

# Schémas temporels à régions multiples

IETR, UMR CNRS 6164, Rennes

Raphaël GILLARD

Alexandre Laisné, Guillaume Carat, Renaud Loison

- Simulation de structures rayonnantes (imprimées), complexes ou grandes
- Utilisation de la méthode des différences finies dans le domaine temps (FDTD)
- Recherche d'algorithmes rapides basés sur l'analyse multirésolution

- 1- Rappels sur l'analyse multirésolution
- 2- La MRTD (MultiResolution Time Domain)
- 3- La FDTD à Régions Multiples (MR-FDTD)
- 4- Combinaison des deux approches :  
rebouclage interne
- 5- Conclusion

Compléter la «description grossière» d'une fonction par des détails de plus en plus fins

description  
« grossière »  
fonctions  
d'échelle

$$f(x) = \sum_n c_n \phi_{m_0 n}(x) + \sum_{m=m_0}^{m_{\max}} \sum_n d_{mn} \psi_{mn}(x)$$

raffinements  
successifs  
fonctions  
ondelettes

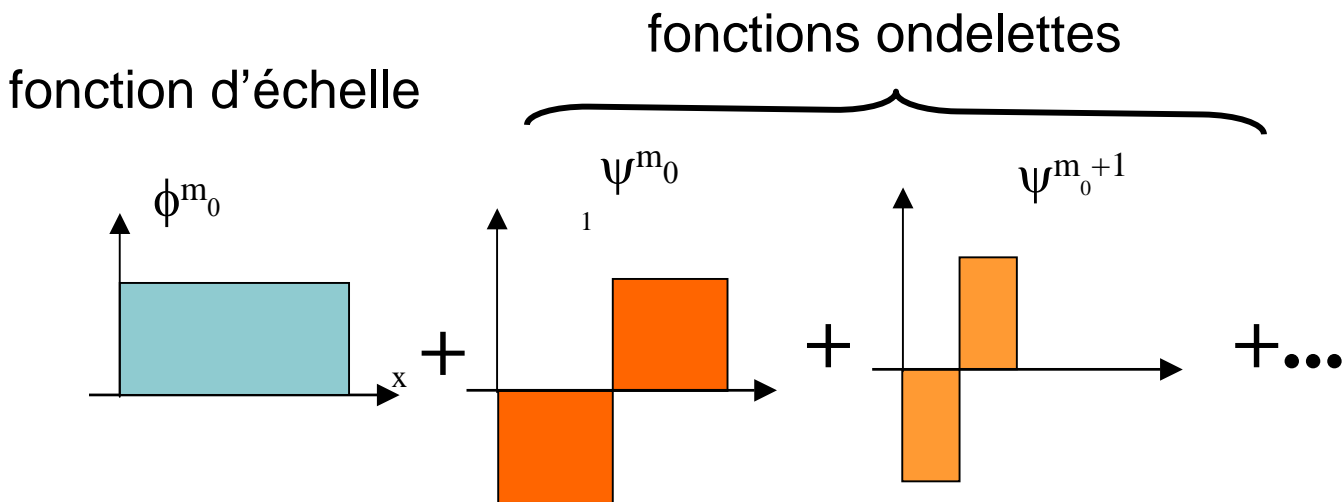
équation de raffinement

$$V_{m+1} = V_m \oplus W_m$$

$$V_{m_0} \oplus W_{m_0} + W_{m_0+1} + \dots + W_{m_{\max}} = V_{m_{\max}+1}$$

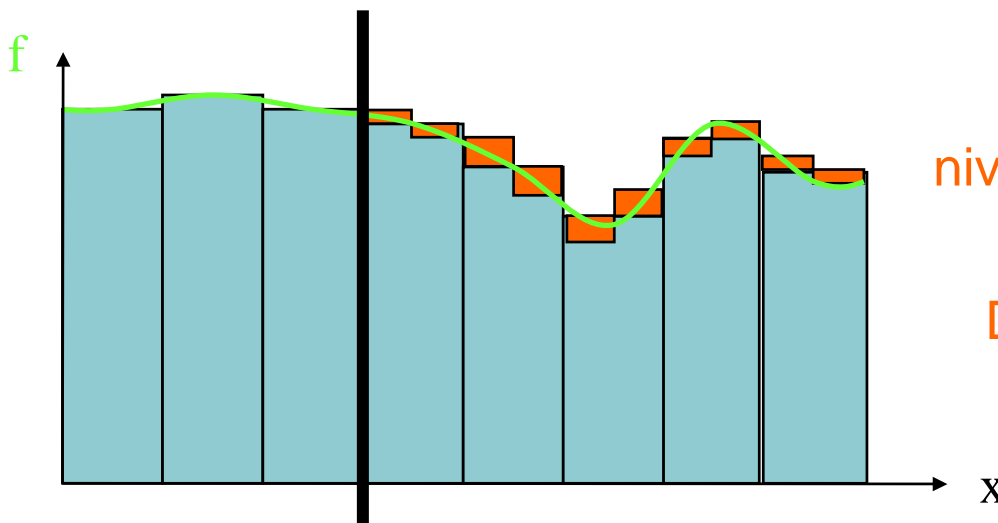
espace de  
résolution grossière

espace équivalent de  
résolution fine



Sans les ondelettes:

Description au niveau  $m_0$



Avec un niveau d'ondelettes

Description au niveau  $m_0+1$

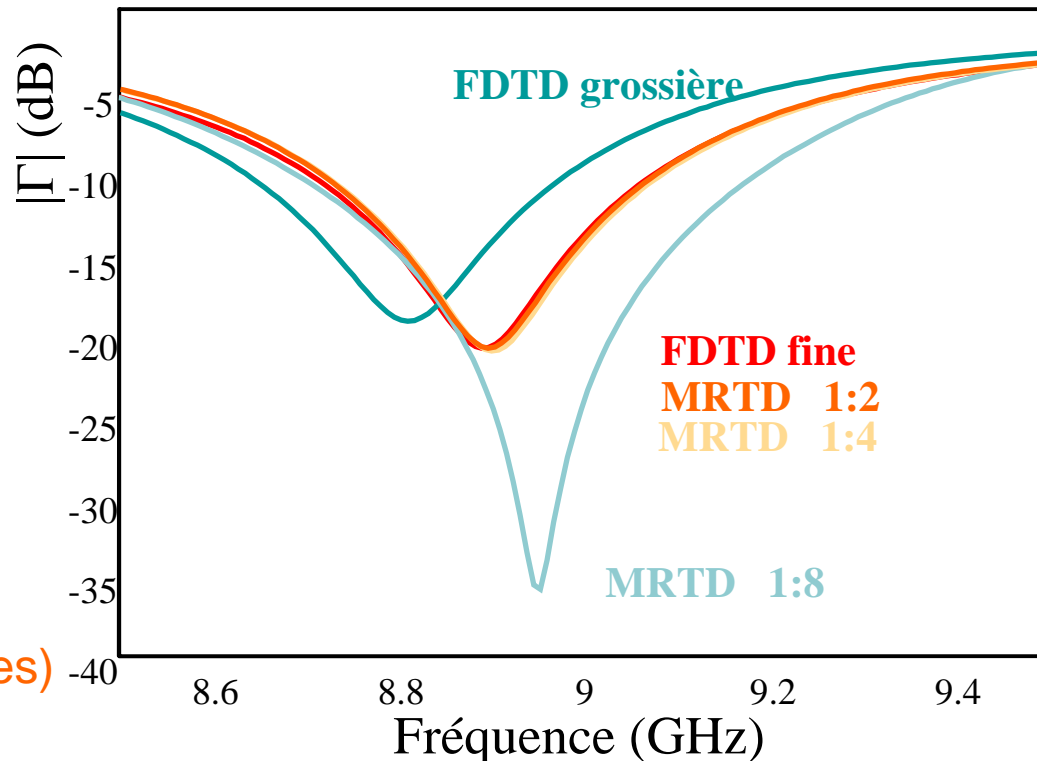
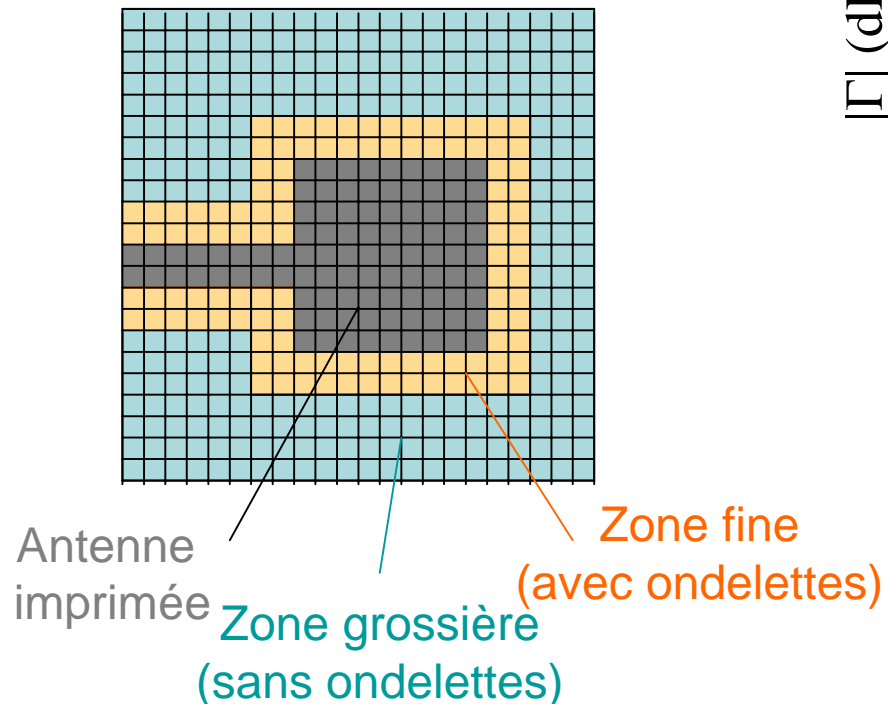
## Faire varier le niveau de résolution :

- en fonction de la zone de l'espace considérée
- en fonction des phénomènes physiques mis en œuvre

Transformée en ondelettes discrète (DWT) sur les composantes de champ  
 + seuillage **en fonction de la zone considérée**



Génère automatiquement des zones de sous-maillage

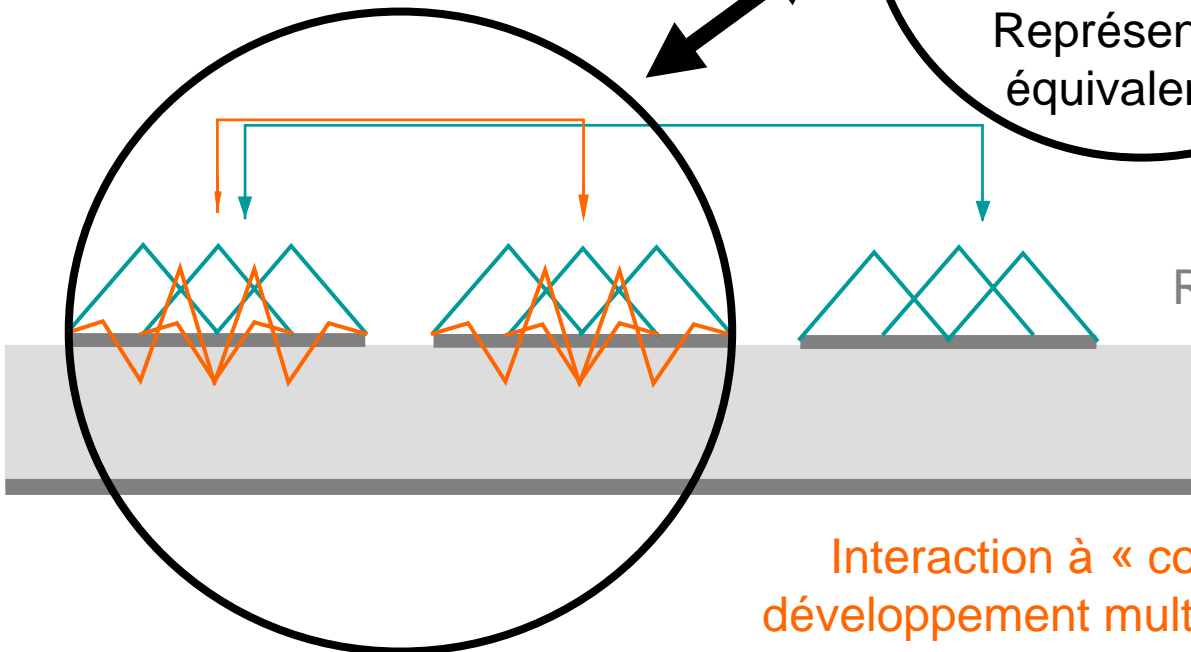
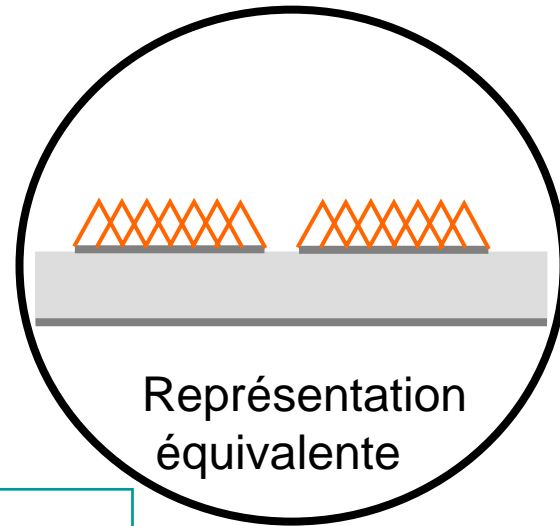




# La méthode MR-MoM (Multiresolution Method of Moment)

Transformée en ondelettes discrète (DWT) sur les courants + seuillage **en fonction du phénomène considéré**

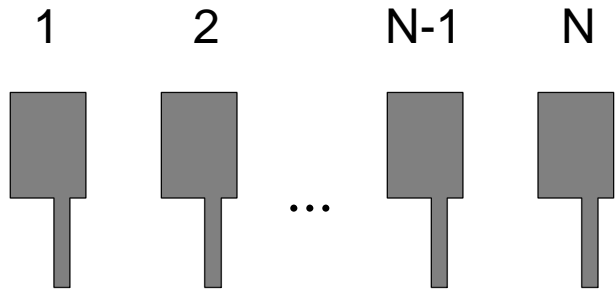
Interaction à « grande distance » :  
développement multirésolution tronqué aux  
seules fonctions d'échelle



Réseau d'antennes  
imprimées

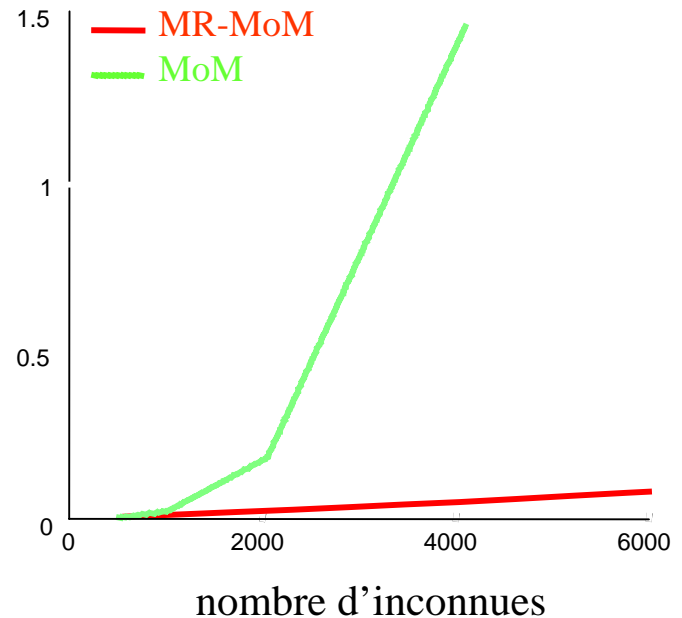
Interaction à « courte distance » :  
développement multirésolution complet





Réseau linéaire de  $N$  « patches »

temps (h)



Intérêt :

La finesse de représentation est réglée en fonction du phénomène physique considéré et non pas en fonction d'un découpage plus ou moins arbitraire de l'espace

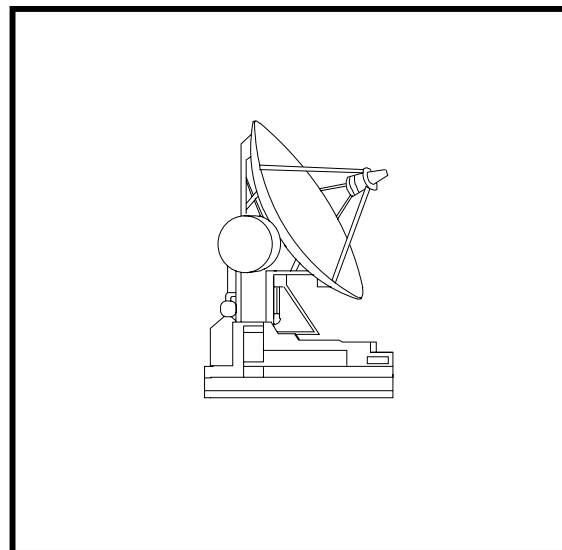
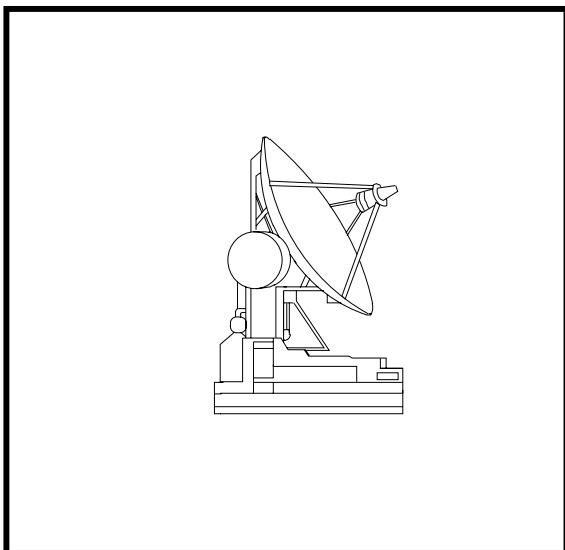


Application de cette stratégie à la FDTD

## Analyse du couplage entre deux antennes

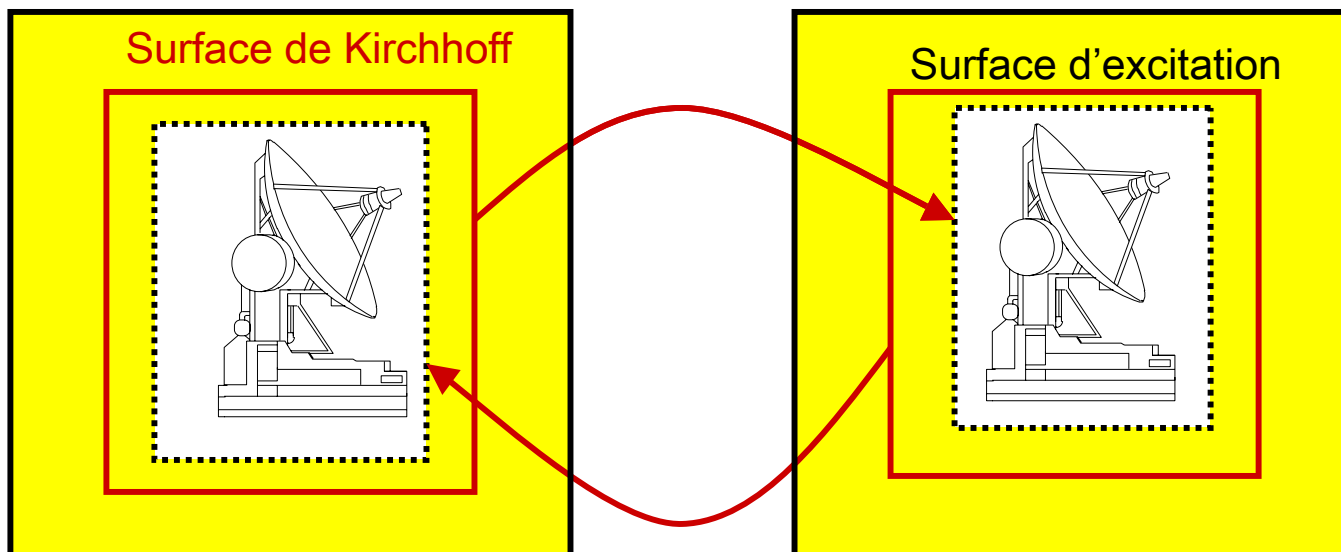


**FDTD** : un volume de calcul UNIQUE mais GRAND



**MR-FDTD** : PLUSIEURS volumes de calcul PETITS

## INTEGRALES de KIRCHHOFF Pour les INTERACTIONS entre VOLUMES



**MR-FDTD** : PLUSIEURS volumes de calcul PETITS

## Avantages

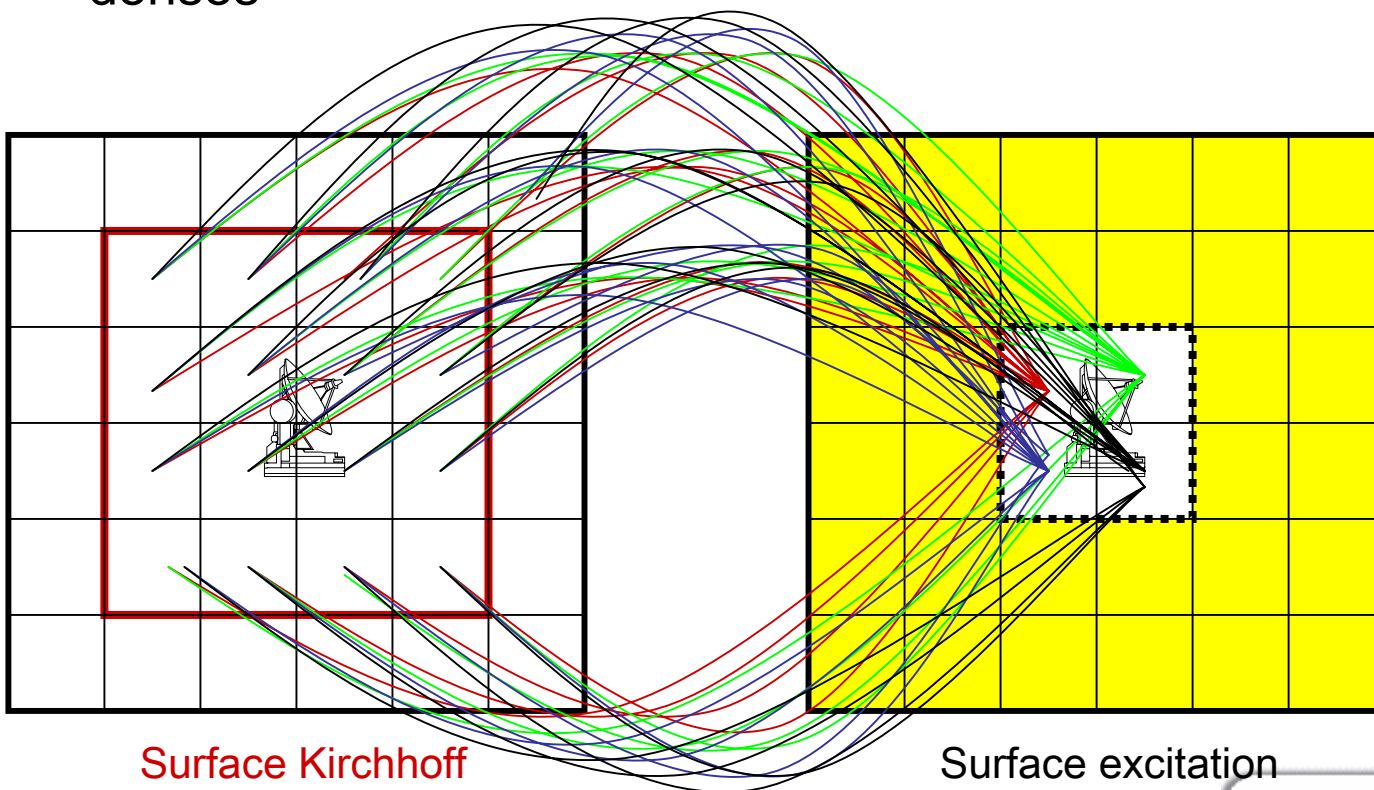
- Volume de Calcul REDUIT
- Paramètres de maillage INDEPENDANTS d'un volume à l'autre

## Avantages

- Volume de Calcul REDUIT
- Paramètres de maillage INDEPENDANTS d'un volume à l'autre

## Inconvénient

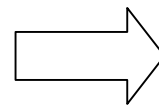
- COUT du calcul des intégrales de Kirchhoff pour les maillages denses





## Principe

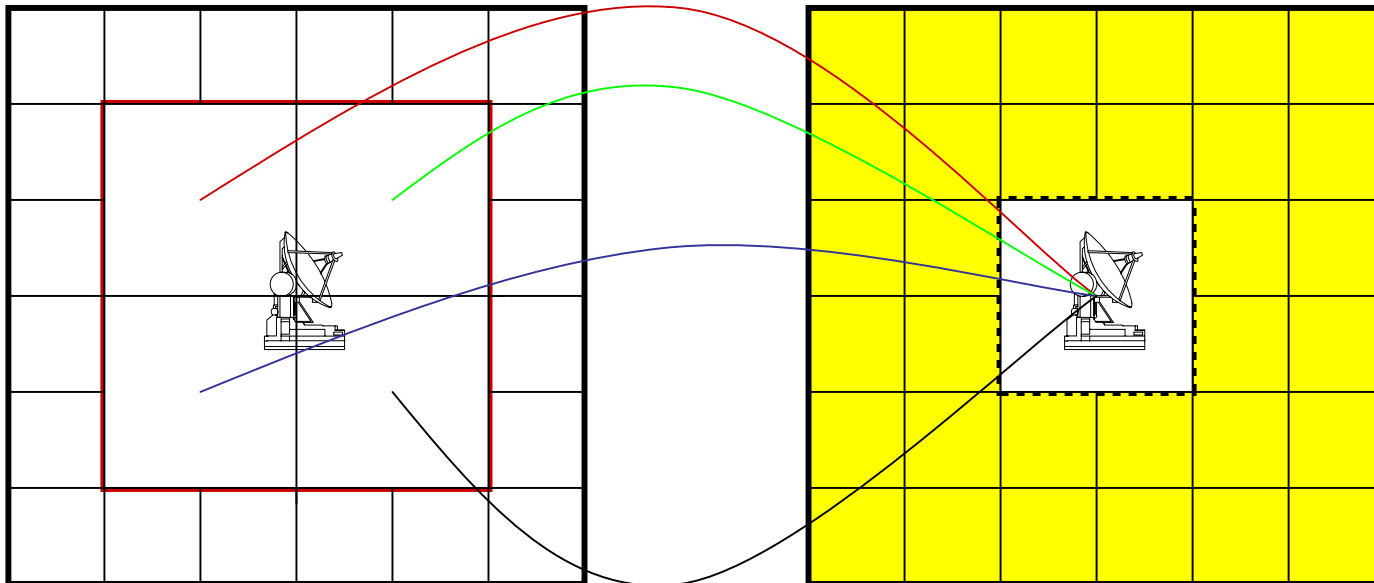
- Transformée en ondelettes sur surface de Kirchhoff
- Interpolation sur la surface d'excitation



Maillage plus LACHE sur les surfaces



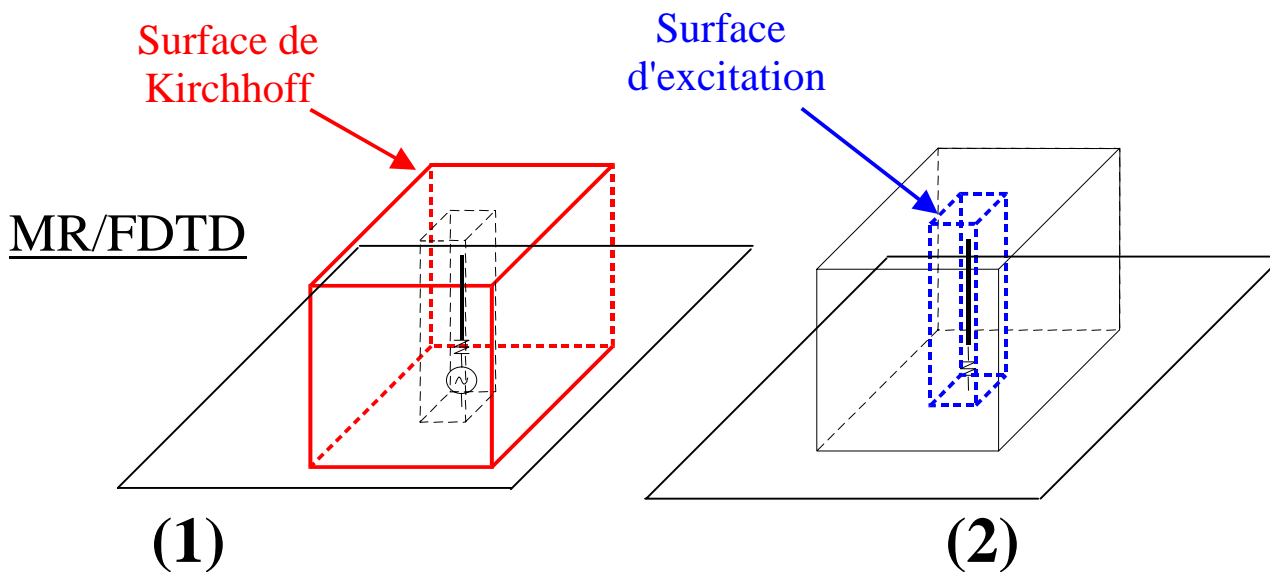
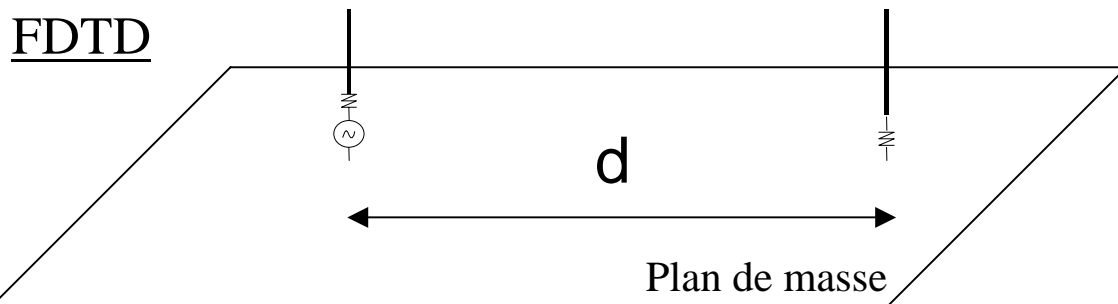
MOINS d'interactions à calculer



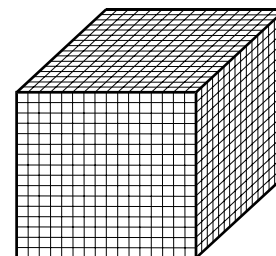
Surface Kirchhoff

Surface excitation

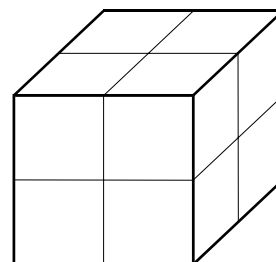
Calcul du couplage entre 2 monopôles éloignés d'une distance  $d$



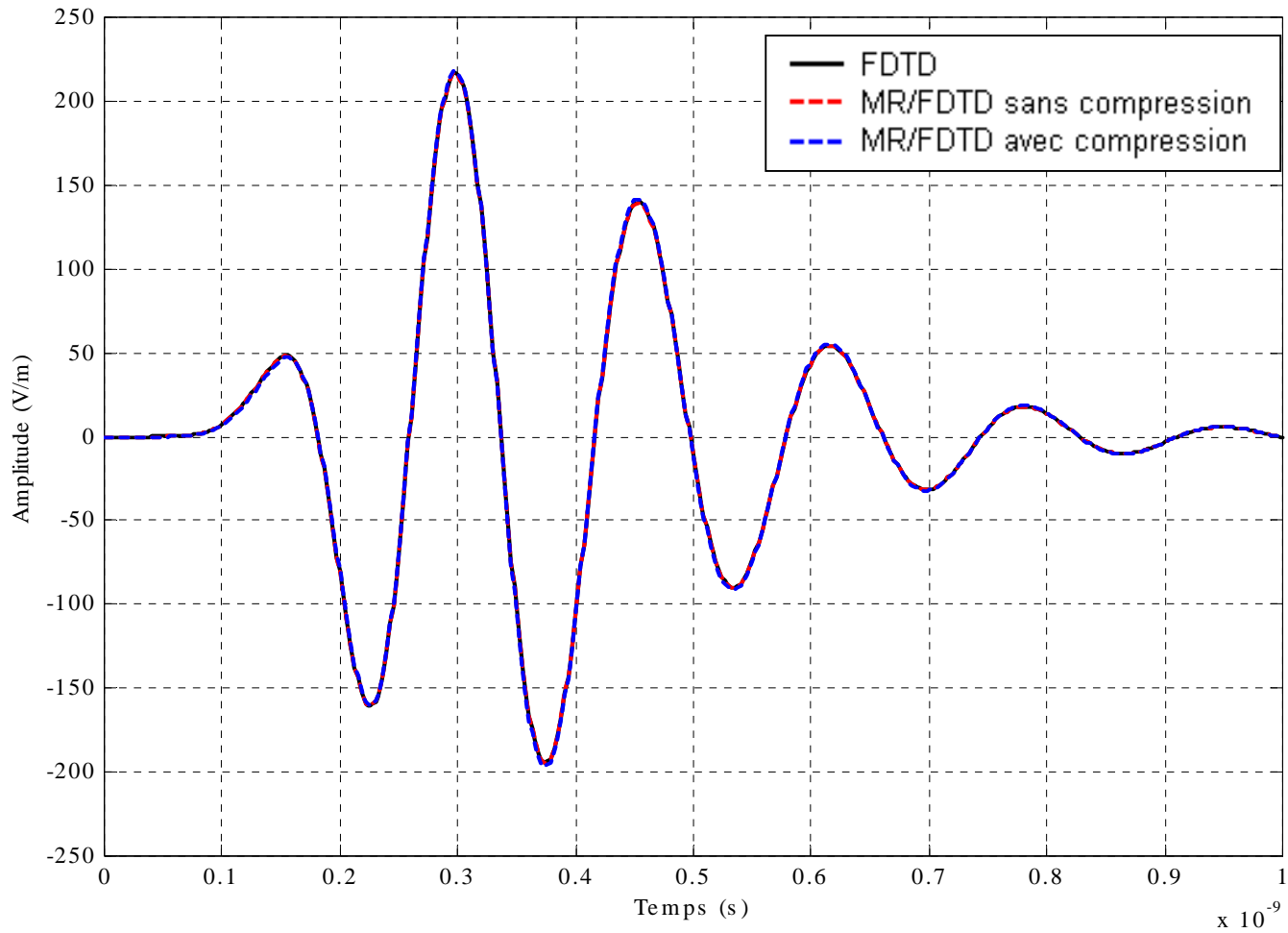
**Sans compression**  
**1280 cellules**

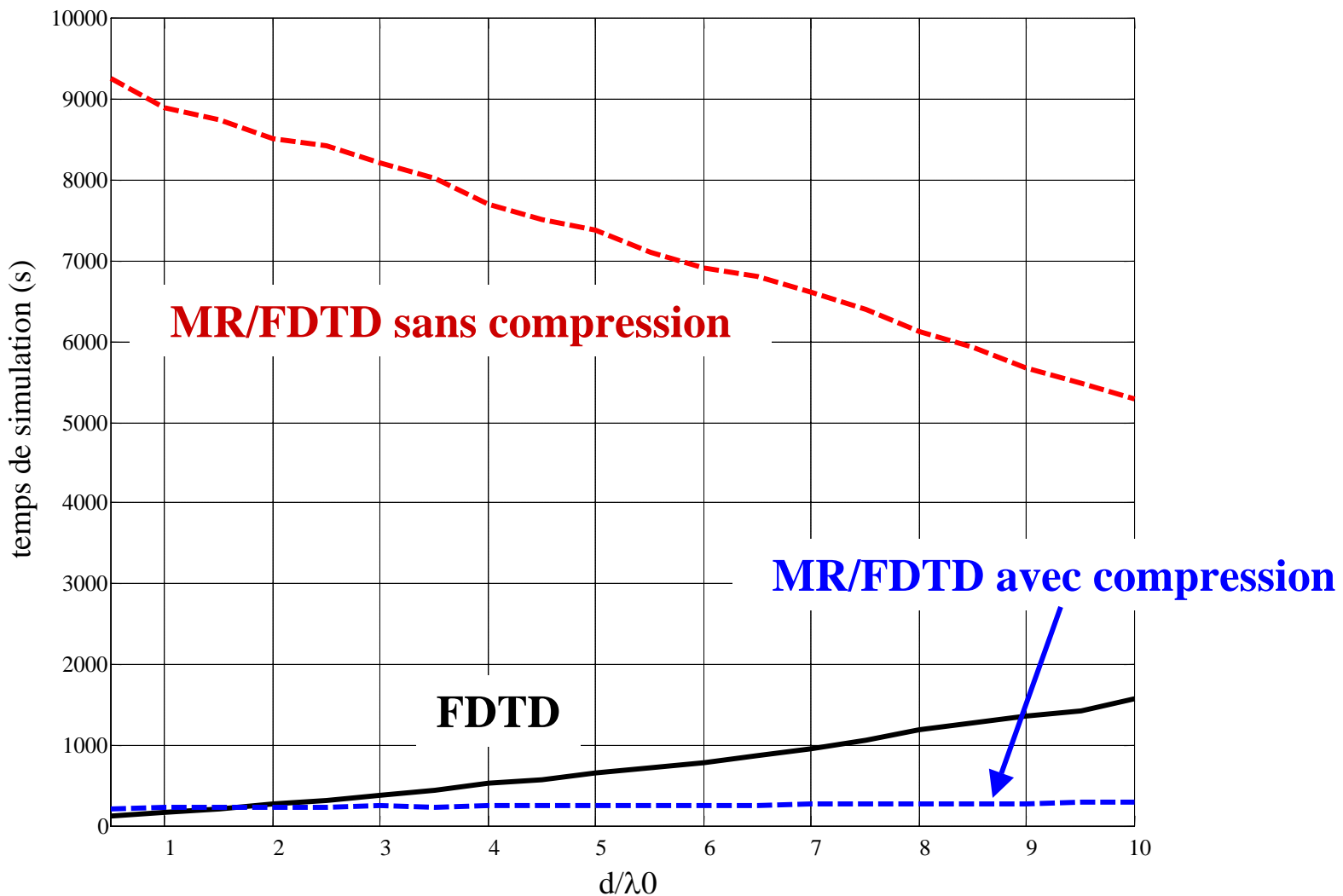


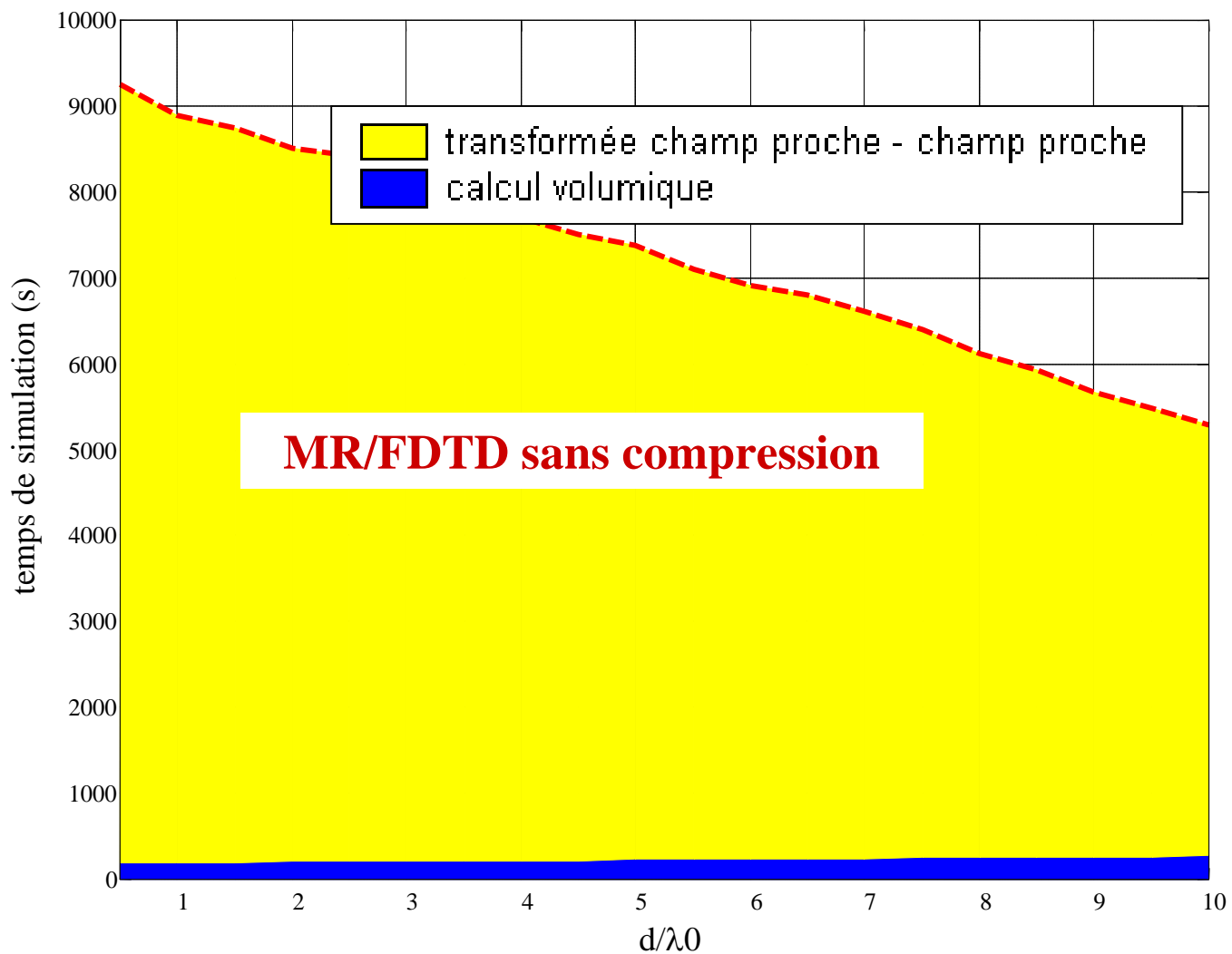
**Avec compression**  
**20 cellules**



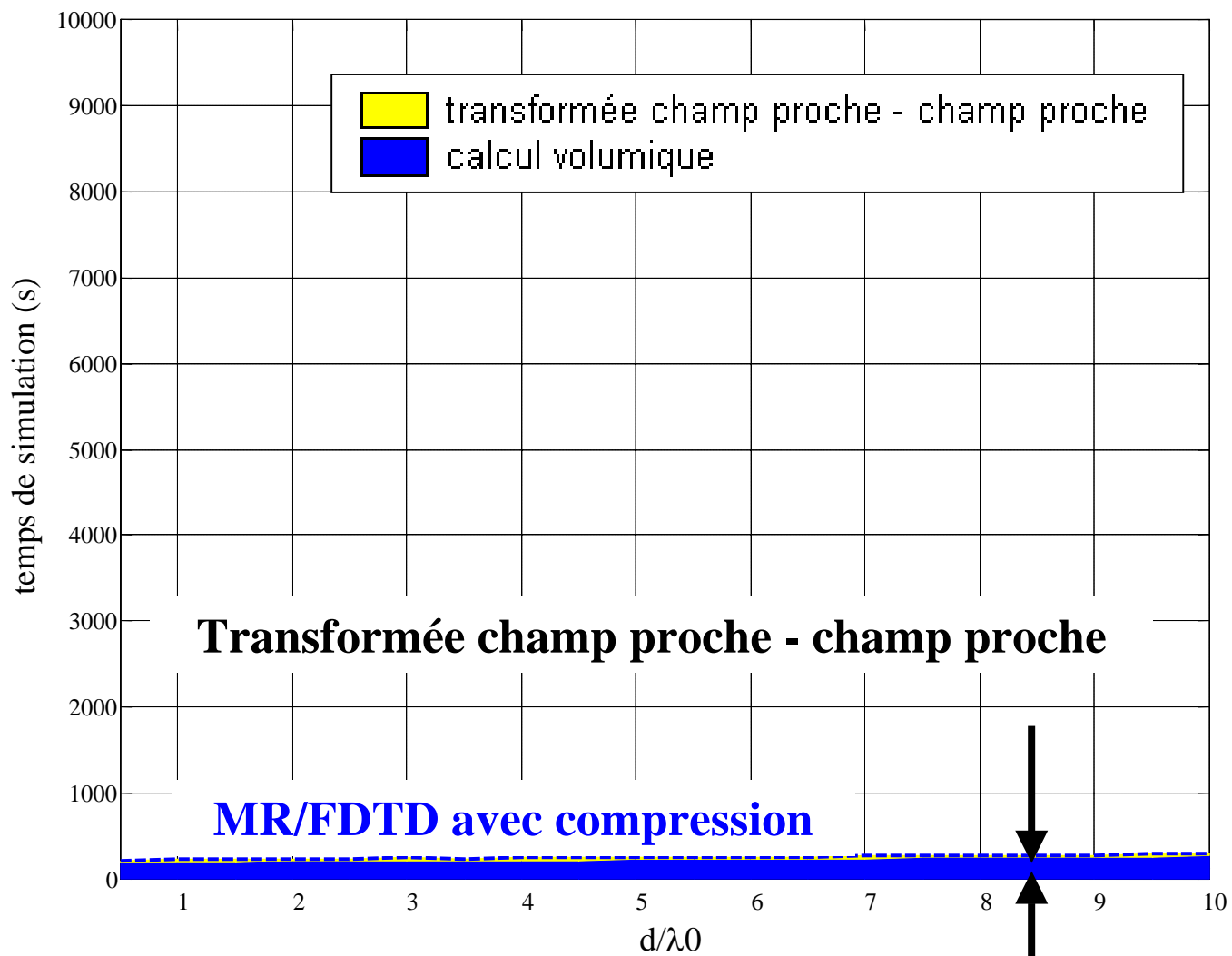
- Signal sur la charge du dipôle environnant pour  $d = 0,5 \lambda_0$



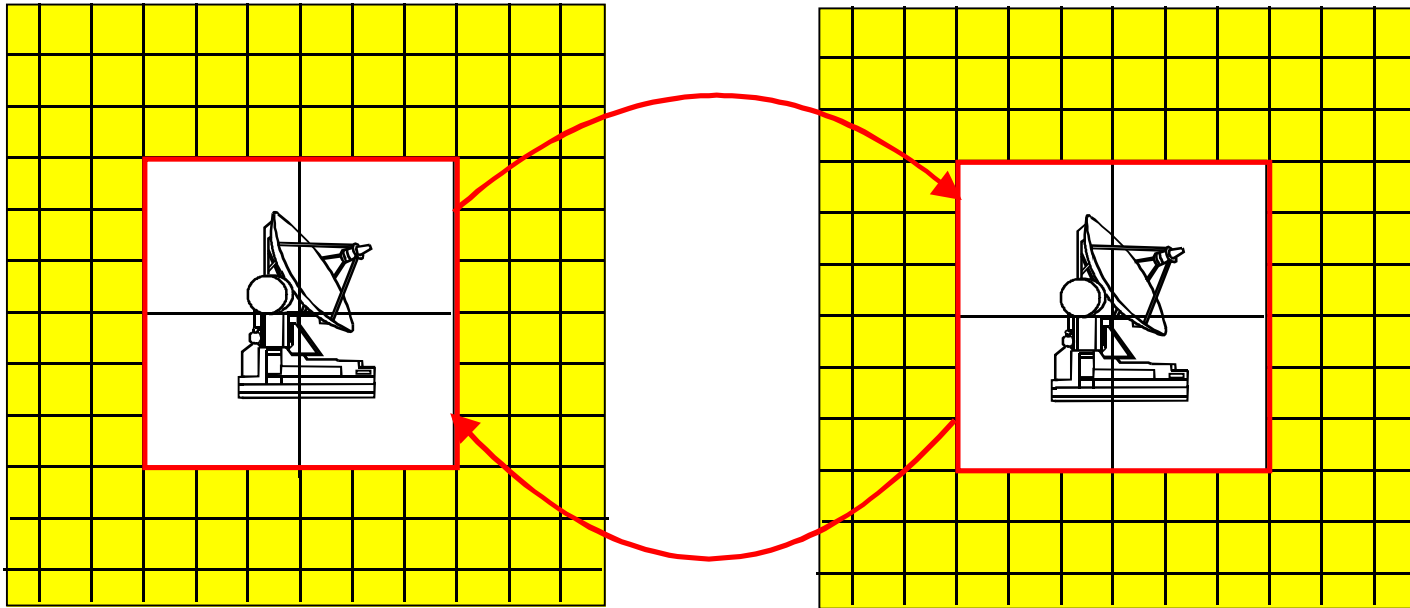




# Exemple canonique MR/FDTD







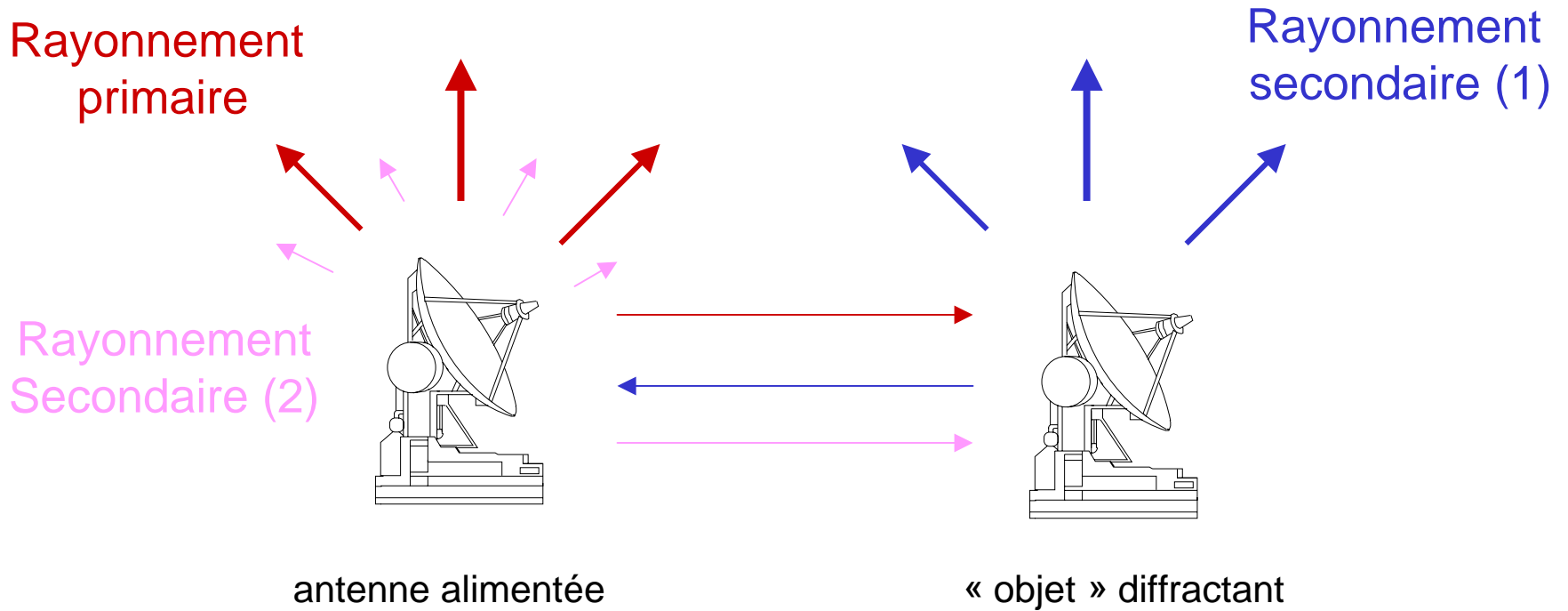
## Schéma multirésolution:

- maillage fin des volumes (interactions proches)
- maillage grossier des surfaces (interactions plus lointaines)

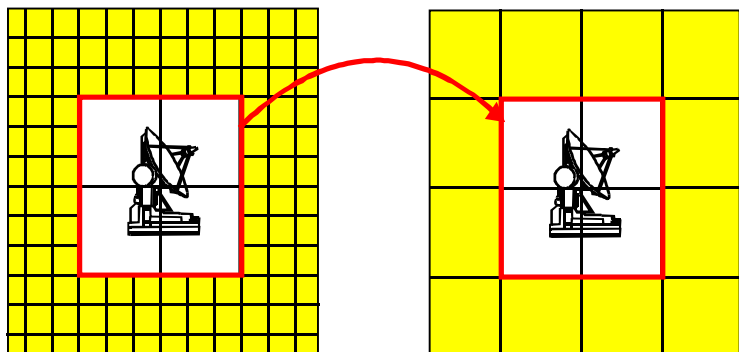
## Schéma potentiellement instable :

- rebouclage de champs avec compression

## calcul de diagramme environné



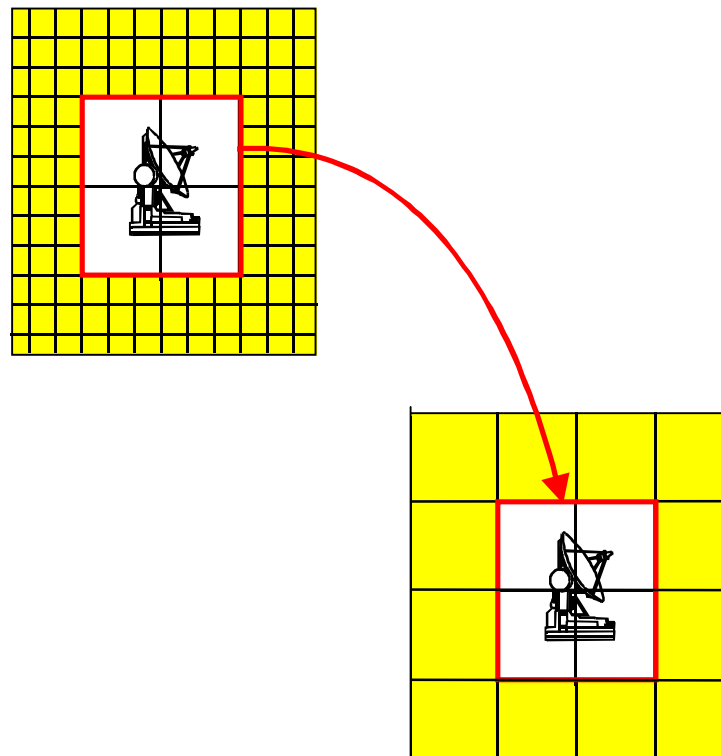
$$d > \lambda_0$$



## Approche sans rebouclage

- rayonnement primaire : fin
- couplage : grossier
- rayonnement secondaire (1) : grossier

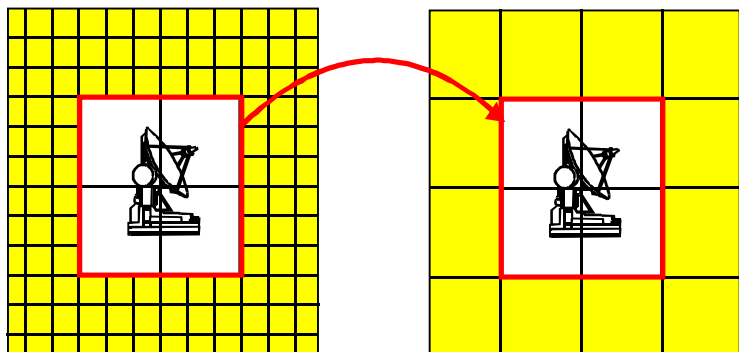
$$d < \lambda_0$$



## Approche à « rebouclage interne »

- rayonnement primaire : fin
- couplage : grossier
- rayonnement secondaire (1) : grossier

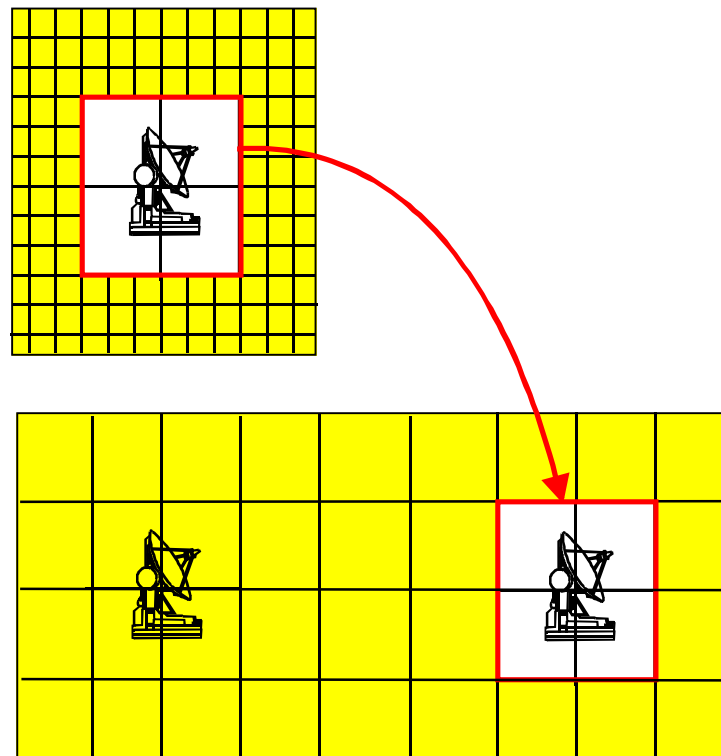
$$d > \lambda_0$$



## Approche sans rebouclage

- rayonnement primaire : fin
- couplage : grossier
- rayonnement secondaire (1) : grossier

$$d < \lambda_0$$



## Approche à « rebouclage interne »

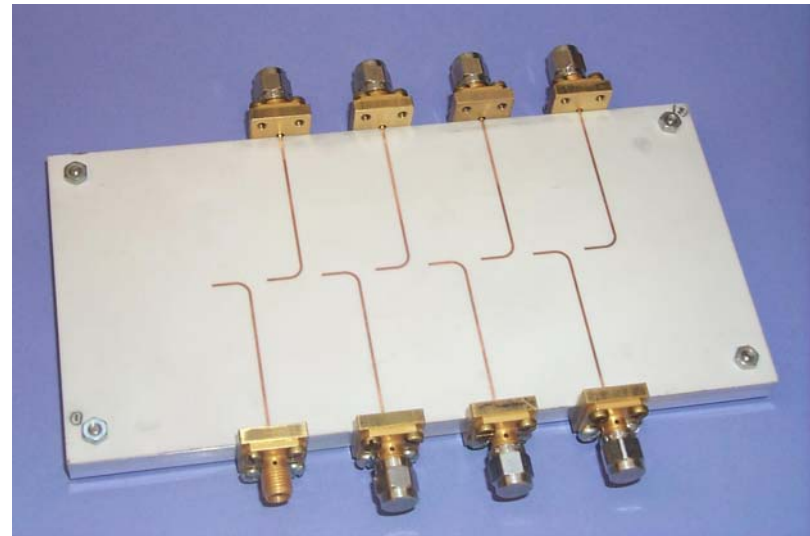
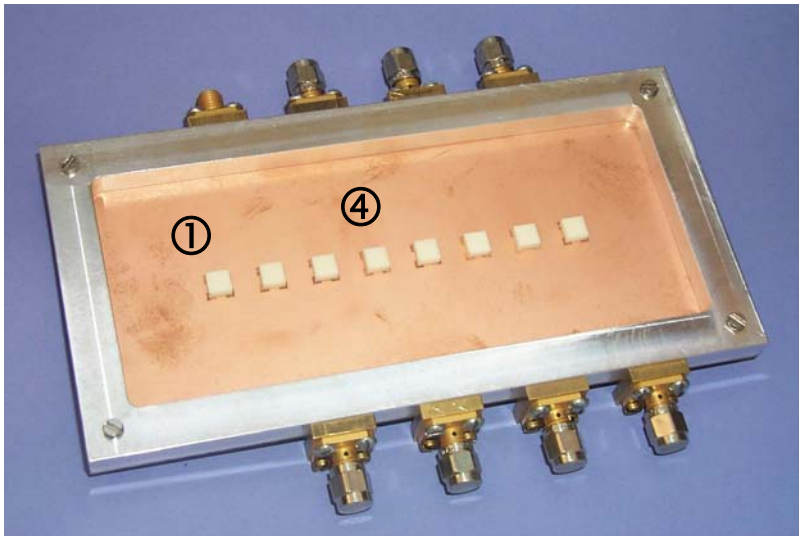
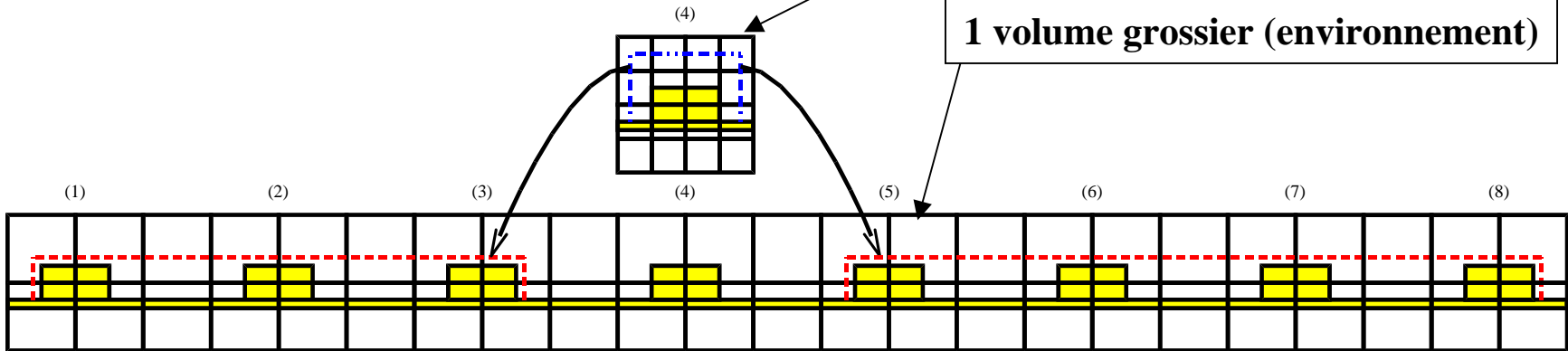
- rayonnement primaire : fin
- couplage : grossier
- rayonnement secondaire (1) : grossier
- rayonnements secondaires ( $i > 1$ ) : grossier

•Réseau linéaire plan E de 8 DRA:

1 volume fin (élément unitaire)

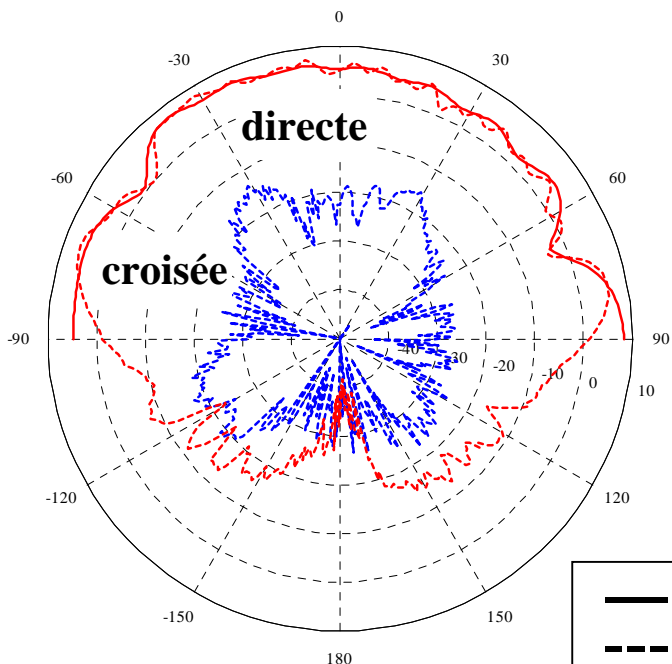
+

1 volume grossier (environnement)

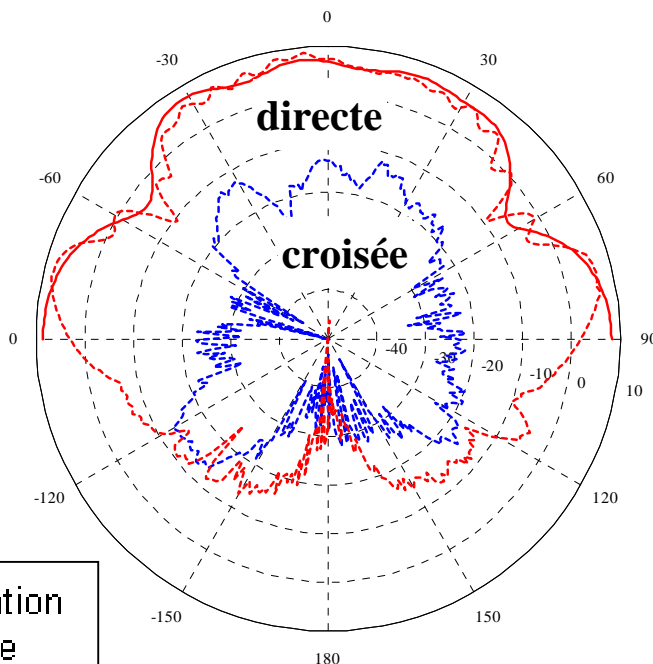


- Diagrammes de rayonnement dans le plan E des éléments 1 et 4 :

## élément 1



## élément 4



— simulation  
 - - - mesure

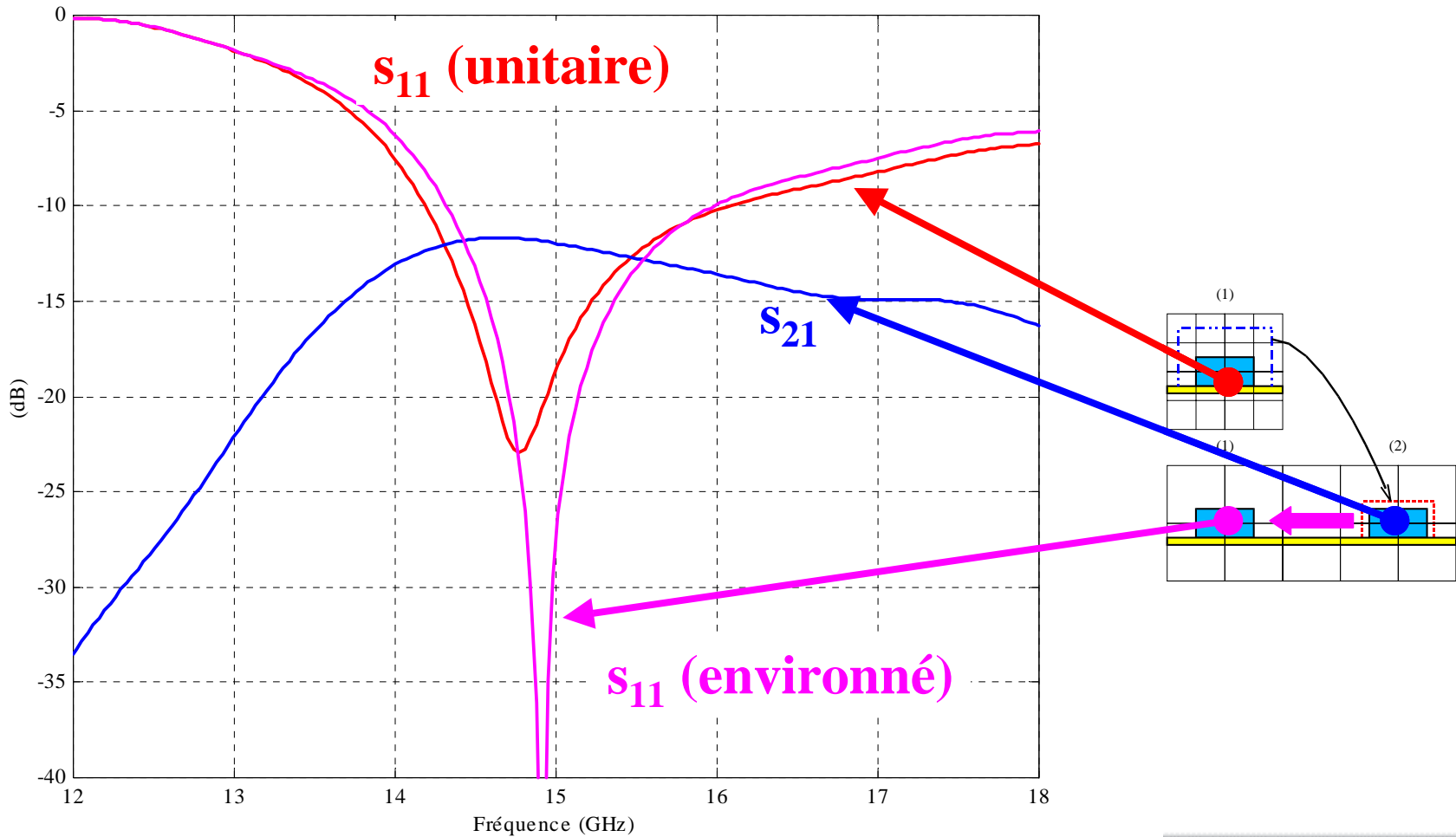
- Très bon accord entre simulation et mesure



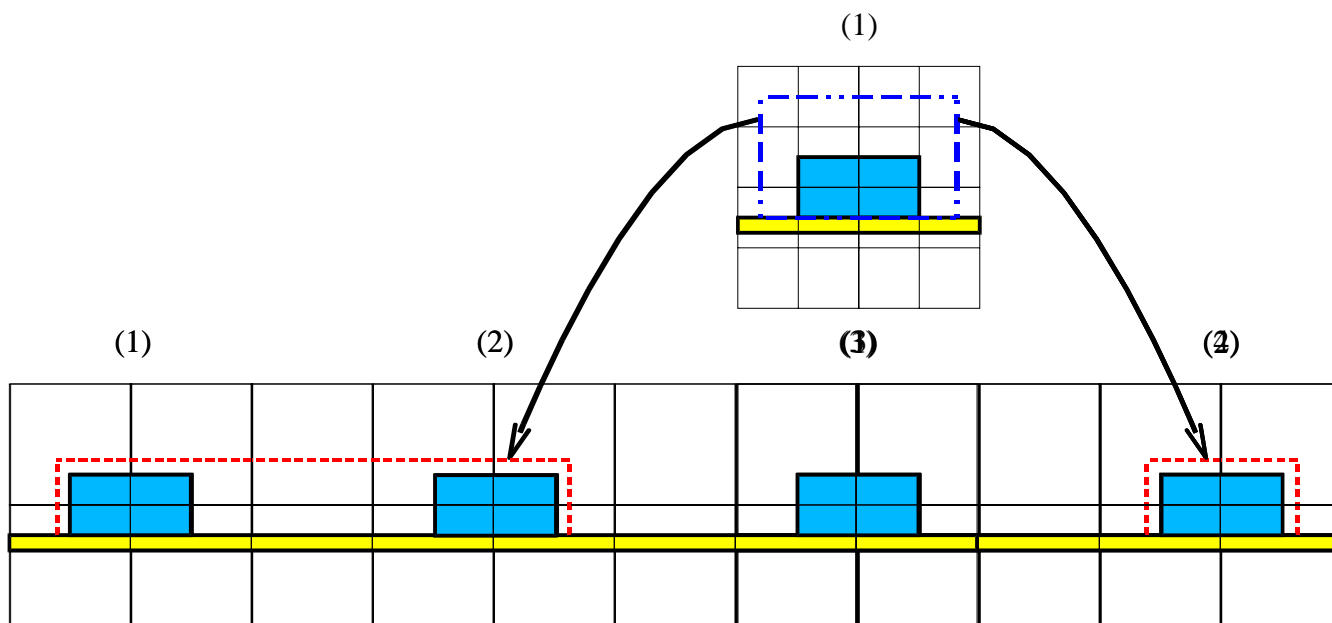
## Bilan quantitatif

	<b>FDTD</b>	<b>MR/FDTD</b>	
<b>Temps de calcul</b>	<b>52 h 8 min</b>	<b>14 h 41 min</b>	
		5 h 52 min (unitaire)	8 h 49 min (environnement)
<b>Mémoire</b>	<b>860 Mo</b>	<b>381Mo</b>	
		97 Mo (unitaire)	284 Mo (environnement)

- Calcul des paramètres de répartition



- ☞ Sauvegarde des champs sur la surface de Kirchhoff (excitation)
- ☞ Environnement interchangeable



- Différentes façons d'exploiter la multirésolution
- L'introduction de compression dans le calcul des interactions entre volumes fait de la MR/FDTD une méthode compétitive par rapport à la FDTD classique
- L'approche à « rebouclage interne » assure la stabilité et permet de faire varier l'environnement
- Les techniques de compression proposées pour le calcul des interactions entre sous-volumes sont transposables à d'autres schémas d'hybridation.