

Journées scientifiques du CNFRS  
20-21 mars 2007, CNAM, Paris

Métamatériaux main gauche asymétriques,  
en micro-onde et en infrarouge,  
en incidence normale.

**B. KANTE, S. N. BUROKUR, F. GADOT, A. de LUSTRAC, A. AASSIME  
J. M. LOURTIOZ.**

IEF, Université Paris Sud, Bât 220, 91405 ORSAY Cedex, FRANCE



# Objectifs

- ⇒ Conception, réalisation et caractérisation de métamatériaux nanométriques.
- ⇒ Structures avec  $\mu$  et  $\varepsilon$  simultanément  $< 0$  dans le moyen ou lointain IR.

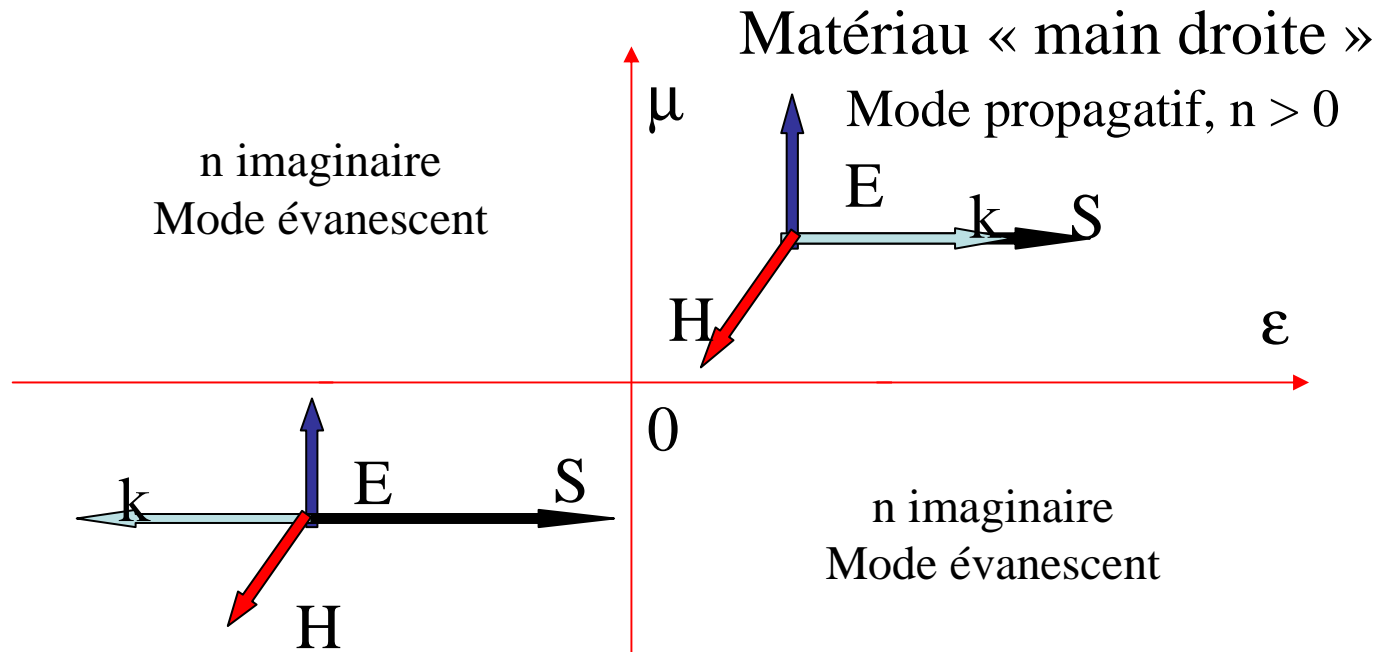


# Plan

- Historique sur les métamatériaux
- Présentation de nos échantillons: technologie, dimensions et mesures
- Unification de deux approches dans la conception des LHMs
- Métamatériau main gauche asymétrique en micro-ondes et infrarouge
- Conclusion et perspectives



# Les 4 états électromagnétiques de la matière.

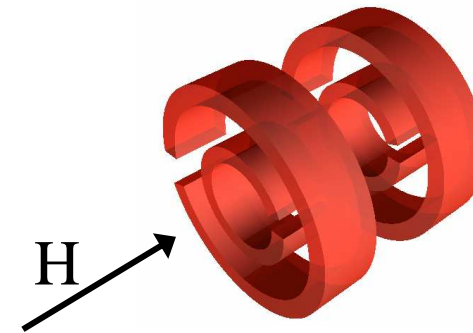
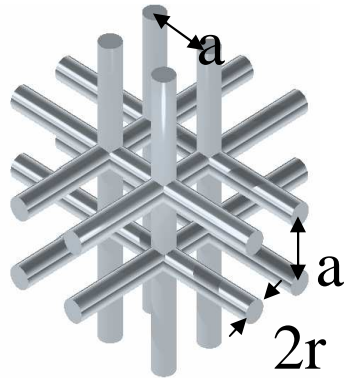


V.G. Veselago, Soviet Physics Uspekhi 10 (1968)



# Matériau avec $\epsilon < 0$ ou $\mu < 0$

(par J.B. Pendry, Imperial College)



•Un réseau de fils fins métalliques est un matériau avec une permittivité négative (pour  $\omega < \omega_p$ ) où  $\omega_p$  est la fréquence plasma.

•Un réseau métallique d'anneaux coupés (split ring resonators ou encore SRR) a une perméabilité négative dans une certaine gamme de fréquences.

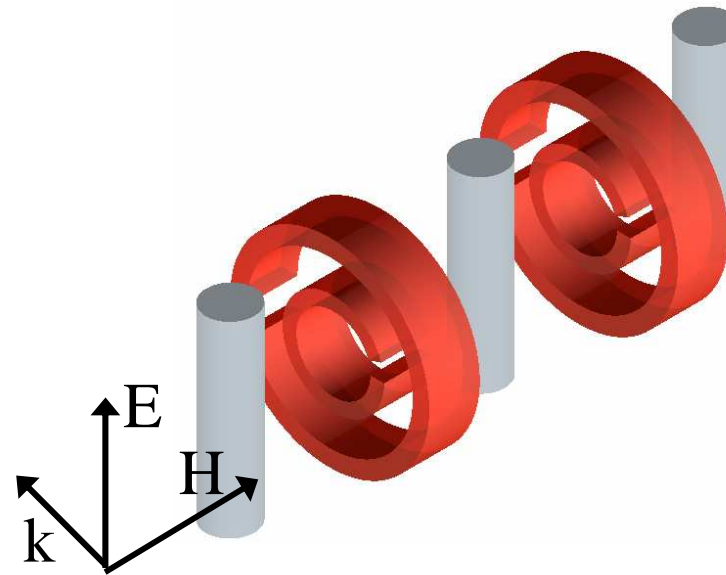
J.B. Pendry, PRL 76, pp.4773-4776 (1996)

J.B. Pendry, IEEE MTT 47, pp.2075-2084 (1999)



# Matériau « main gauche »

Association des 2 précédentes structures métalliques



$$n^2 = \epsilon\mu$$

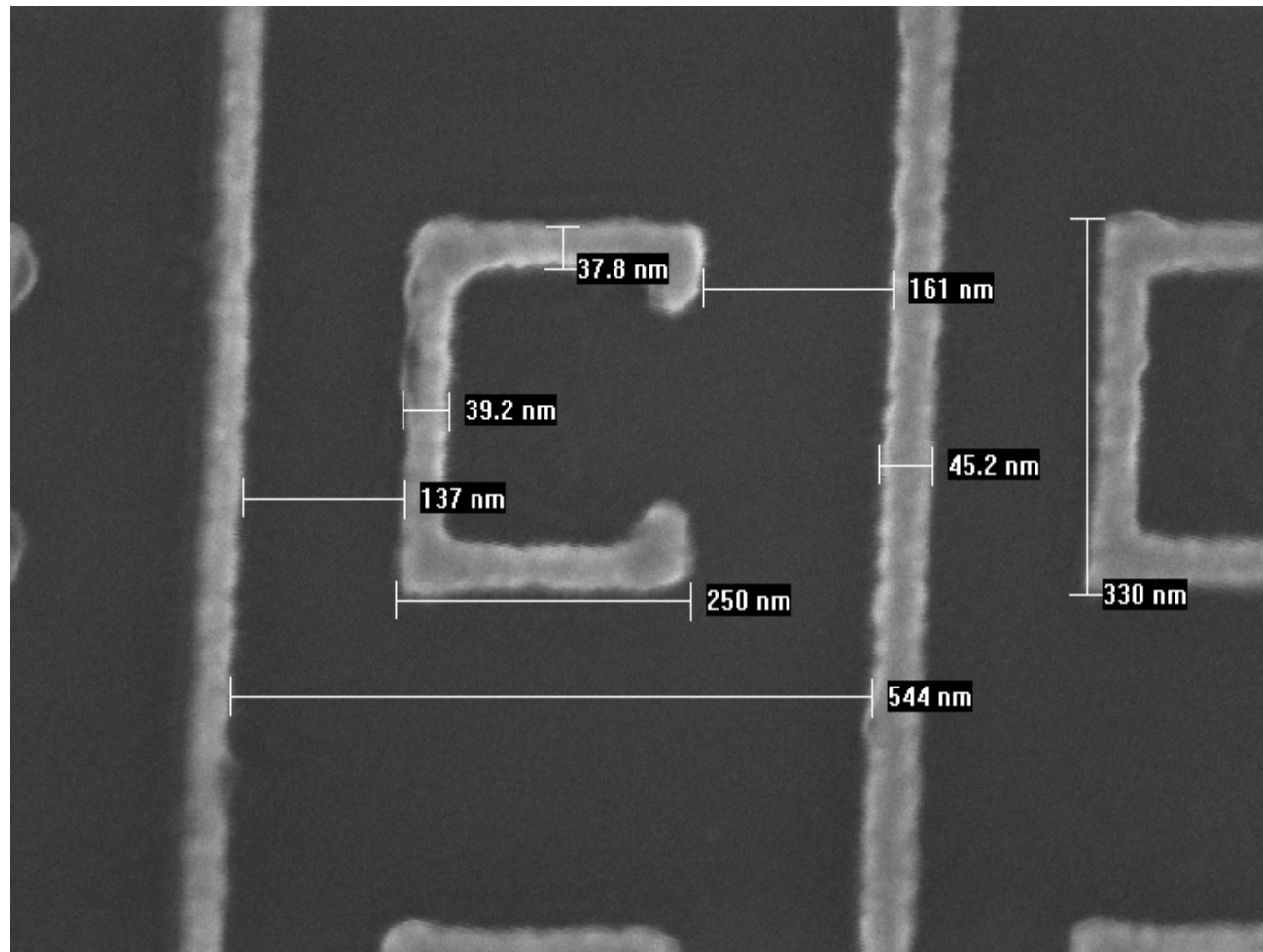
$$n < 0$$

$$\text{si } \epsilon < 0 \text{ et } \mu < 0$$

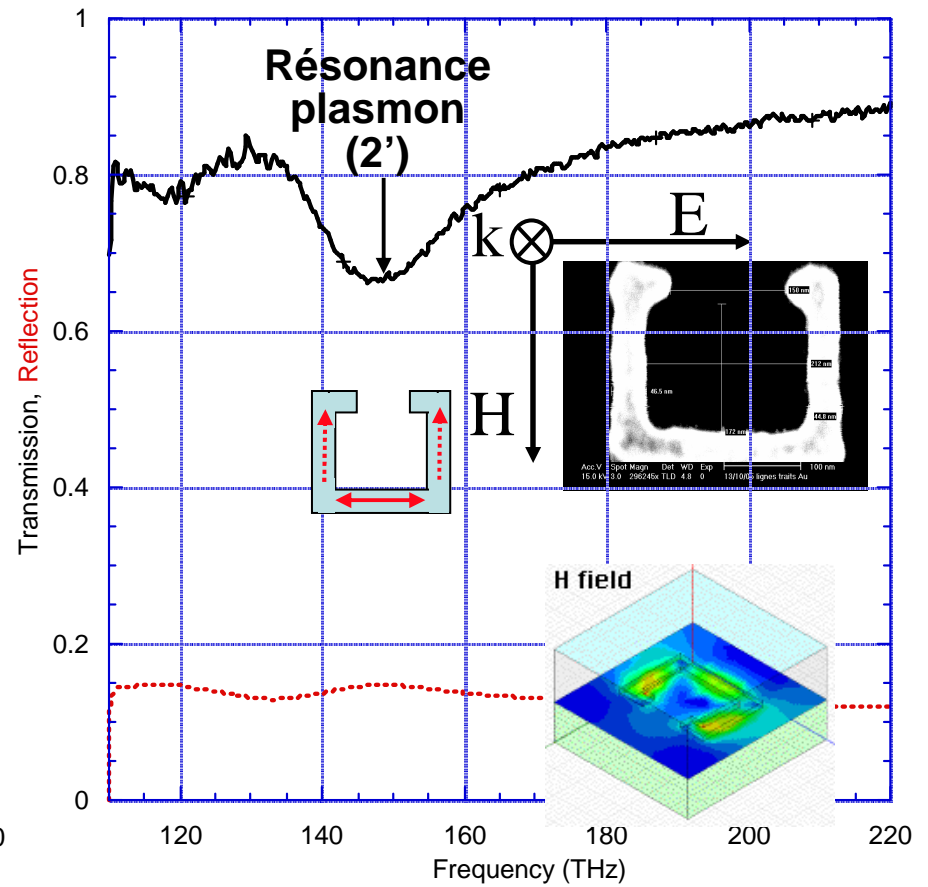
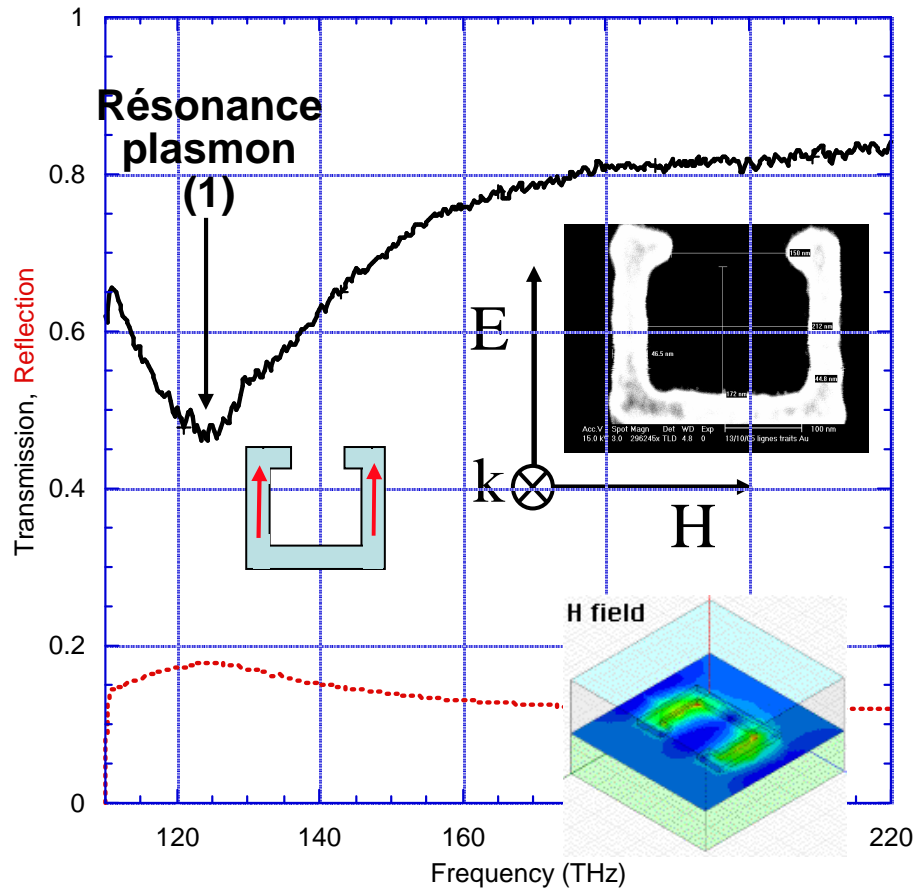
Composite Medium with Simultaneously Negative Permeability and Permittivity  
D. R. Smith *et al.*, PRL 84, pp. 4184-4187 (2000)



# Fils et Anneaux coupés réalisés à l'IEF: Or sur silicium.

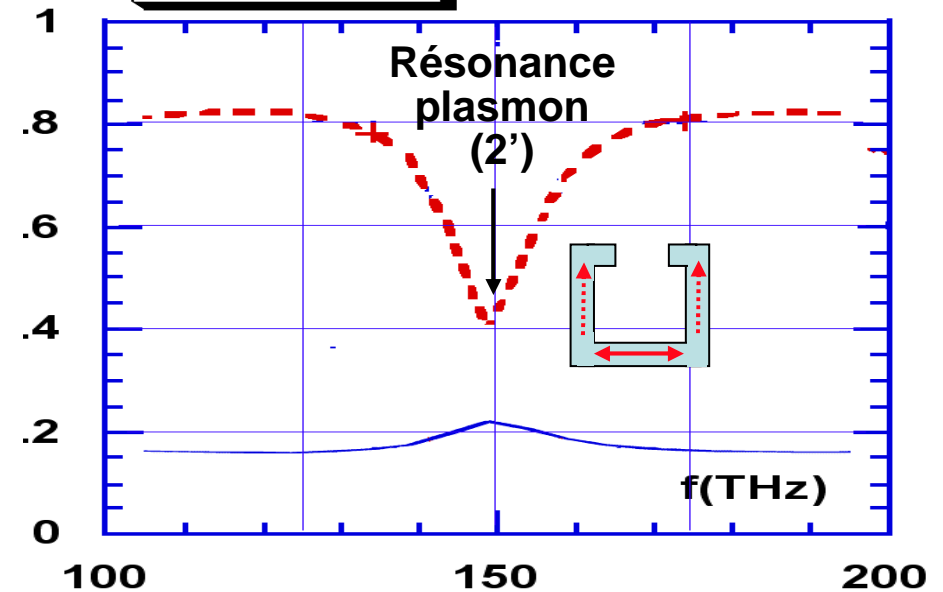
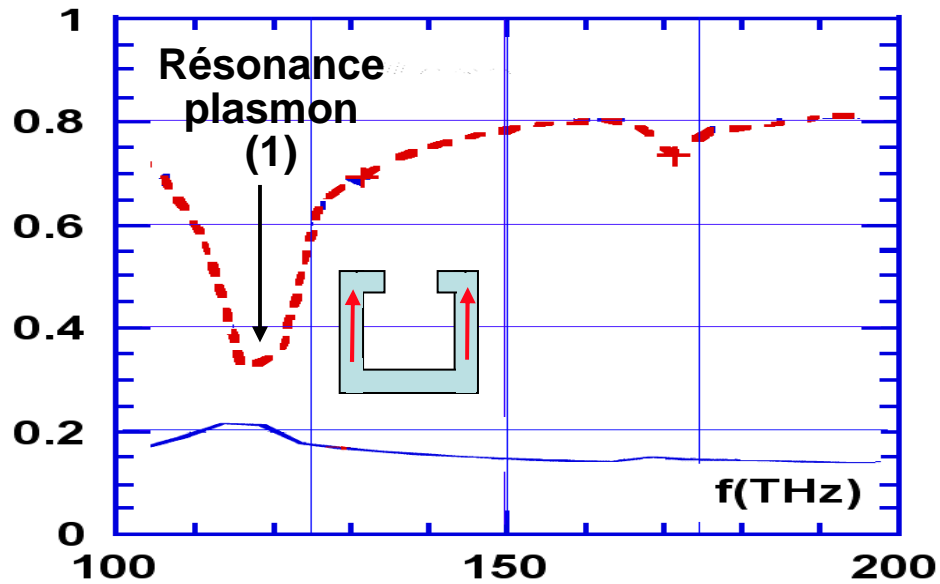
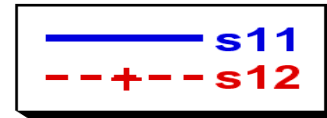
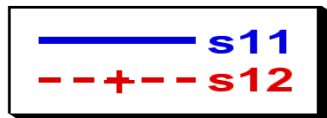
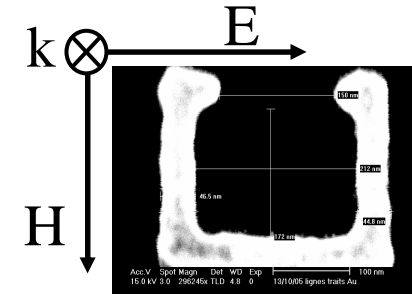
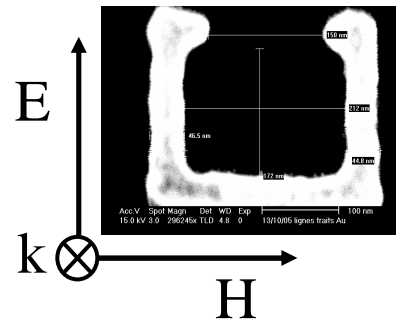


# Transmission et réflexion mesurées des SRRs sur substrat Silicium pour les 2 polarisations

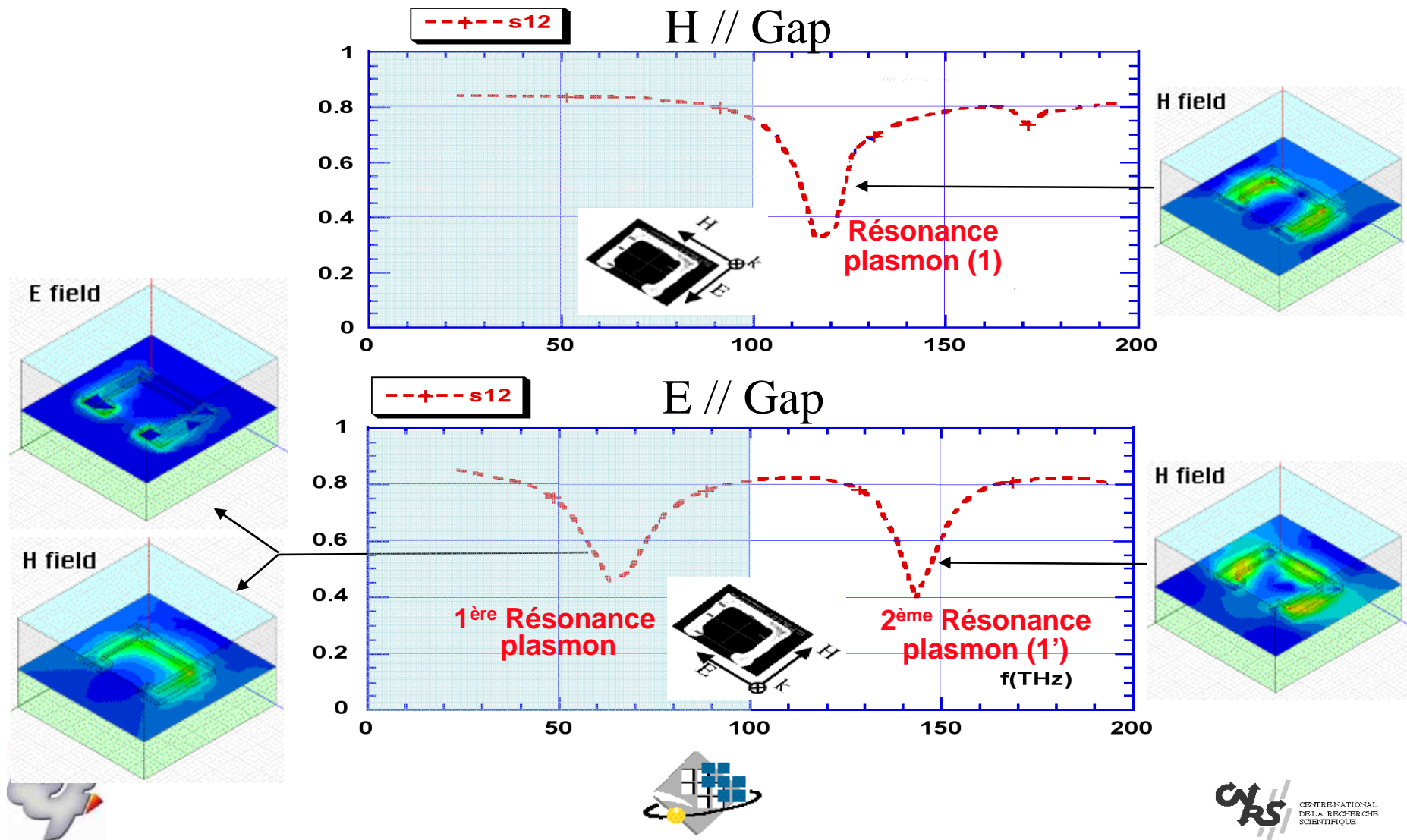




# Transmission et réflexion calculées des SRRs sur substrat Silicium pour les 2 polarisations



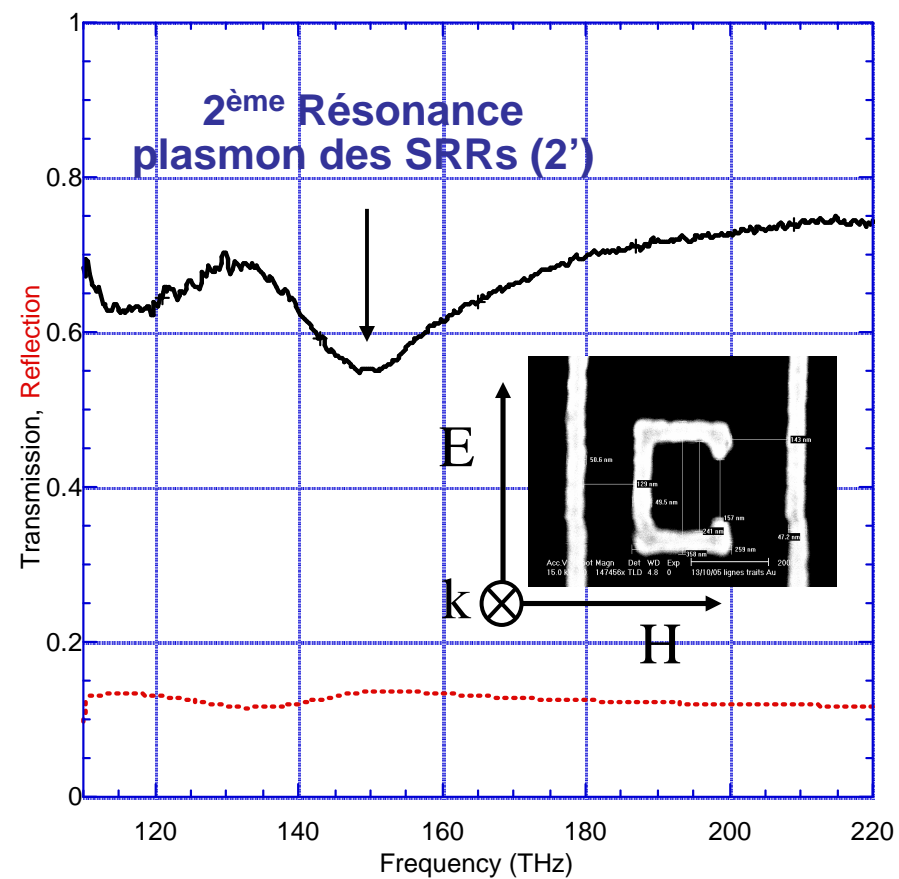
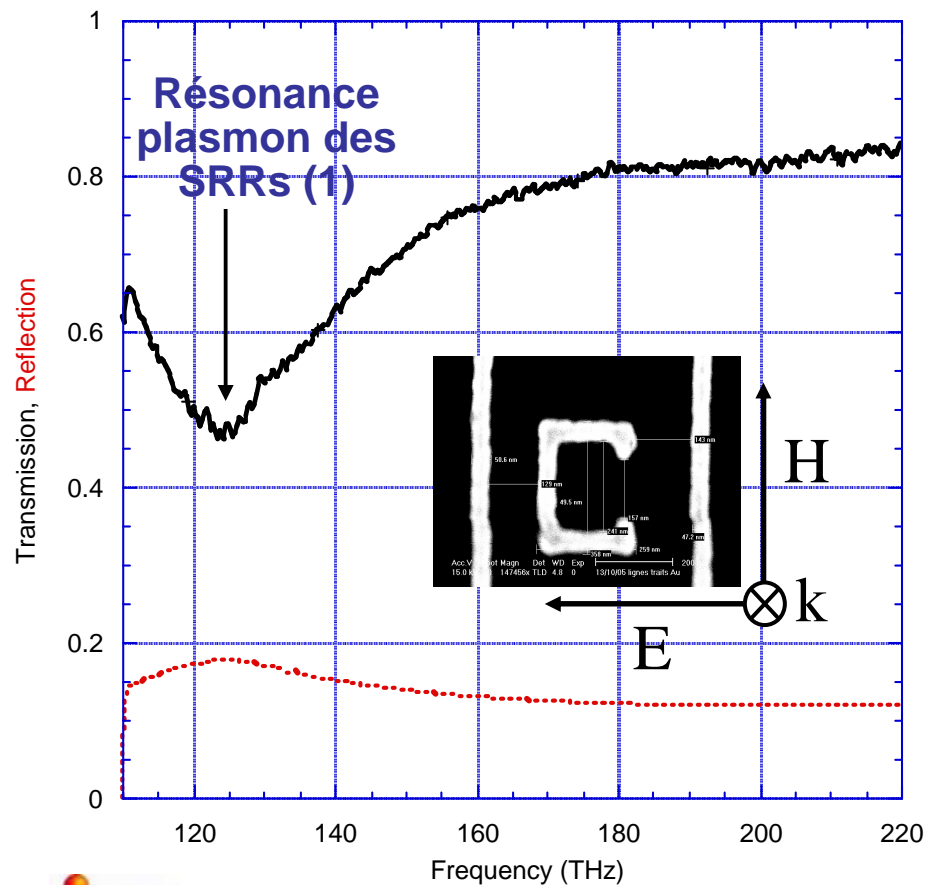
# Spectres de transmission et de réflexion calculés des SRRs sur une plus grande bande fréquentielle



# Transmission et réflexion mesurées des anneaux coupés et fils

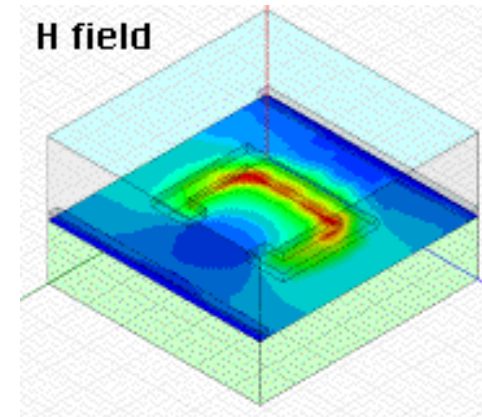
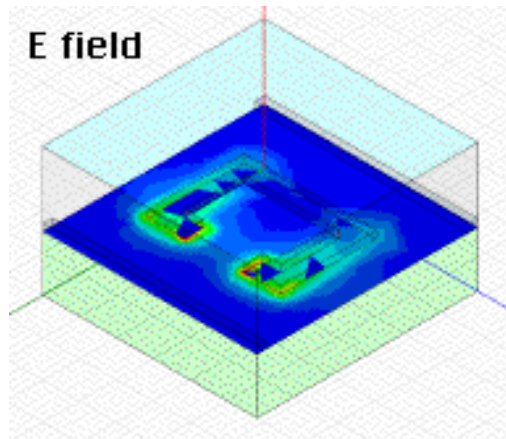
H // Gap

E // Gap

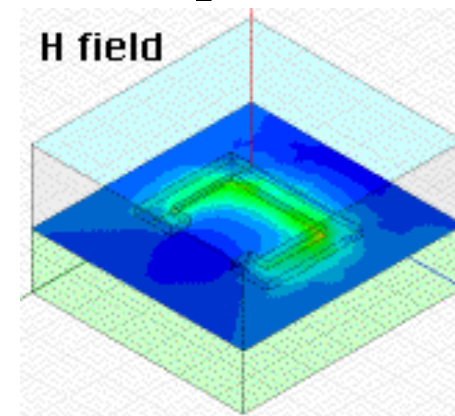
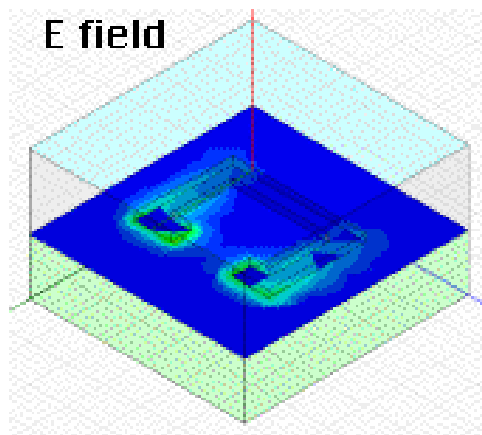


# Renforcement des intensités des champs en présence du réseau de fils

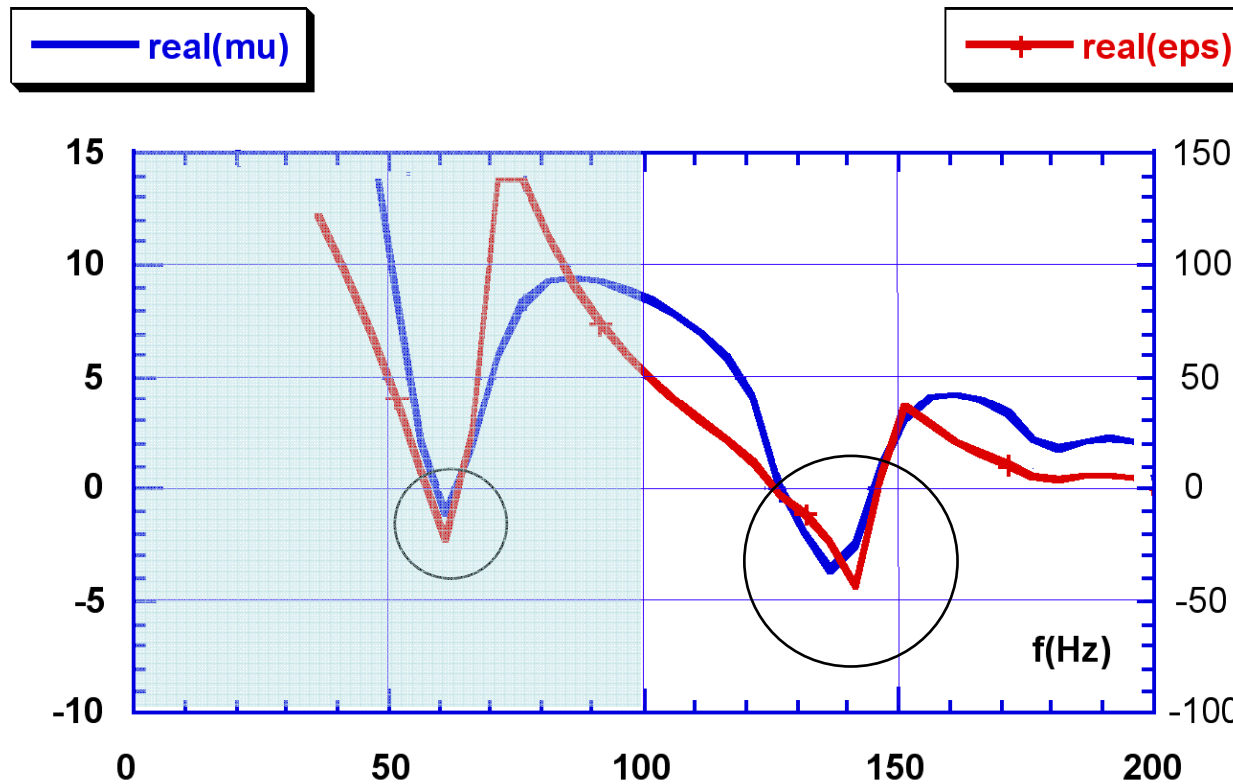
Résonance magnétique ( $f \approx 60\text{THz}$ ) : E // Gap - SRRs + **Fils**



Résonance magnétique ( $f \approx 60\text{THz}$ ) : E // Gap - SRRs **seuls**



# Perméabilité et permittivité calculées pour la structure entière.



2 résonances où les parties réelles de  $\epsilon$  et  $\mu$  sont simultanément négatives.



## Unification de deux approches dans la conception des matériaux main gauche

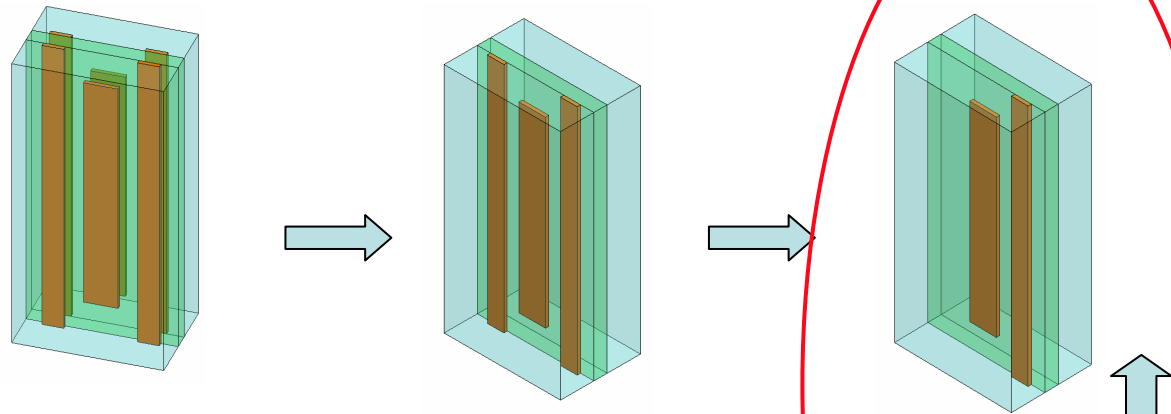
- Approche de W. Shalaev: Matériau bicouche en IR symétrique.
- Approche reprise par J. Zhou et E. Ozbay en micro-ondes.
- Notre approche: structure monocouche asymétrique.
- Résonateurs + lignes continues en incidence normale.



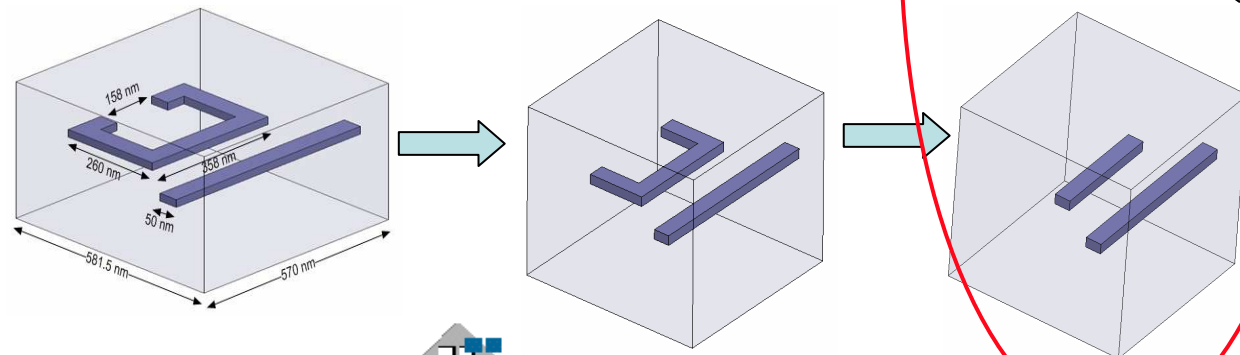
# Métamatériau asymétrique en micro-onde et en infrarouge

- Évolution des deux approches précédentes vers une structure monocouche asymétrique.

En micro-ondes



En infrarouge



# Métamatériau asymétrique en micro-onde et en infrarouge

Démonstration du caractère main gauche:

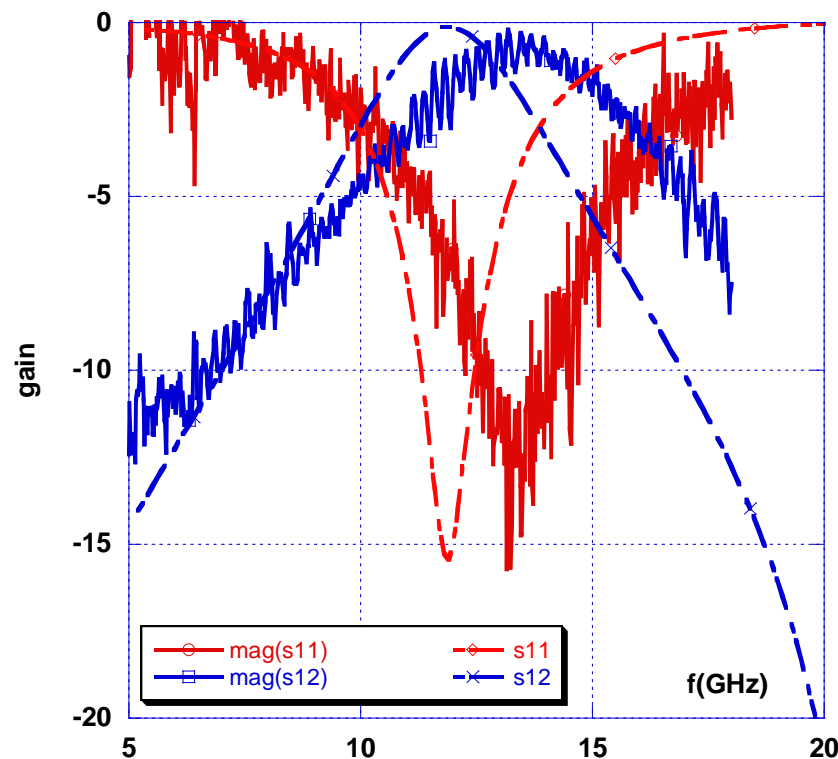
- Homogénéisation et extraction de paramètres effectifs à partir des coefficients de transmission et de réflexion complexes (approche de D.R Smith *et al.*)
- Evolution de la phase avec le nombre de couches de matériaux dans la direction de propagation. (approche d' Ozbay *et al.*)



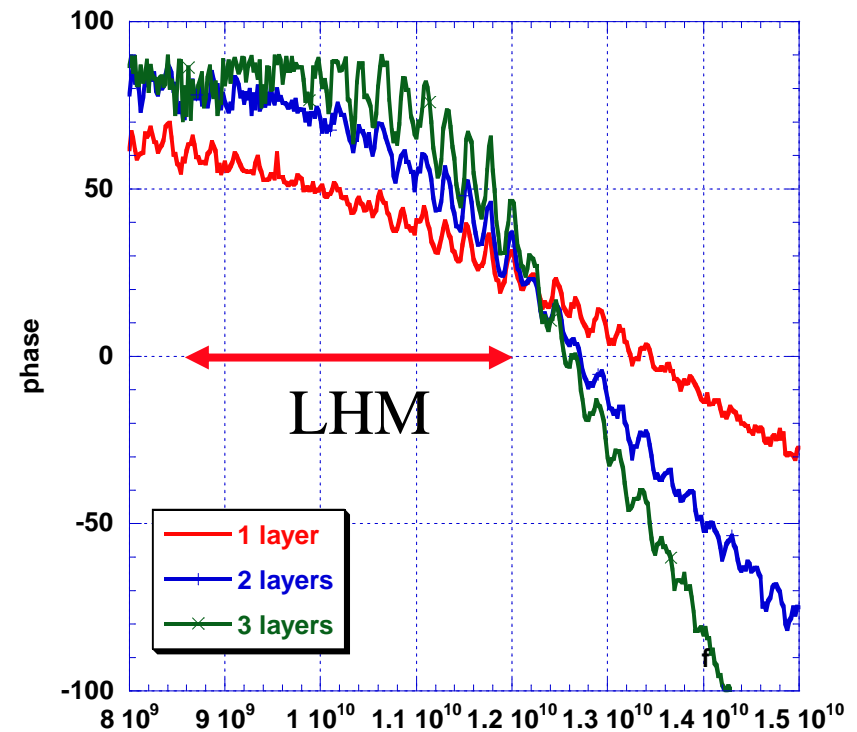


# Métamatériau asymétrique en micro-onde. Comparaison mesure - simulation.

Comparaison mesure-simulation.



Evolution de la phase.



# Conclusions et perspectives

## Conclusions:

- Matériau « main gauche » asymétrique associant un réseau de fils et d'anneaux coupés en or sur silicium.
- Résonances à 60 et 150THz.
- Métamatériau main gauche asymétrique en incidence normale fonctionnant en micro-onde.

## Perspectives:

- Métamatériau main gauche asymétrique sans anneau coupés en IR et dans le domaine visible (en cours).

