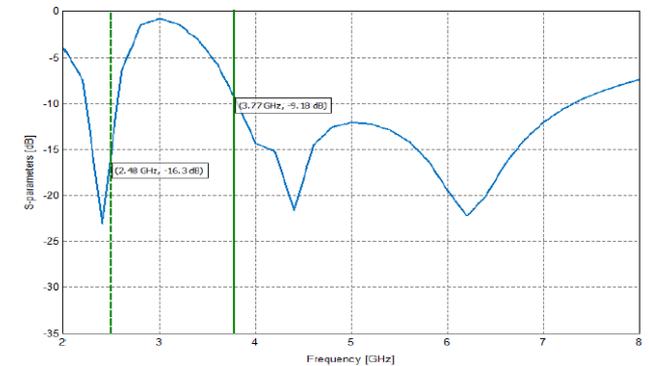


Antennes log-périodiques

# Introduction aux antennes large bande

## Techniques d'élargissement de la plage d'accord d'une antenne : Antennes très large bande

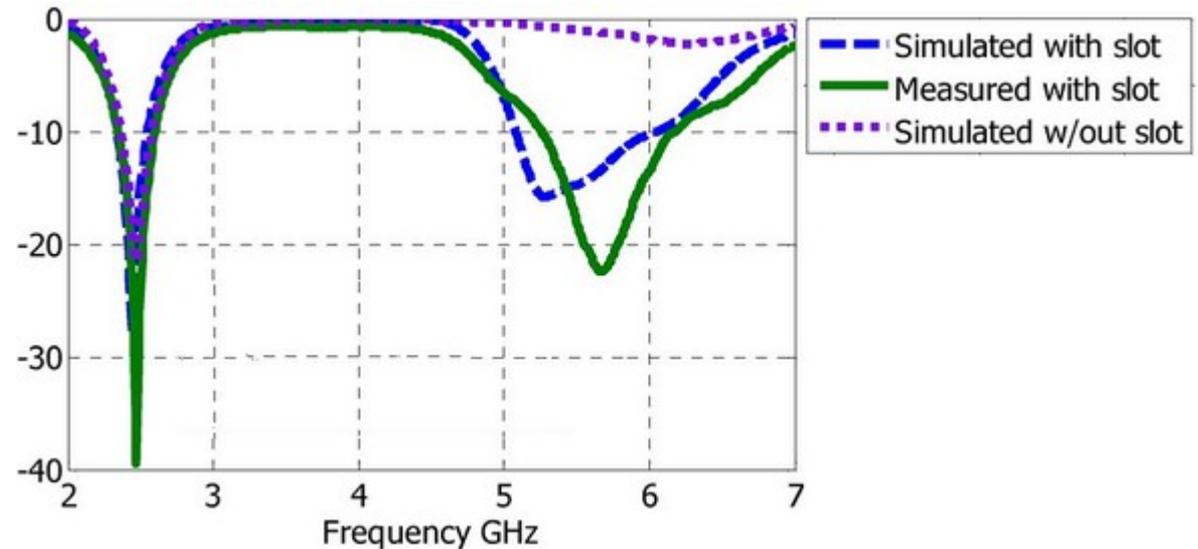
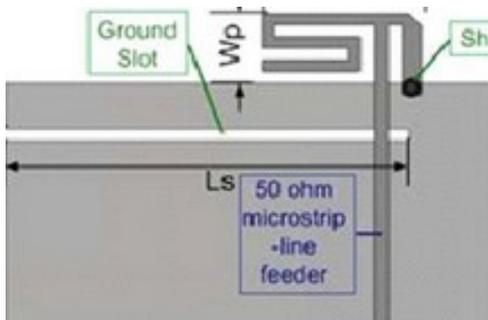
- Un exemple mixte (design Alciom : UWB + 2.4GHz)



# Introduction aux antennes large bande

## Techniques d'élargissement de la plage d'accord d'une antenne : Techniques avancées

- ♦ Literature pleine de travaux pour élargir la bande sans (trop) agrandir l'antenne
- ♦ L'une des pistes classiques : « trouser » le plan de masse
- ♦ Permet d'avoir deux fois plus de flexibilité pour le concepteur...



Compact Planar Multiband Antennas for Mobile Applications

By Ahmad Rashidy Razali, Amin M Abbosh and Marco A Antoniades

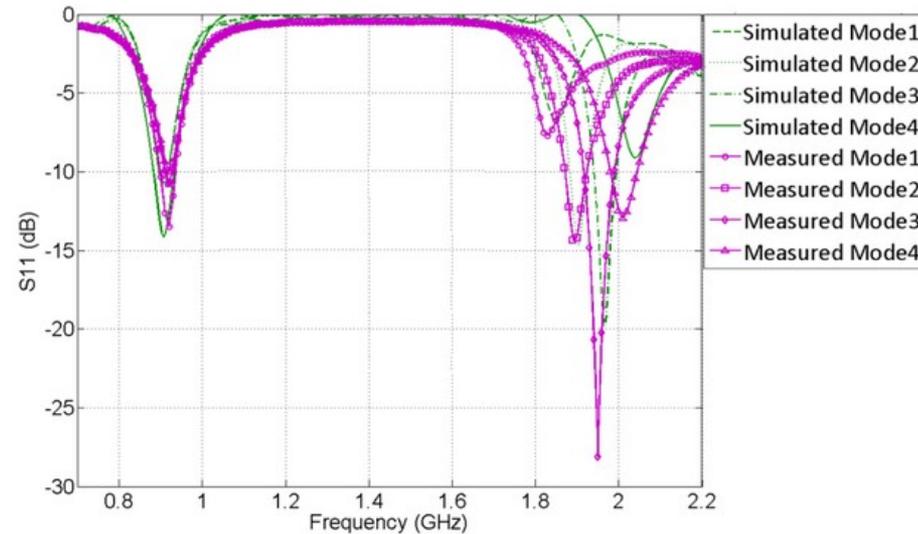
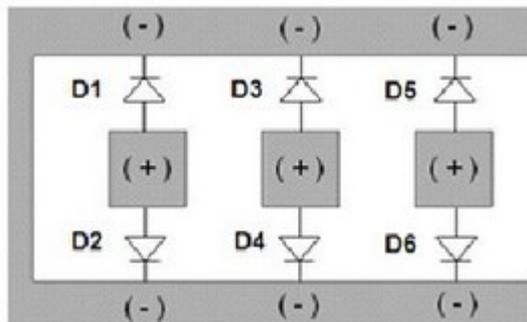
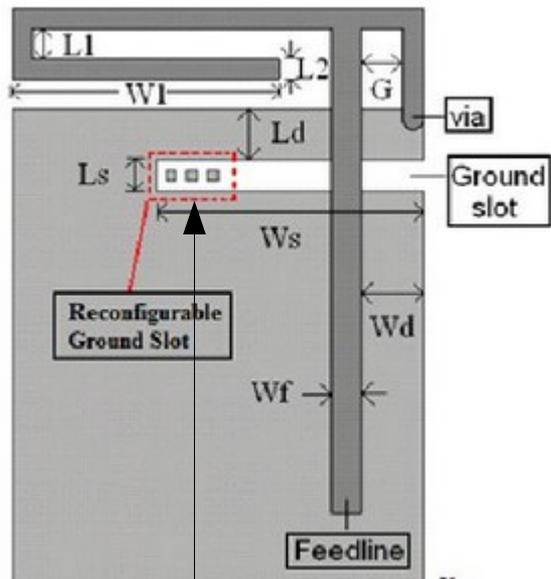
Submitted: March 28th 2012 Reviewed: August 2nd 2012 Published: March 6th 2013

DOI: 10.5772/52053

# Introduction aux antennes large bande

## Techniques d'élargissement de la plage d'accord d'une antenne : Techniques avancées

- ◆ Possibilité de mélanger les approches : Commuter non pas le réseau d'accord mais des éléments de l'antenne ou plus fréquemment changer la taille du ground slot :



**Compact Planar Multiband Antennas for Mobile Applications**  
By Ahmad Rashidy Razali, Amin M Abbosh and Marco A Antoniadis  
Submitted: March 28th 2012 Reviewed: August 2nd 2012 Published: March 6th 2013  
DOI: 10.5772/52053

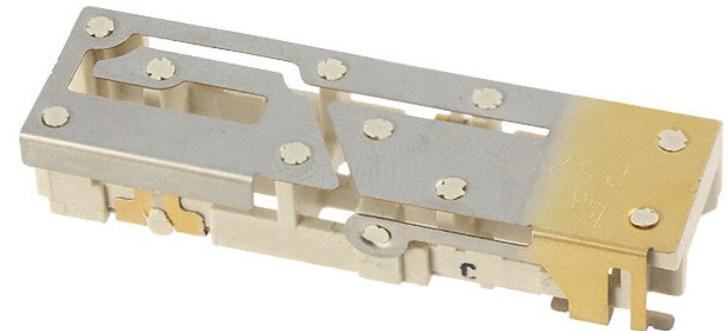
# Introduction aux antennes large bande

## Exemples pratiques

- ◆ Juste un exemple de produit industriel

**Prestta™ Standard Penta-Band  
Cellular Embedded Antenna**  
850/900/1800/1900/2100 MHz

Cellular Antenna	824-849, 869-894	880-915, 925-960	1710-1785, 1805-1880	1850-1910, 1930-1990	1920-1980, 2110-2170
Peak Gain	1.4 dBi	1.2 dBi	2.7 dBi	2.6 dBi	2.8 dBi
Average Efficiency	62%		66%		
VSWR Match	2.5:1 max				
Feed Point Impedance	50 ohms unbalanced (other if required)				
Power Handling	2 Watt cw				
Polarization	Linear				





**Formation 203 - Antennes niveau 3 (conception)**  
**Module 12 - L'intégration de l'antenne**



# L'intégration de l'antenne

## Contenu du module

### - L'intégration de l'antenne

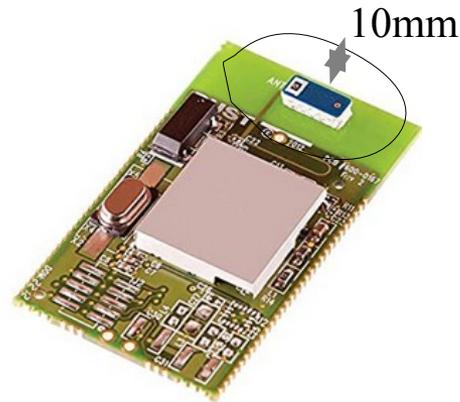
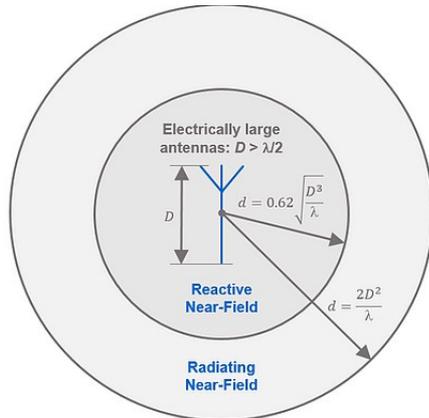
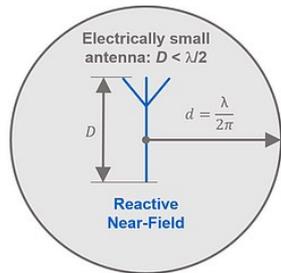
- > Influence de la taille du produit, du boîtier, des éléments proches, de l'environnement
- > Interférences et couplages
- > Règles de bonne pratique

### + Conclusion et synthèse

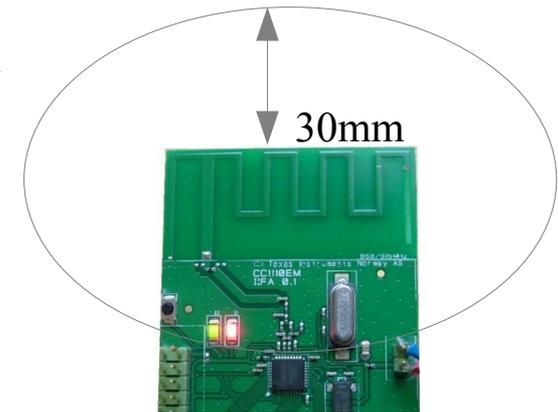
# L'intégration de l'antenne

Influence de la taille du produit, du boîtier, des éléments proches, de l'environnement...

- ◆ Garder en tête que TOUT ce qui est dans la zone de champ proche de l'antenne fait partie intégrante de l'antenne



2,4GHz :  $\lambda = c/f = 12\text{cm}$   
 $D=6\text{mm}, \ll \lambda/2$   
 $\lambda/2\pi = 19\text{mm}$   
 $2D^2/\lambda = 0,6\text{mm}$   
10mm ?



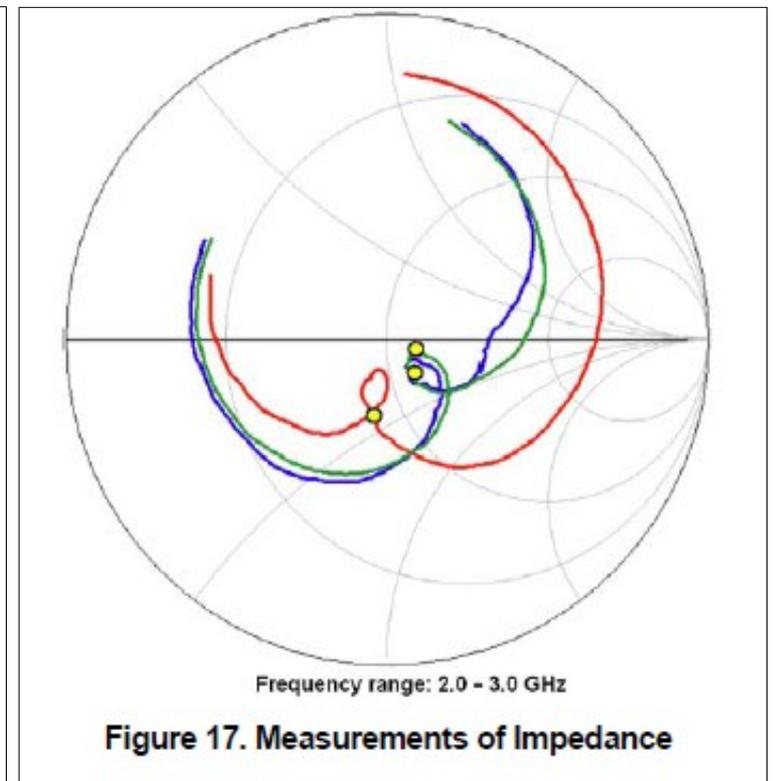
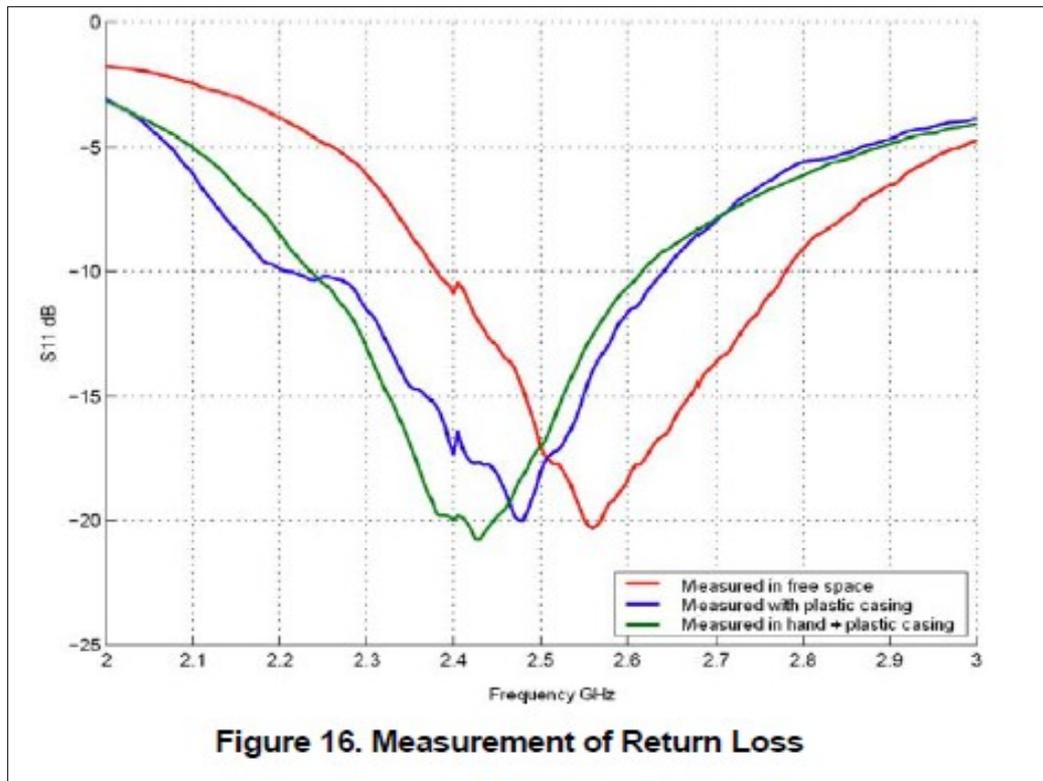
868MHz :  $\lambda = c/f = 0,34\text{m}$   
 $D=40\text{mm}, < \lambda/2$   
 $\lambda/2\pi = 50\text{mm}$   
 $2D^2/\lambda = 10\text{mm}$   
30mm ?

- ◆ Le plus important : Que l'environnement reste **stable** !

# L'intégration de l'antenne

Influence de la taille du produit, du boîtier, des éléments proches, de l'environnement...

♦ Rappel : Influence typique d'un boîtier plastique :

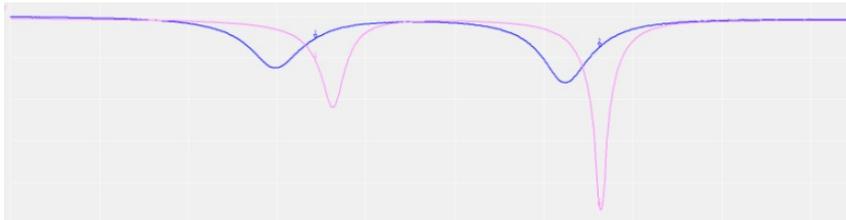


# L'intégration de l'antenne

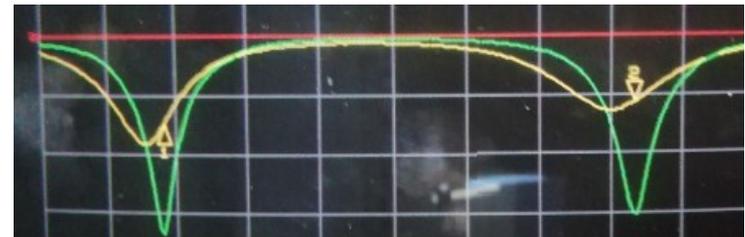
Influence de la taille du produit, du boîtier, des éléments proches, de l'environnement...

- ♦ De là pour la conception d'une antenne :
  - Connaître et modéliser l'environnement proche (boîtier, piles, etc)
  - Définir l'environnement d'utilisation pour lequel l'antenne doit être optimisée
  - Et utiliser ces données pour la conception de l'antenne
  
- ♦ La simulation permet de prendre en compte et **d'anticiper** ces éléments !
  
- ♦ Exemple : Antenne bibande dans une bouée (hors de l'eau / flottant sur l'eau)

Simulation



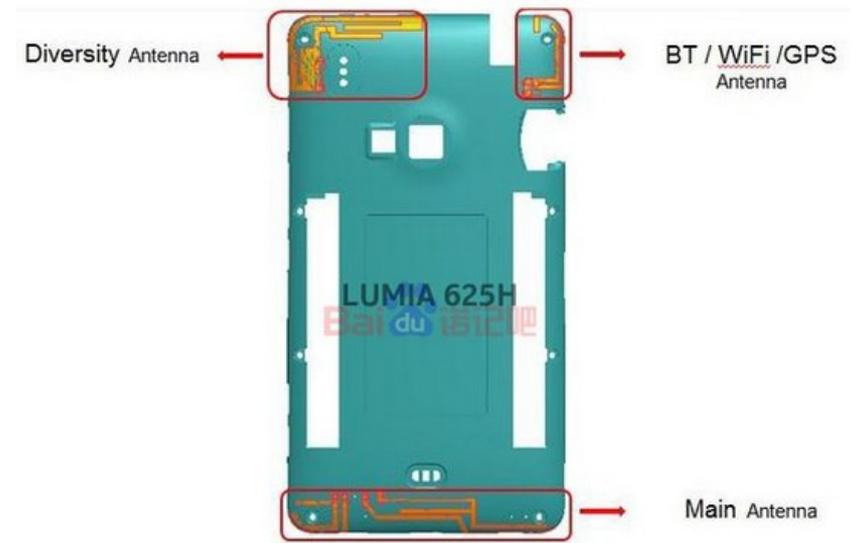
Mesure



# L'intégration de l'antenne

## Interférences et couplages

- ♦ L'intégration d'une antenne ? Prendre aussi garde aux **couplages** :
  - Minimiser les couplages des antennes de réception avec les générateurs de bruit du design (DC/DC, oscillateurs, composants numériques...)
  - Minimiser les couplages des différentes antennes d'un produit (surtout si utilisation simultanée). Attention au blocking !
    - Eloignement
    - Blindages des perturbateurs (capots ou selfs blindées)
    - Orientation (polarisation et diagramme de rayonnement)
- ♦ Tout ceci se simule aussi très bien...



# L'intégration de l'antenne

## Règles de bonne pratique

- ◆ Surtout **anticiper** : Penser antenne dès le design préliminaire
- ◆ Equipe pluridisciplinaire dès que possible
- ◆ Boîtier plastique : Bien définir les distances entre antenne et boîtier (conception mécanique permettant la maîtrise des cotes)
- ◆ Attention aux types et couleurs de plastique (pigments métalliques... ). Si besoin, mesurer les caractéristiques du plastique
- ◆ Grande antenne = petits soucis...
- ◆ Toujours vérifier les performances de l'antenne dès les premiers protos ou sur maquette (accord d'impédance + rayonnement)
- ◆ Prévoir, malgré tout, toujours un emplacement pour un réseau d'accord...



**Formation 203 - Antennes niveau 3 (conception)**  
**Module 13 - Conclusion et synthèse**



# Conclusion et synthèse

## Contenu du module

- **Conclusion et synthèse**

- > Les grandes erreurs à éviter
- > Quizz final et débriefing de la formation

# Conclusion et synthèse

## Les grandes erreurs à éviter



- ◆ Ne penser à l'antenne qu'après avoir conçu ou choisi la mécanique
- ◆ Ne penser à l'antenne qu'après avoir conçu le PCB
- ◆ Choisir une petite antenne s'il y a la place pour une plus grande
- ◆ Imaginer qu'un tout petit PCB est un « plan de masse » pour un monopole
- ◆ Concevoir l'antenne sans tenir compte de l'environnement
- ◆ Couper/coller un design d'antenne sans le comprendre
- ◆ Imaginer que développer une antenne multibandes est simple
- ◆ Ne pas simuler si la simulation est utile
- ◆ Ne pas vérifier que les résultats de la simulation sont raisonnables
- ◆ Tester l'antenne dans les conditions parfaites
- ◆ Ne pas prévoir de réseau d'adaptation et de points de raccordement pour le VNA
- ◆ Ne pas se faire aider si l'on a besoin d'aide...

# Conclusion et synthèse

## Quizz final



Se connecter à Evalbox

Vous devriez avoir reçu par email les informations de connexion (login/mot de passe)

3 points to the 'Mot de passe' input field.

J'ai un code... Connexion

Français

1 Code Qui vous a été fourni ..... 2 Email Email habituel ..... 3 Nom Identité

Le code (ou une adresse Web équivalente) vous a été fourni par votre professeur

Lingue: 4 français

Code: FGWPU

Suivant >

5 points to the 'DEMARRER' button.

Click on « DEMARRER » pour commencer, or on « QUITTER » pour quitter cet examen (et éventuellement pouvoir en rejoindre un autre)

DEMARRER QUITTER

7 points to the 'Répondre' button.

Répondre 1/2

24 Testqq

6 points to the 'vrai' radio button.

vrai  
faux

# Conclusion et synthèse

## Débriefing



- ◆ Commentaires et avis sur la formation ?
- ◆ Avez vous trouvé ce que vous cherchiez ?
- ◆ Comment faire encore mieux pour la prochaine ?
- ◆ Questions ?

N'oubliez pas les questionnaires de satisfaction...