



Antennes large bande, indépendantes de la fréquence

Ecole d'automne du GDR ONDES

Ultra-Large Bande

Xavier Begaud

23 octobre 2006

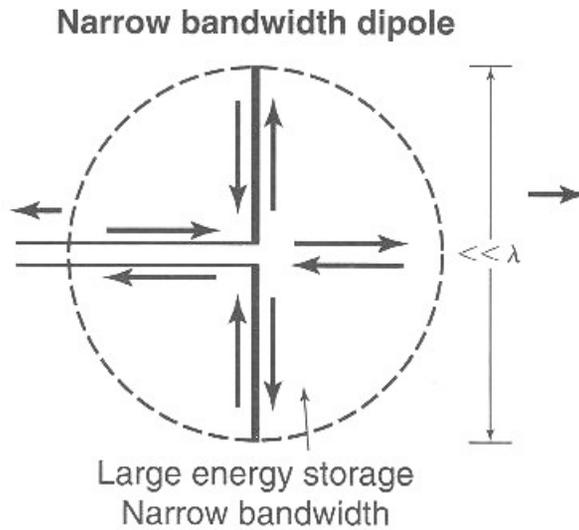


Plan de la présentation

- ✓ Introduction : cavité & charge
- ✓ Antenne à onde progressive
- ✓ Antenne large bande
- ✓ Antenne indépendante de la fréquence
- ✓ Comparatif & conclusion
- ✓ Références

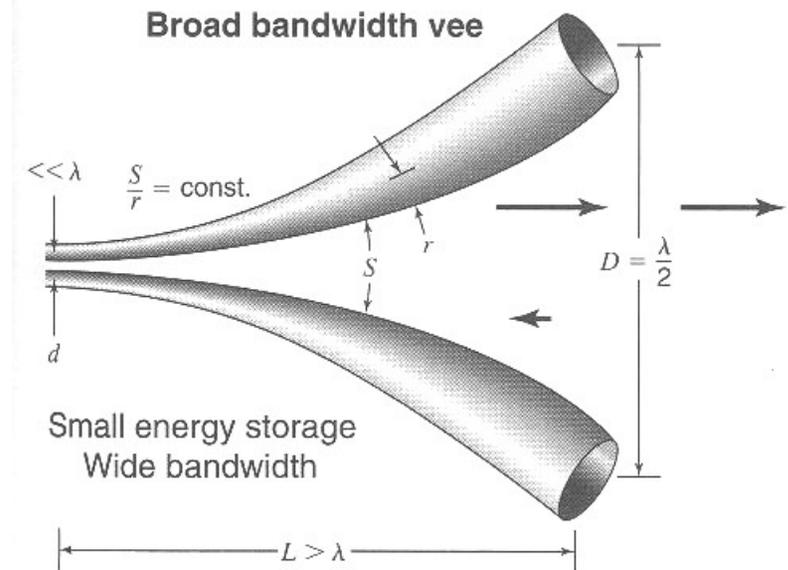
Introduction

- ✓ Qu'elle est la différence entre une antenne à large bande et une antenne à faible bande passante ? [1]



Cavité

Onde stationnaire



Charge

Onde progressive

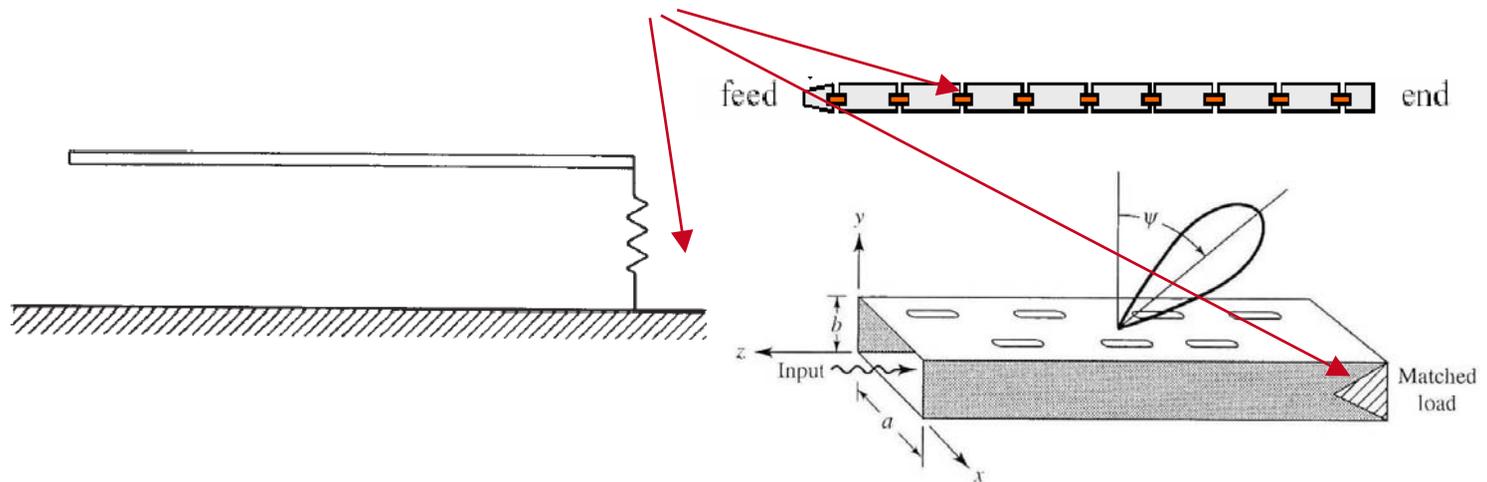
Plan de la présentation

- ✓ Introduction : cavité & charge
- ✓ Antenne à onde progressive
- ✓ Antenne large bande
- ✓ Antenne indépendante de la fréquence
- ✓ Comparatif & conclusion
- ✓ Références

Antennes à onde progressive

✓ Comment réaliser une antenne à onde progressive ?

1- Ajout de composants (R,C, ...) sur l'antenne ou à son extrémité



Résistances => Efficacité ↓

2- Modification de la géométrie de l'antenne

Transition douce/progressive => Encombrement ↑

Antennes à onde progressive

✓ Exemple [2]:

On suppose :

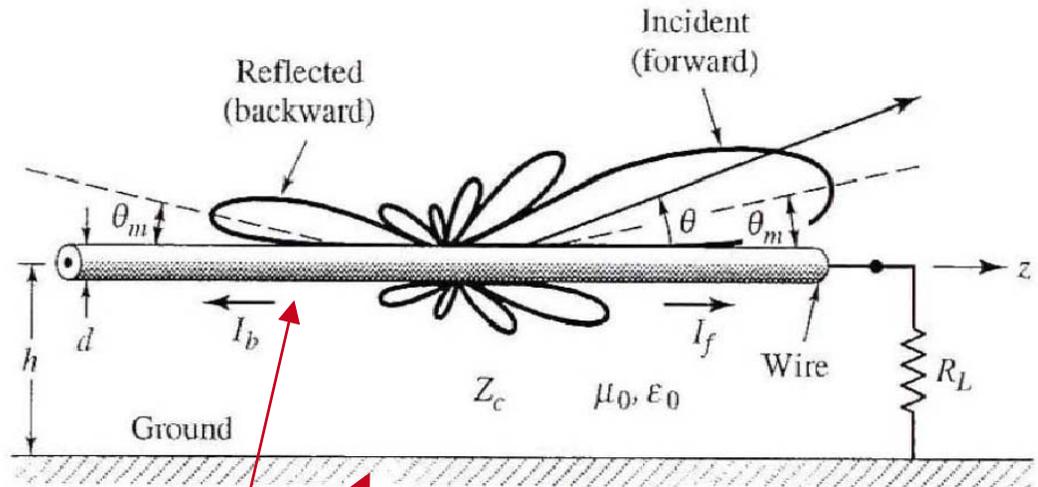
$$\underline{I} = \hat{a}_z I_0 e^{-jk_z z'}$$

$$E_r \approx E_\phi \approx 0$$

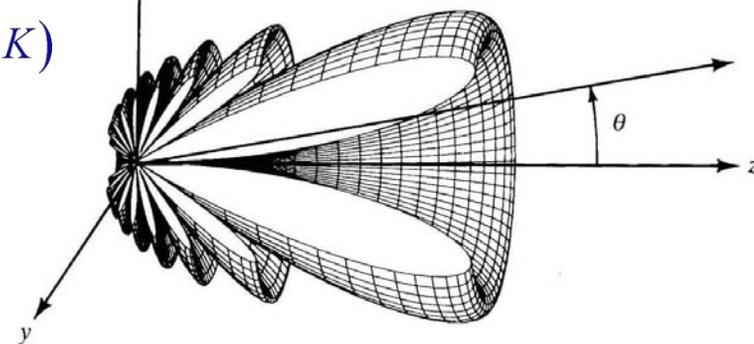
$$E_\theta = j\eta \frac{klI_0 e^{-jkr}}{4\pi r} e^{-j\frac{kl}{2}(K - \cos\theta)} \cdot \sin\theta \frac{\sin\left[\frac{kl}{2}(\cos\theta - K)\right]}{\frac{kl}{2}(\cos\theta - K)}$$

$$K = \frac{k_z}{k} = \frac{\lambda}{\lambda_g}$$

Où λ_g est la longueur d'onde guidée



3-D Pattern Of Traveling Wave Antenna ($l = 5\lambda$)



Plan de la présentation

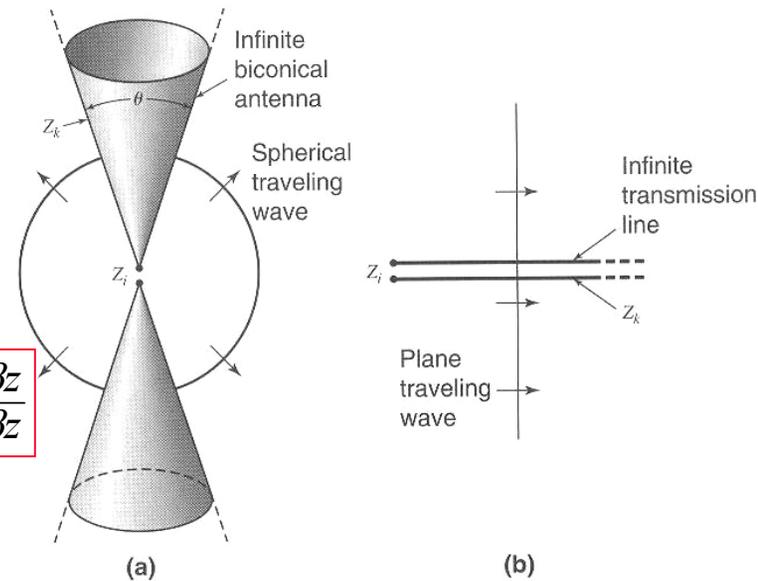
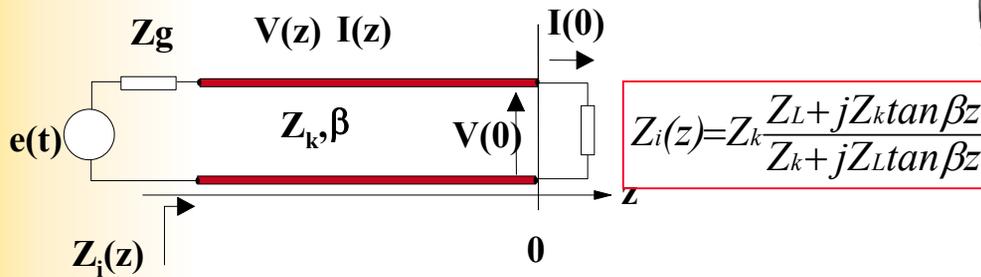
- ✓ Introduction : cavité & charge
- ✓ Antenne à onde progressive
- ✓ Antenne large bande
- ✓ Antenne indépendante de la fréquence
- ✓ Comparatif & conclusion
- ✓ Références

Antennes à large bande

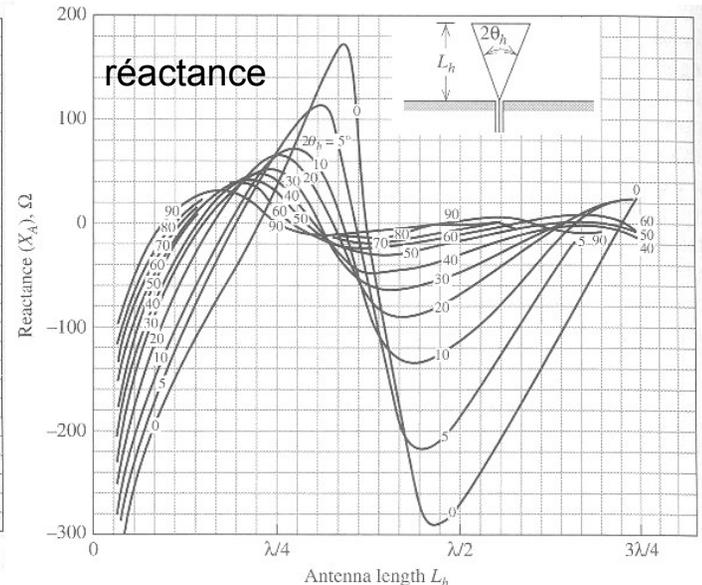
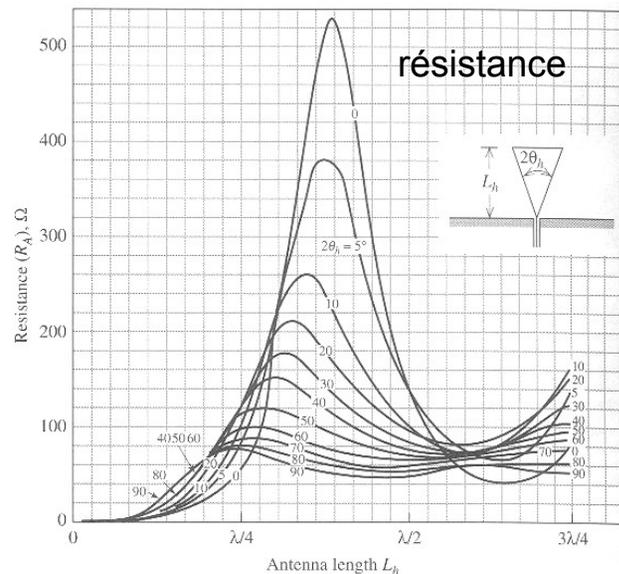
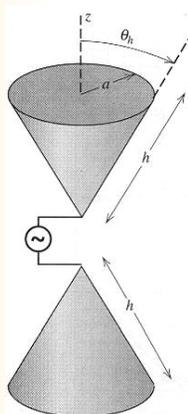
✓ Antenne biconique infinie [3]:

$$Z_i = 120 \ln(\cot(\theta/4)) \Rightarrow \theta = 90^\circ \Rightarrow Z_i = 50 \Omega$$

Ligne de transmission sans perte:

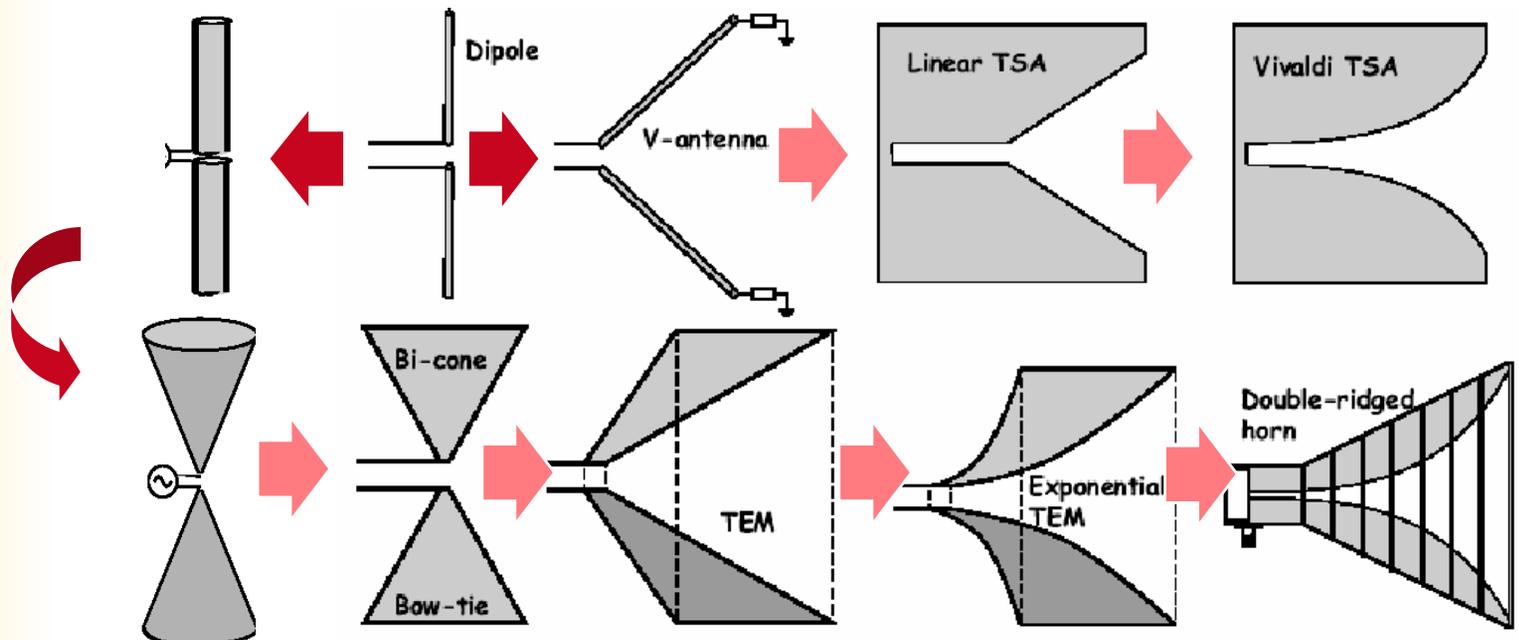


✓ Antenne biconique finie:



Antennes à large bande

✓ Les déclinaisons :



Antennes à large bande

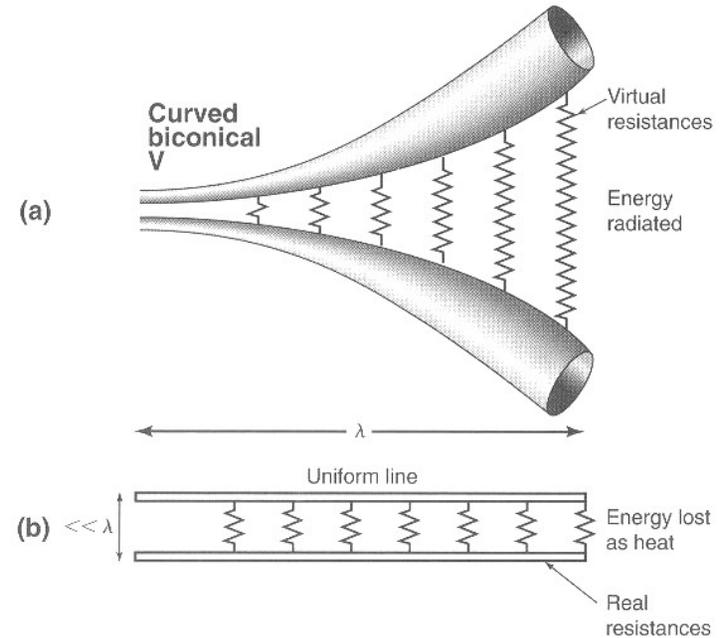
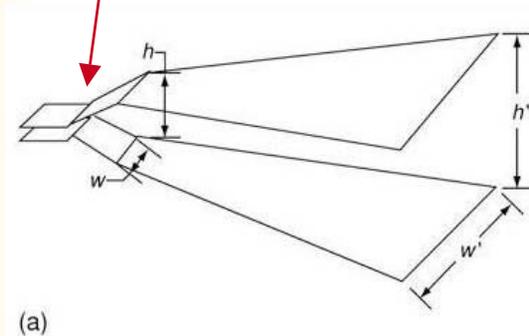
✓ Antenne biconique ...

Adaptation progressive
vers l'espace libre !

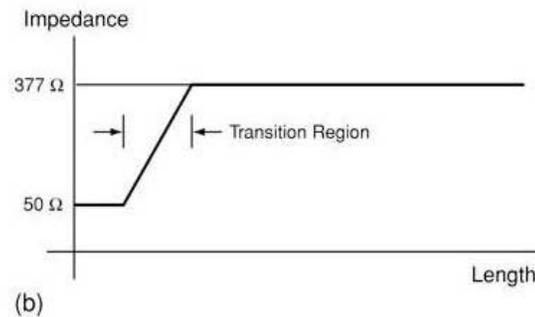
⇒ Cornet TEM

Supposons que l'on sache
alimenter alors $Z_i = Z_0 h/W$

(si $w \gg \sim 10 h \dots$)



Et aussi :



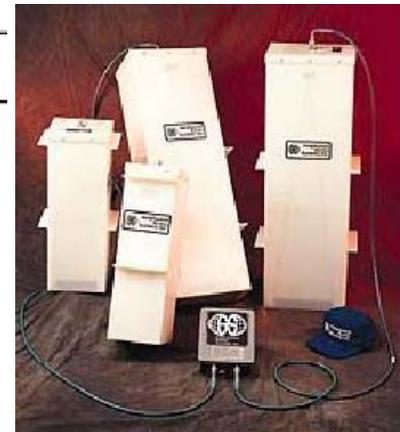
Antennes à large bande

✓ Cornet TEM:

- ⇒ Génère un champ TEM à partir de la fréquence de coupure du guide
- ⇒ Alimentation équilibrée (Balun ...)
- ⇒ Gain modéré (5 à 15 dB)
- ⇒ Dans le domaine temporel : réflexions à l'entrée et à l'extrémité

Exemple de performance d'un cornet TEM (ouverture $> 0.6 \lambda$) [8]

Parameter	Value
Bandwidth	12:1
Gain	2.5 to 15.0 dBi
Radiation pattern	Unidirectional
Polarization	Linear (perpendicular to parallel plate line)
Powerhandling	Adequate for transmission
Dispersive	No
RX transfer function	Constant with frequency
TX transfer function	Linear with frequency
Problem areas	Horn excitation; reflection from aperture; input excitation method; side radiation



Commercial TEM horns:

Plan de la présentation

- ✓ Introduction : cavité & charge
- ✓ Antenne à onde progressive
- ✓ Antenne large bande
- ✓ Antenne indépendante de la fréquence
- ✓ Comparatif & conclusion
- ✓ Références

Antennes indépendantes de la fréquence

- ✓ **Principe de Rumsey [4]:** « Si la géométrie d'une antenne peut être définie uniquement par des angles, cette antenne est alors indépendante de la fréquence »

Ex: L'équation de la spirale logarithmique est :

$\rho(\theta) = \rho_0 \exp(a\theta)$ avec ρ_0 rayon à l'origine ($\theta_0 = 0$),

et a coefficient réglant l'expansion de la spirale

= > Spirale homothétique à elle-même

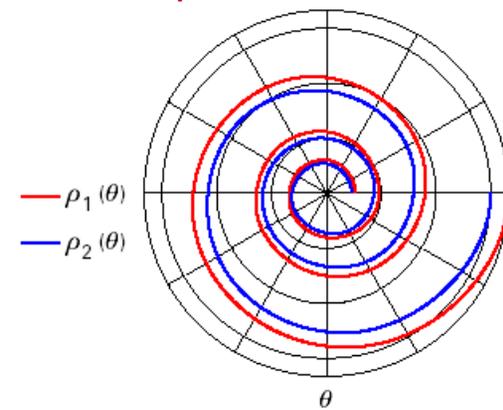
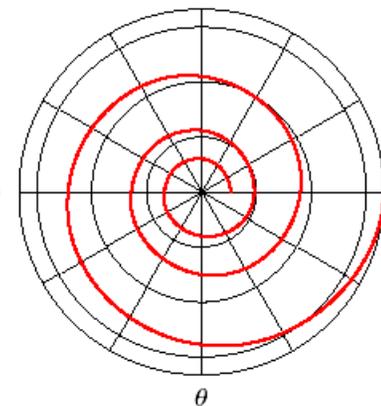
Si une portion p_0 rayonne à λ_0 , alors, pour $\lambda_1 > \lambda_0$,

Il y a plus loin, un morceau p_1 rigoureusement homothétique, dans le rapport λ_1 / λ_0 , qui rayonnera alors à λ_1 comme p_0 rayonnait à λ_0 .

Impédance indépendante de la fréquence = > largeur de la partie rayonnante proportionnelle à la longueur du fil

cad une bande limitée par **deux spirales** :

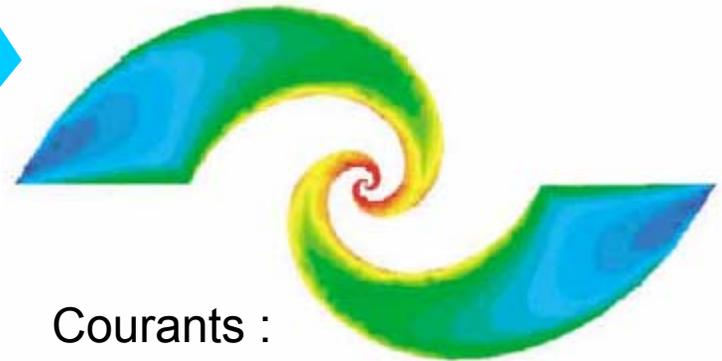
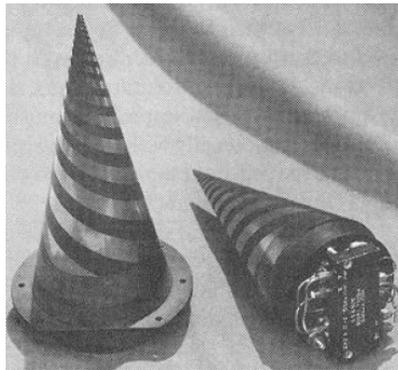
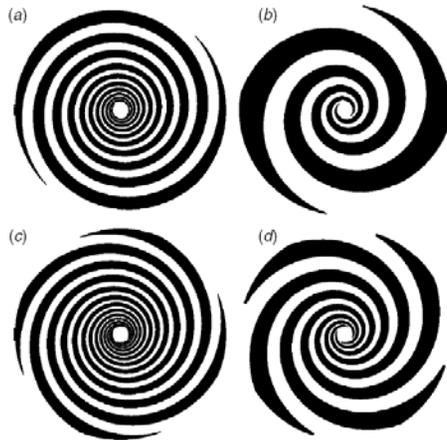
$\rho_1(\theta) = \rho_0 \exp(a\theta)$ $\rho_2(\theta) = \rho_0 \exp(a(\theta - \theta_0))$



Antennes indépendantes de la fréquence

✓ Spirale logarithmique :

- Antenne imprimée :



Courants :

Sur un cône :

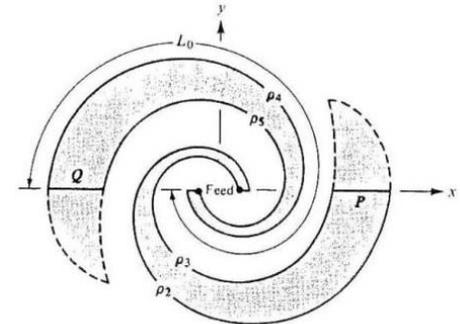
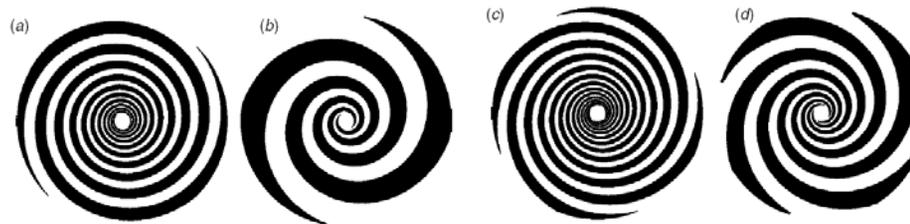
Antennes indépendantes de la fréquence

✓ Auto-complémentarité et Principe de Babinet [2]:

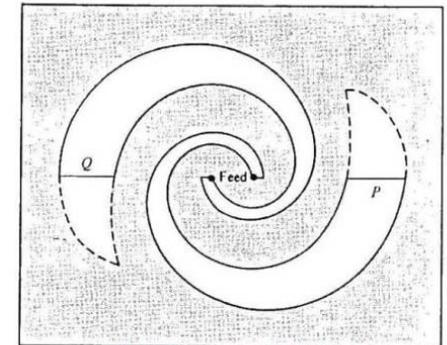
- ⇒ Soit deux antennes complémentaires :
Alors (dualité des équations de Maxwell)

$$Z_s Z_c = \frac{\eta^2}{4} \approx \frac{(120\pi)^2}{4}$$

- ⇒ Si une antenne est auto-complémentaire :



(a) Spiral Plate

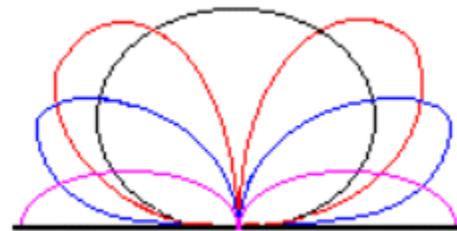


(b) Spiral Slot

$$Z_s = Z_c = \sqrt{\frac{(120\pi)^2}{4}} = \frac{120\pi}{2} = 60\pi = 188.5 \Omega$$

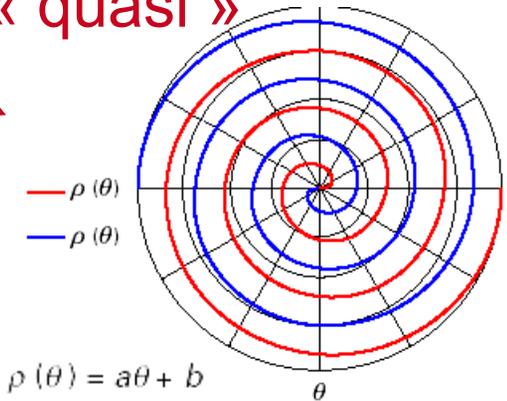
Antennes indépendantes de la fréquence

- ✓ Spirale d'Archimède [5] : antenne « quasi » indépendante de la fréquence :
- ✓ Modes de fonctionnement :



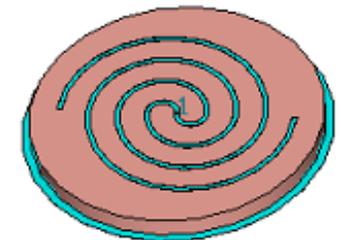
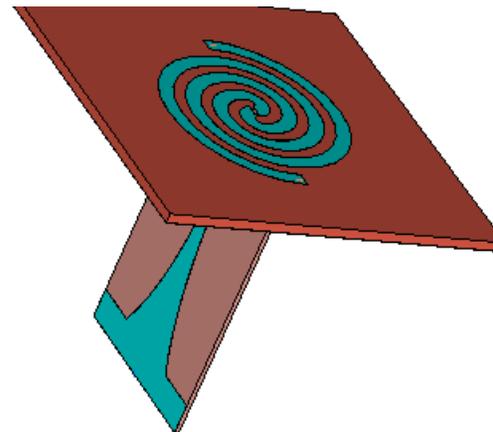
Plan de l'antenne

- Mode 0
- Mode 1
- Mode 2
- Mode 3



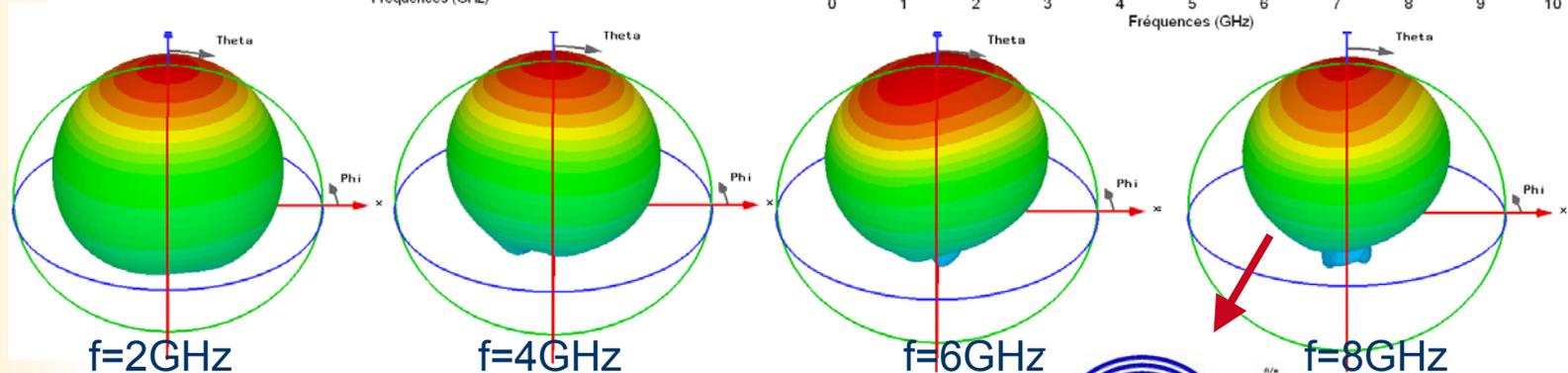
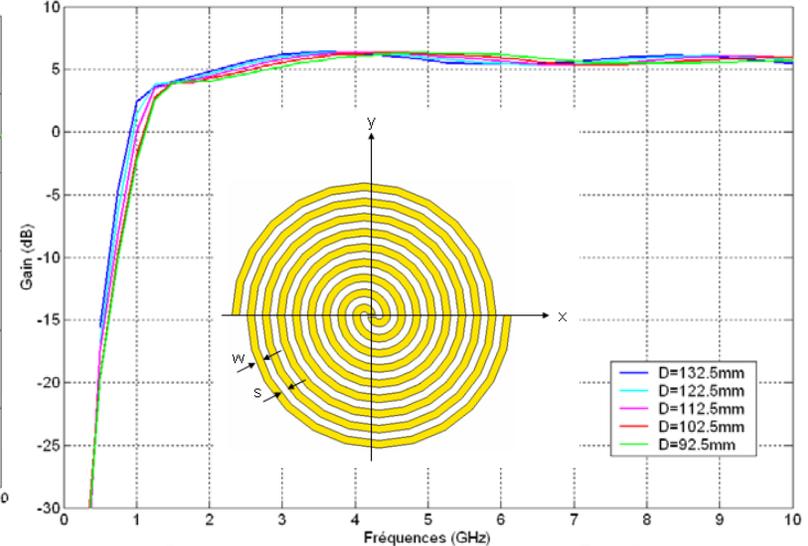
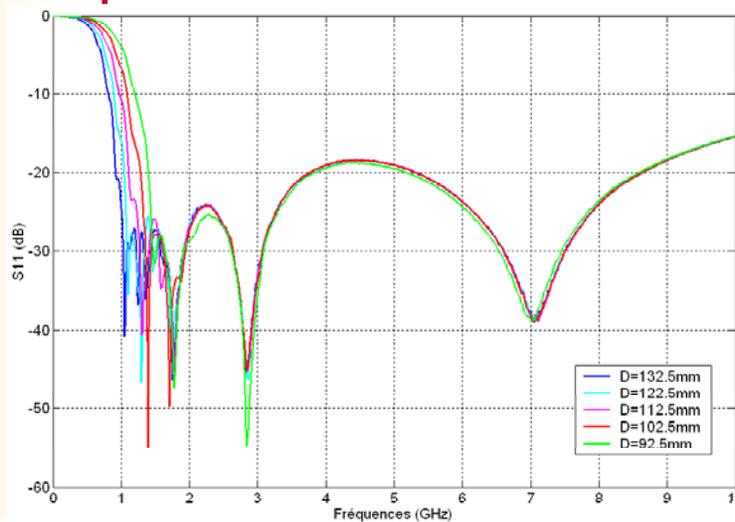
$$\rho(\theta) = a\theta + b$$
$$a = 0,1$$
$$b = 0,1$$

- ✓ Réalisations :



Antennes indépendantes de la fréquence

✓ Spirale d'Archimède : Adaptation / Ray^t / Gain



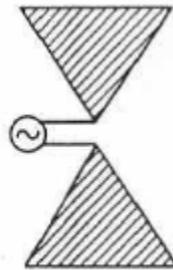
Antenne spirale en espace libre (polarisation circulaire) : mode $m=1$ seulement



Antennes indépendantes de la fréquence

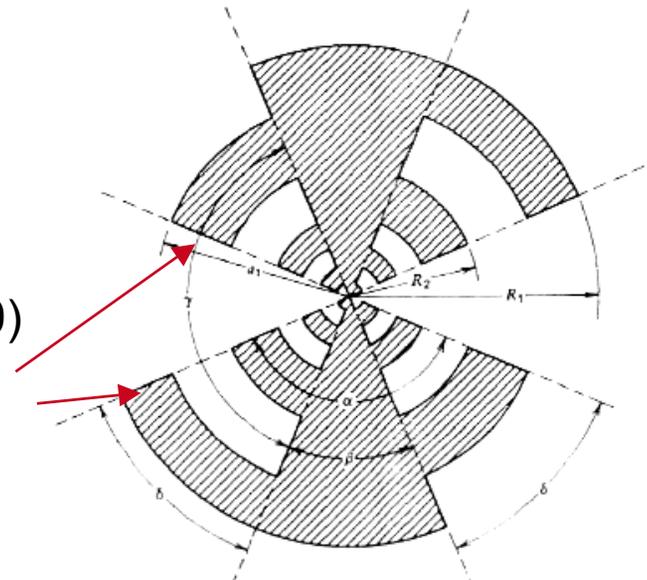
✓ Antenne log-périodique [3]:

⇒ Principe (historique) :



(Duhamel & Isbell 1960)

On ajoute des dents !



Nous avons vu (page 10) : $\rho_n(\theta) = \rho_0 \exp(a(\theta + n2\pi))$ (n : nombre de tours)

Alors $\rho_{n+1} / \rho_n = \exp(a2\pi) = \tau < 1$ (taux d'expansion de l'antenne)

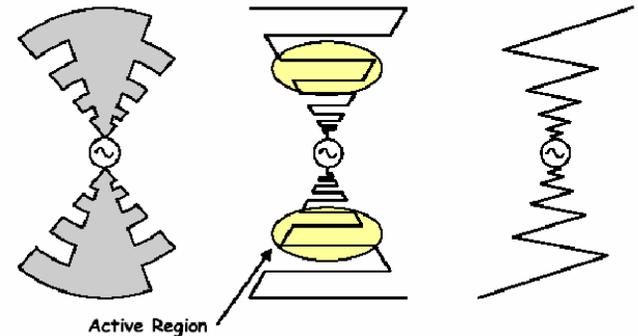
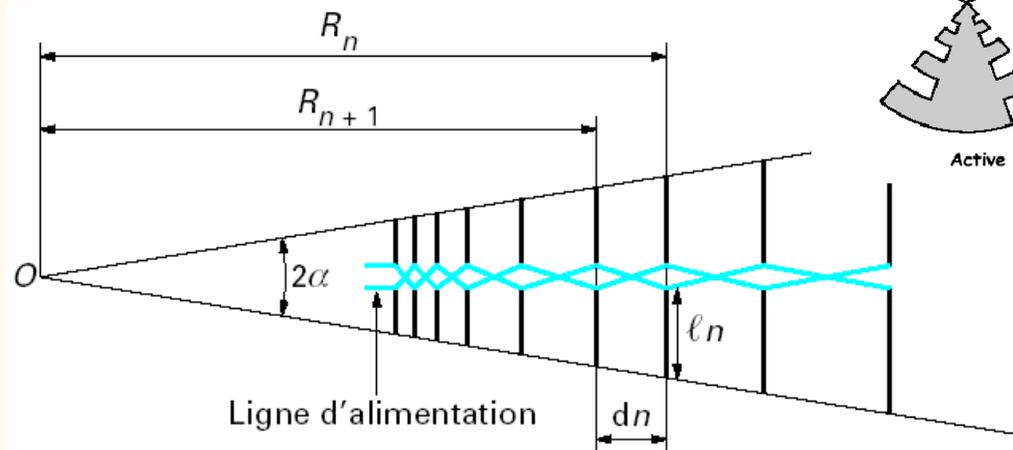
⇒ La géométrie de l'antenne est homothétique de période τ

⇒ $f_{n+1} / f_n = \tau \Rightarrow \log(f_{n+1}) = \log(f_n) + a2\pi \dots$

Ensuite si la structure est auto-complémentaire ...

Antennes indépendantes de la fréquence

✓ Antenne log-périodique:



$$\frac{R_{n+1}}{R_n} = \tau$$

$$\frac{\ell_{n+1}}{\ell_n} = \tau$$

$$0,8 < \tau < 1$$

$1 \leq n \leq N$ indice de dipôle
 2α angle au sommet : $\alpha = \frac{dn}{2\ell_n} = \frac{1}{4} (1 - \tau) \cot \alpha$

dn distance entre les dipôles n et $n + 1$

Bande passante : Γ

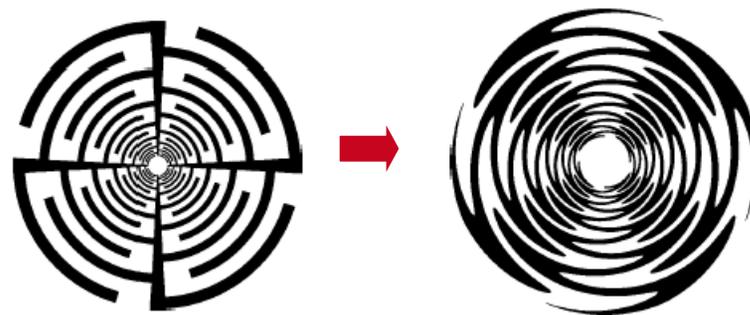
$$\Gamma = \frac{\ell_N}{\ell_1}$$

$$\Gamma = \frac{1}{\tau^{N-1}}$$

Antennes indépendantes de la fréquence

✓ Antenne sinueuse [6]:

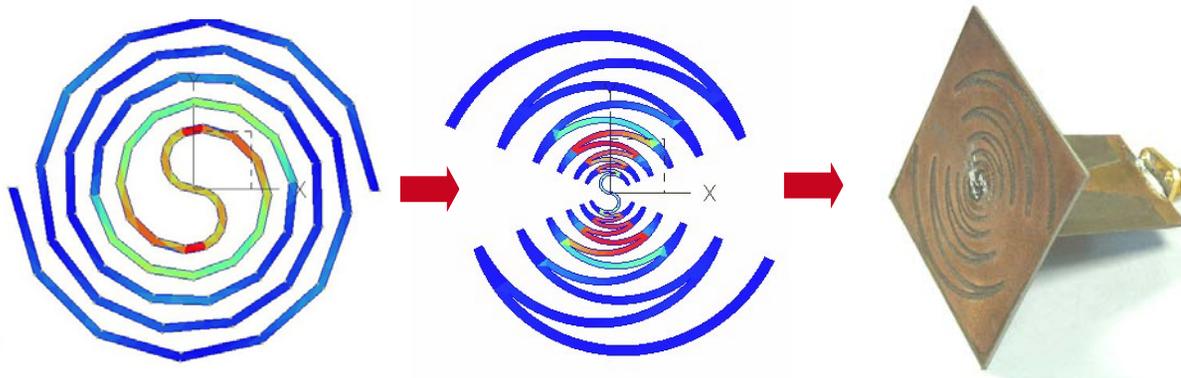
- ⇒ Log-périodique
- ⇒ Auto-complémentaire
- ⇒ Double polarisation



Mais difficulté d'adaptation (188 ohms sur une large bande) [7]

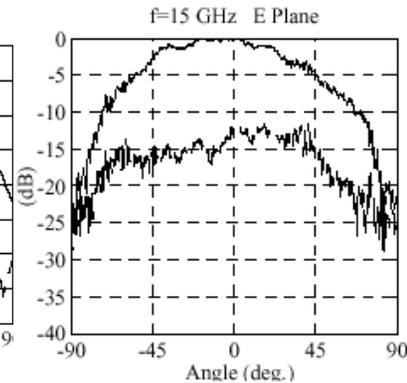
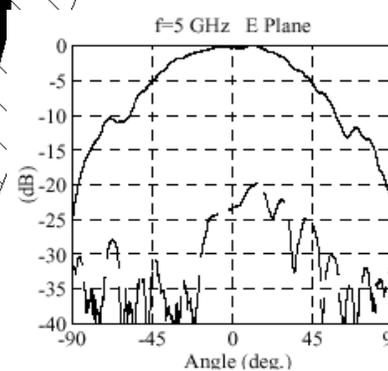
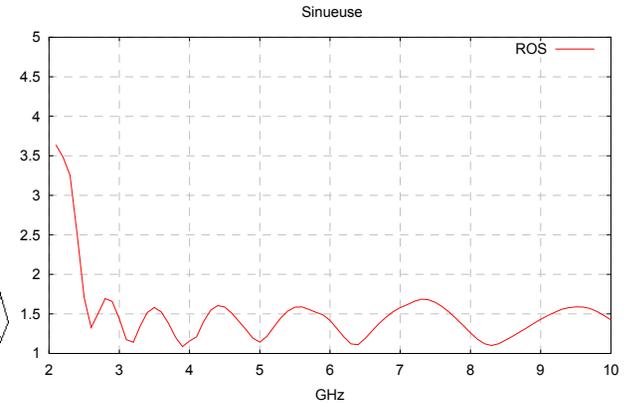
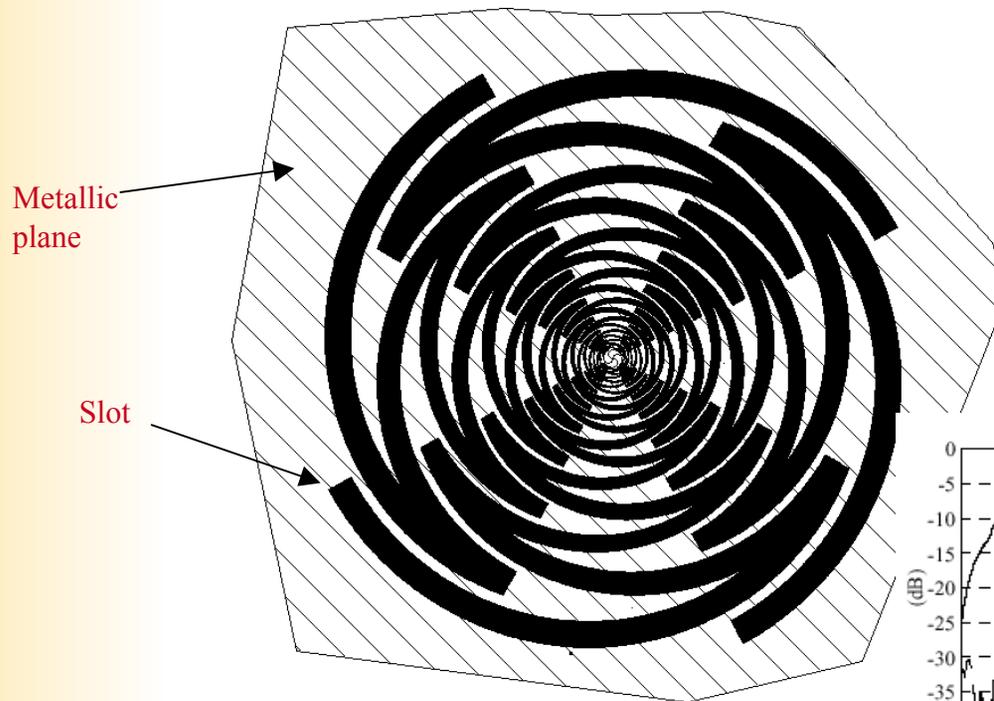
= > utiliser Babinet ! Optimisation de l'antenne pour $Z=350$ Ohms

Puis on complémente (métal => fente) => $Z= 100$ Ohms !



Antennes indépendantes de la fréquence

- Antenne sinueuse à fente :



Plan de la présentation

- ✓ Introduction : cavité & charge
- ✓ Antenne à onde progressive
- ✓ Antenne large bande
- ✓ Antenne indépendante de la fréquence
- ✓ Comparatif & conclusion
- ✓ Références

Comparatif & synthèse [8]

Caractéristiques des antennes :

Type of Element	Dipole	Bicone	TEM Horn	Notch	Ridged Horn	Spiral	LPDA
Upper frequency (GHz)	40.0	60.0	60.0	40.0	60.0	40.0	15.0
Lower frequency (MHz)	1.0	100.0	100.0	100.0	500.0	100.0	50.0
Maximum bandwidth — VSWR	10:1	5:1	12:1	10:1	6:1	40:1	6:1
Maximum bandwidth — pattern	6:1	5:1	12:1	3:1	4:1	40:1	6:1
Maximum gain (dBi)	2.15	15.0	15.0	10.0	18.0	2.0	15.0
Minimum gain (dBi)	1.5	1.5	4.0	4.0	4.0	2.0	6.0
Constant gain?	Yes	No	No	No	No	Yes	Yes
E-field pattern	Cosine	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam
H-field pattern	Omni	Omni	Beam	Beam	Beam	Beam	Beam
Beam varies with frequency?	No	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
Polarization	Linear	Linear	Linear	Linear	Linear	Circular	Linear
Fixed phase center?	Yes	Yes	No	No	No	Yes	No
Dispersive?	No	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Use for TX?	No	Yes	Yes	Possible	Yes	Possible	Yes

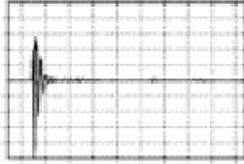
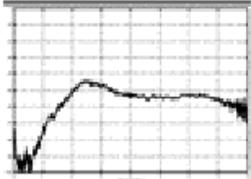
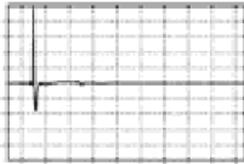
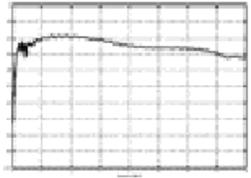
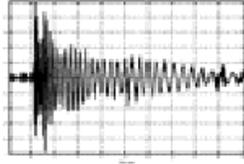
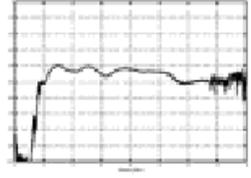
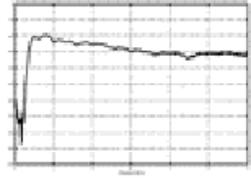
Comparatif & synthèse [8]

Dimensions des antennes :

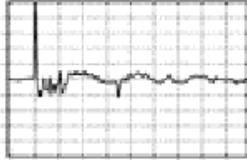
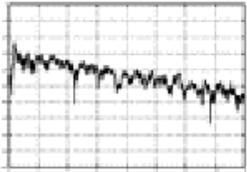
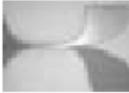
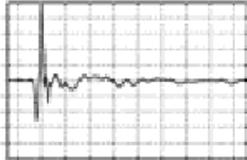
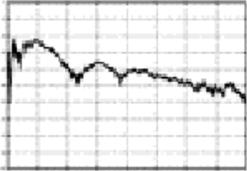
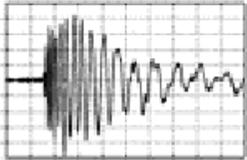
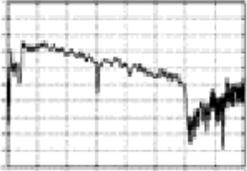
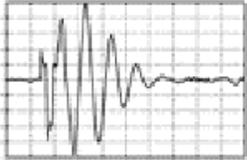
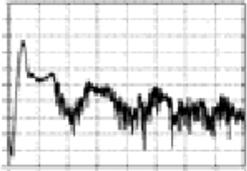
Type of Element	Dipole	Bicone	TEM Horn	Notch	Ridged Horn	Spiral	LPDA
Upper frequency (GHz)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Lower frequency (GHz)	0.8	1.0	0.4	1.7	1.25	0.5	0.8
Bandwidth	6:1	5:1	12:1	3:1	4:1	40:1	6:1
Gain (dBi)	2-6	2-9	2-12	6-12	2-12	2	12
Height (mm)	150	150	100	150	100	50	190
Width (mm)	3	90	100	20	100	200	5
Length (mm)	3	90	200	150	150	200	200

NB: La fréquence haute a été choisie à 5 GHz. La fréquence basse a été choisie au maximum à 0.4 GHz. La bande passante est le min des bandes passantes obtenues pour l'adaptation ou le rayonnement (transparent précédent)

Comparatif [9] (1/2)

Antenna	Geometry	Normalized Impulse Response	Frequency Response (dB)
Monopole (5GHz)			
TEM Horn			
Archimedean Spiral			
Ridged TEM			

Comparatif (2/2)

Antenna	Geometry	Normalized Impulse Response	Frequency Response (dB)
Biconic			
Vivaldi			
LPD (log-periodic)			
Monopole (1 to 1.1 GHz)			

Conclusion

Comment obtenir une antenne large bande ?

- ✓ Favoriser une propagation progressive du courant et contrôler le rendement !
- ✓ Définir l'antenne avec des angles,
- ✓ Utiliser l'Autocomplémentarité et Babinet, la log-périodicité ...

Mais :

- ✓ Maîtriser la taille de l'antenne,
- ✓ Comment alimenter sur une large bande !
- ✓ Contrôler/choisir la polarisation,
- ✓ Connaître la zone active des courants et le centre de phase sur l'antenne ...

Bibliographie

- [1] J. D. Kraus, Antennas for All Applications, 3rd Edition, J.D., McGraw, 2002.
- [2] C. B. Balanis, Antenna Theory, Analysis and Design , second edition, John Wiley and Sons, Inc., 1997.
- [3] W. L. Stutzman & G. A. Thiele, Antenna Theory and Design,, Wiley, 1998.
- [4] V. H. Rumsey, Frequency Independent Antennas, Academic Press, New York, 1966.
- [5] J. A. Kaiser, The Archimedean two-wire spiral antenna, IRE Transactions on Antennas and Propagation, vol. AP-8, May 1960, pp. 312–323.
- [6] R. H. DuHamel and J. P. Scherer, Frequency-independent antennas, Chapter 14 in R. C. Johnson, ed., Antenna Handbook, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1993.
- [7] M. Vahdani,, X. Begaud, "A directive ultra wideband sinuous slot antenna ", Eucap 2006, 6-10 November 2006, Nice, France.
- [8] James Taylor, Ed., Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems, CRC Press, Boca Raton, 1995.
- [9] J. H. Reed, An Introduction to Ultra Wideband Communication Systems, Prentice Hall, 2005. ISBN-10: 0-13-148103-7.

