Hybridation de méthodes pour l'estimation du champ électrique en milieu urbain prenant en compte les détails surfaciques des bâtiments

Y.B. Ouattara [(1)], S. Mostarshedi [(1)], E. Richalot [(1)], J. Wiart [(2)] et O. Picon [(1)],

[(1)] Université Paris-Est Marne-la-Vallée
[(2)] Orange Labs

Nécessité de l'évaluation du champ électrique au voisinage des bâtiments

Complexité de l'environnement urbain

Zone proche

Méthode des fonctions de Green

Prise en compte précise
des détails architecturaux sur la façade

Zone lointaine

Homogénéisation de la façade
(Coefficient de réflexion équivalent)

Méthode de la SER
(réflectivité d'un ensemble de bâtiments)

Prédiction en zone proche :

Fonctions de Green associées à l'interface entre deux milieux semi-infinis

Principe d'équivalence inductive :

- Onde plane incidente → Courants électrique et magnétique surfaciques
- Rayonnement des courants équivalents → En présence de l'objet diffractant

Avantage:

- **Prise en compte du diagramme de rayonnement des dipôles dans tous les angles d'observation (contrairement aux coefficients de Fresnel)**
- **Intéressant pour le champ proche puisque traduisant une réalité physique**

Fonctions de Green associées à l'interface entre deux milieux semi-infinis :

$$\vec{E} = \iint_{s'} \overline{\overline{G}}_{EJ}(r,r') \bullet \vec{J}(r')\vec{ds'} + \iint_{s'} \overline{\overline{G}}_{EM}(r,r') \bullet \vec{M}(r')\vec{ds'}$$

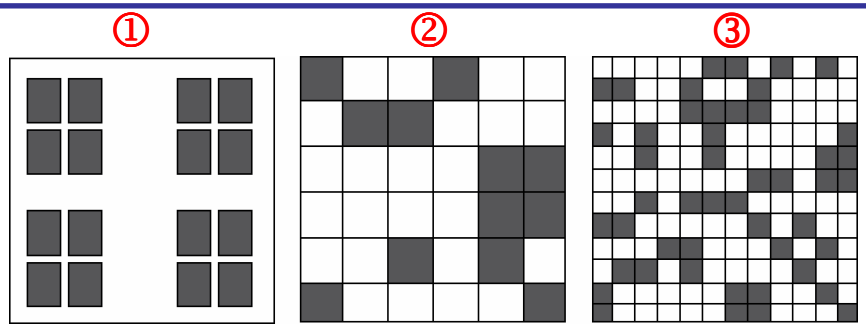
Courant équivalent surfacique : forme de la source

Tenseur de Green : nature des matériaux et angle d'observation

Bornes d'intégration : taille de la surface réfléchissante

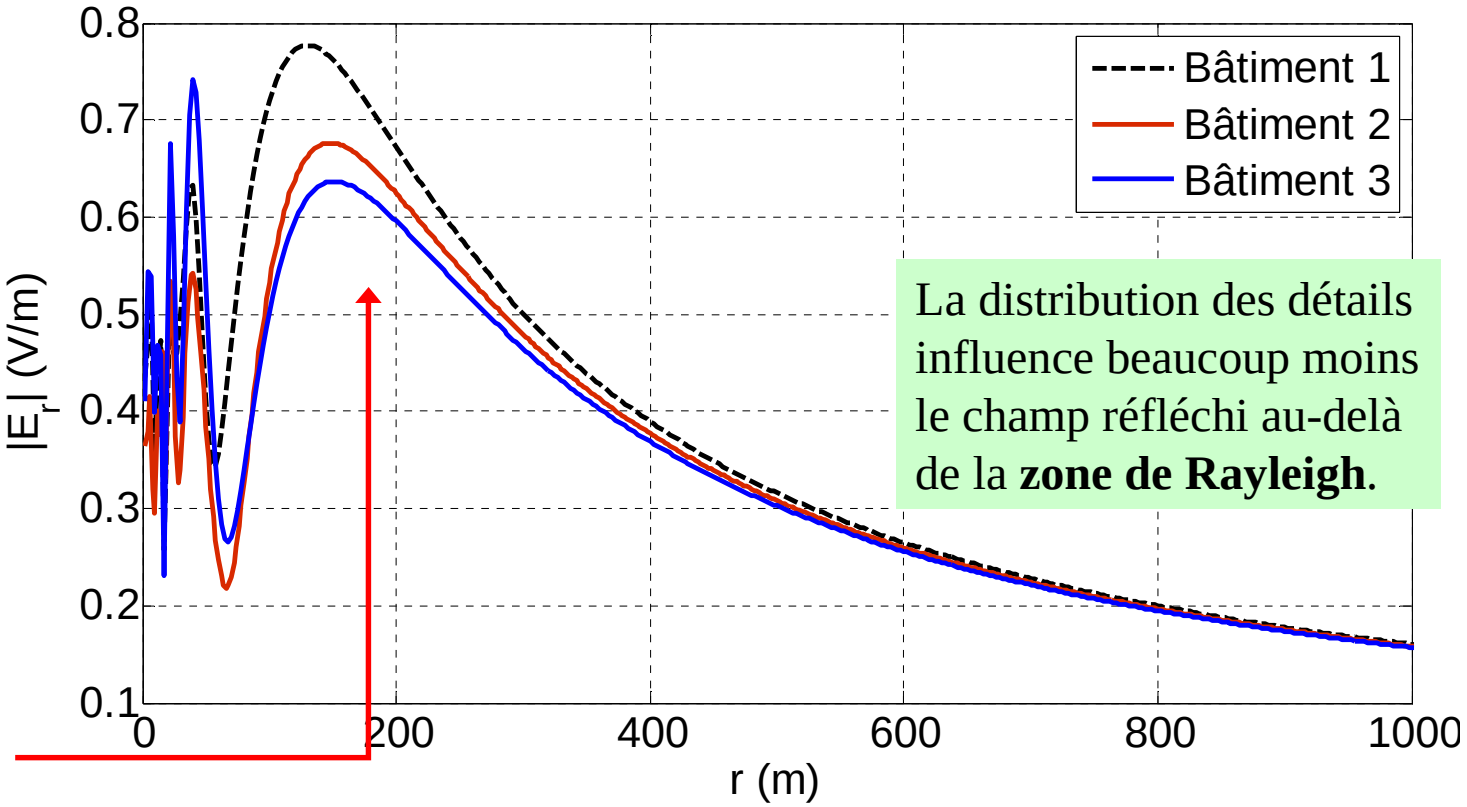
Possibilité d'étudier séparément l'influence de chaque paramètre

DISTRIBUTION DES DETAILS ARCHITECTUREAUX



- incidence normale ($\theta_i = 0°$)
- fréquence = 900 MHz
- surface = 12m × 12m
- $\varepsilon_{r\text{-béton}} = 6{,}13 - j0{,}13$
- $\varepsilon_{r\text{-verre}} = 5{,}5$ (simple vitrage d=10mm)
- $\varepsilon_{r\text{-équivalent}} = 6{,}22 + j2{,}053$
- 67% de béton et 33% de verre

L'influence de la distribution des fenêtres sur le champ réfléchi en **zone proche** est non négligeable.



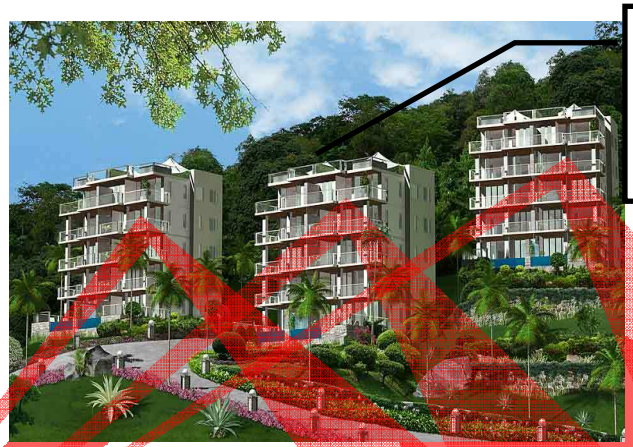
La distribution des détails influence beaucoup moins le champ réfléchi au-delà de la **zone de Rayleigh**.

Limite de la zone de Rayleigh = 216 m

Prédiction en zone lointaine :

APPROCHE SER : MÉTHODE ET VALIDITÉ

LA METHODE SER



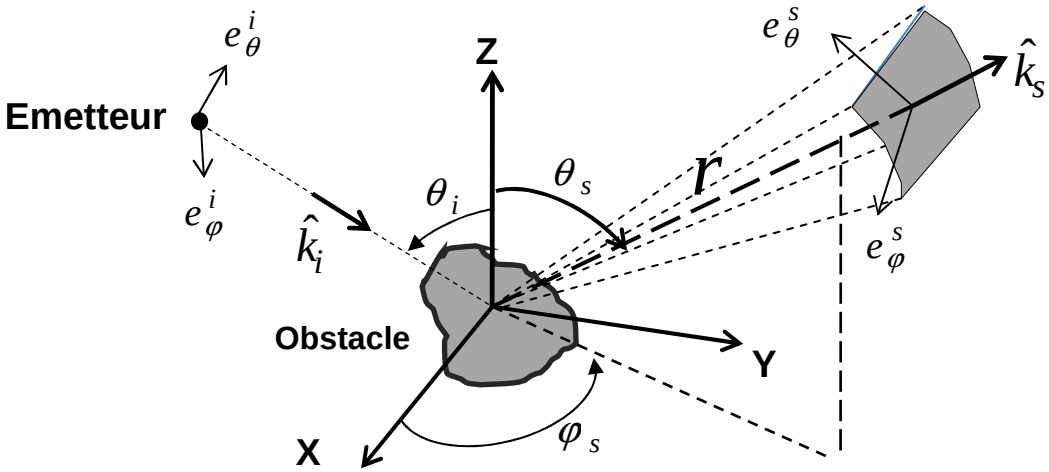
Calcul de SER bi-statique des facades

Onde plane

Reconstruction du champ électrique

Antenne d'émission: Polarisation, Incidence, Fréquence, Eo

Antenne de réception: prédiction du champ électrique E (V/m)



Surface équivalente radar (RCS):

$$\sigma_{bi} = \lim_{r \to \infty} 4\pi r^2 \frac{|E_s|^2}{|E_i|^2}$$

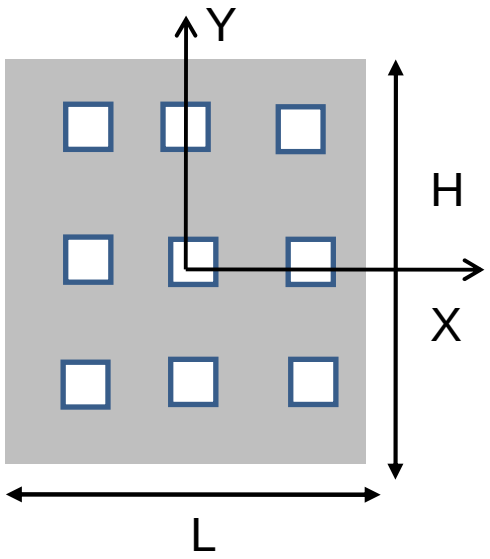
Choix de la méthode ??

Choix de la méthode qui tient compte:

-Les polarisations de l'onde incidente et diffractée
- La forme de l'objet diffractant (3D ou 2D)
- Des propriétés électriques de l'objets (diélectriques)

MÉTHODE DE KIRCHHOFF-HUYGEN'S

Façade inhomogène de dimensions finies



Surface de la zone illuminée:

$$A = L \times H$$

Surface héterogène:
Béton+ Verre

Forme de la facade:
Rectangulaire

Formulation:

$$\bar{E}_S(\bar{r}) = \iint_A \left\{ i\omega\mu_0 \bar{\bar{G}}(\bar{r},\bar{r}') \cdot [\hat{n} \times \bar{H}(\bar{r},\bar{r}')] + \nabla \times \bar{\bar{G}}(\bar{r},\bar{r}') \cdot [n \times \bar{E}(\bar{r}')] \right\} dA'$$

Courant électrique

Courant électrique(coefficient de Fresnel)

Forme tensorielle de la Fonction de Green de l'espace libre

Expression générale: diélectrique + métal

$$\sigma_{rcs} = \frac{k^2 A^2}{4\pi}\left(B_1^2 + B_2^2\right)\left[(\hat{e}_i \cdot \hat{q}_i)^2 \left|I_{TE}\right|^2 B_1^2 + (\hat{e}_i \cdot \hat{p}_i)^2 \left|I_{TM}\right|^2 B_2^2\right]$$

$$I_{m\in\{TE,TM\}} = \frac{1}{A}\iint_A \Gamma_m(x',y') e^{jkz(\cos\theta_i+\cos\theta_s)} e^{j(k_{xi}-k_{xs})x'} e^{j(k_{yi}-k_{ys})y'} dx'dy'$$

Homogénéisation de la façade: Appliquer un coefficient de réflexion équivalent

$$\Gamma_v^{eq} = \begin{cases} \sum_i^n p_i R_{TE}^i & for\ TE\ polarisation \\ -\sum_i^n p_i R_{TM}^i & for\ TM\ polarisation \end{cases}$$

… pi représentant la proportion des matériaux sur la façade.

SER Totale et reconstruction du champ électrique:

$$\sigma_{tot}(\theta,\varphi) = \left|\sum_{i=1}^{n} (\sigma_i)^{1/2} e^{j\psi_i}\right|^2$$

$$\overline{E}(\theta,\varphi) = \sum_{i=1}^{n} \frac{\sqrt{\sigma_i}}{(4\pi)^{1/2} r_i} e^{jkr_i} e^{j\psi_i}$$

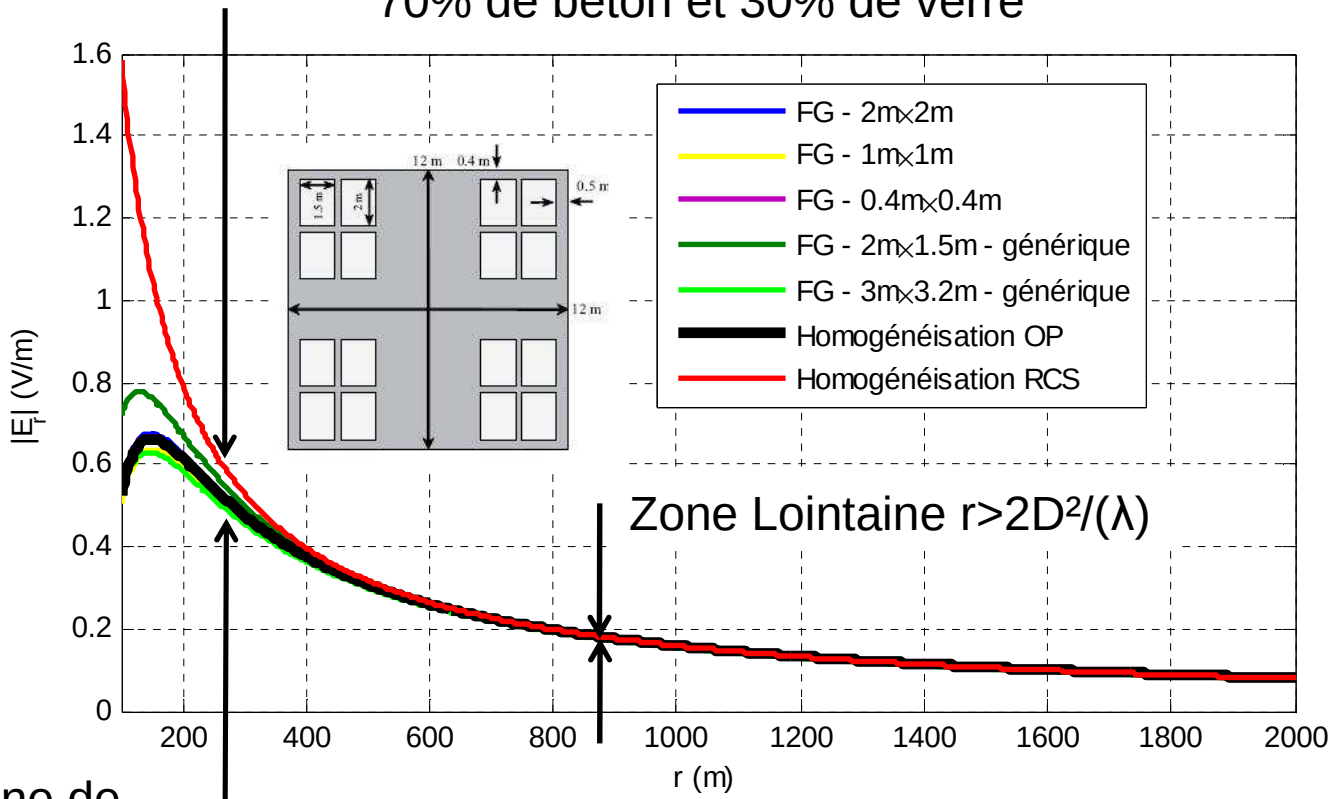
Taille du bâtiment: LxH=12mX12m

Source: onde plane TE: θi=0°, φi=90°

Béton Er=6.13 σ=0.01 s/m épais=30cm

Verre Er=5.5 épais=1cm

70% de béton et 30% de verre

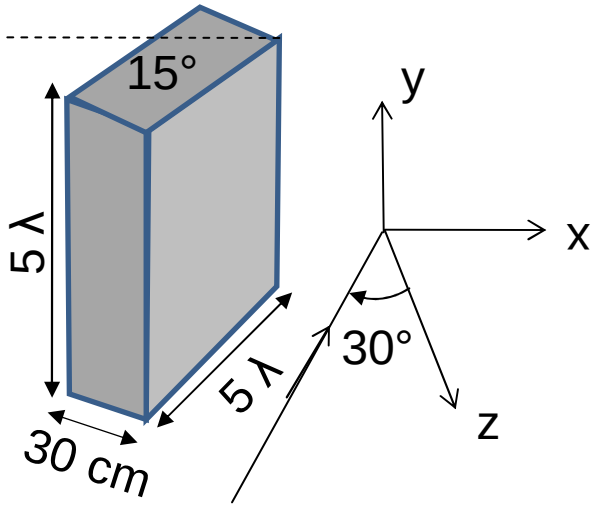


Zone Lointaine $r>2D^2/(\lambda)$

Limite zone de Rayleigh

⇒ Concordance RCS et fonctions de Green $r>D^2/(2\lambda)$

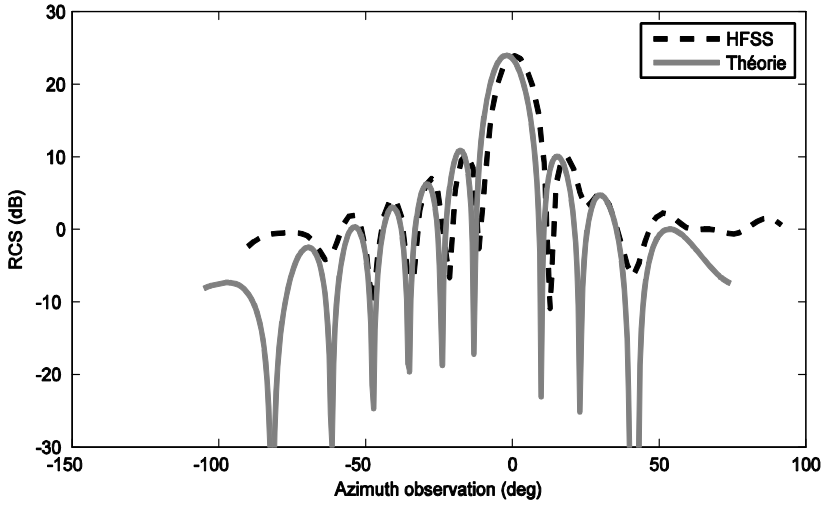
VALIDATION RCS – FEM (HFSS)



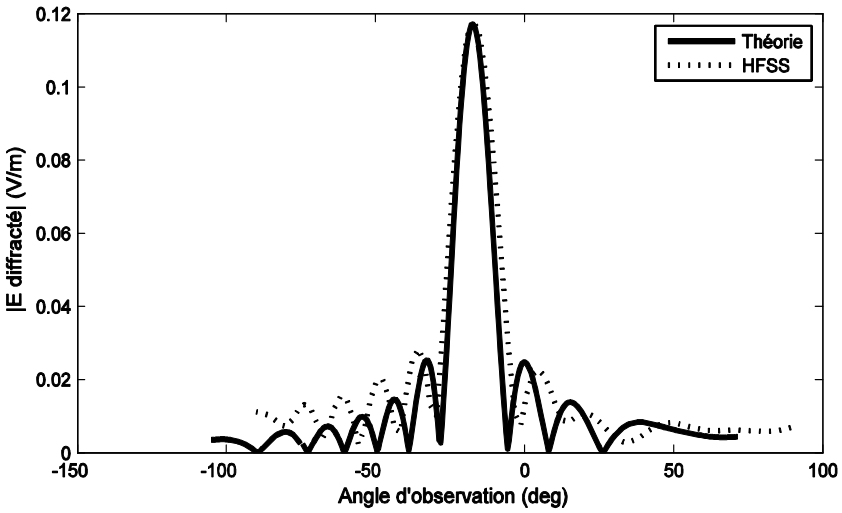
Polarisation TE: θi=30°, φi=90°,L=H=5 λ
Matériau: Béton Er=9 σ=0.01 s/m épais=30cm
r=100 λ

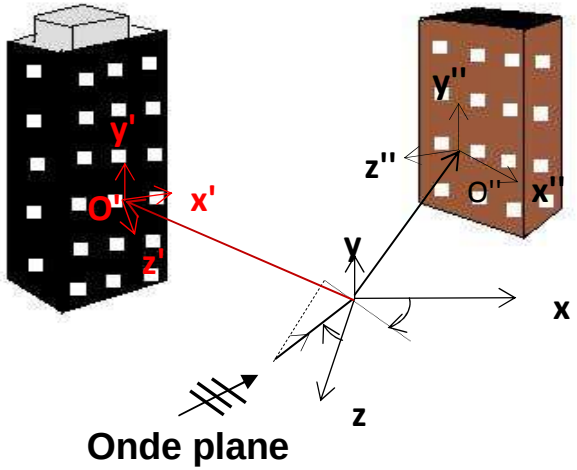
➡ Bonne concordance des deux méthodes

SER d'une façade homogène



Champ électrique reconstruit

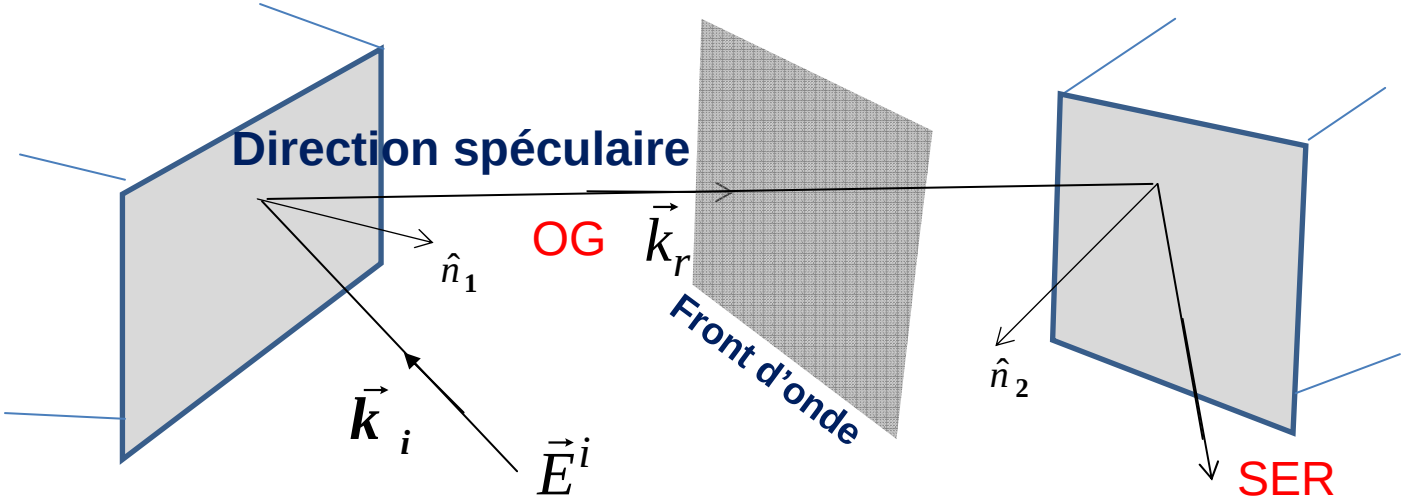


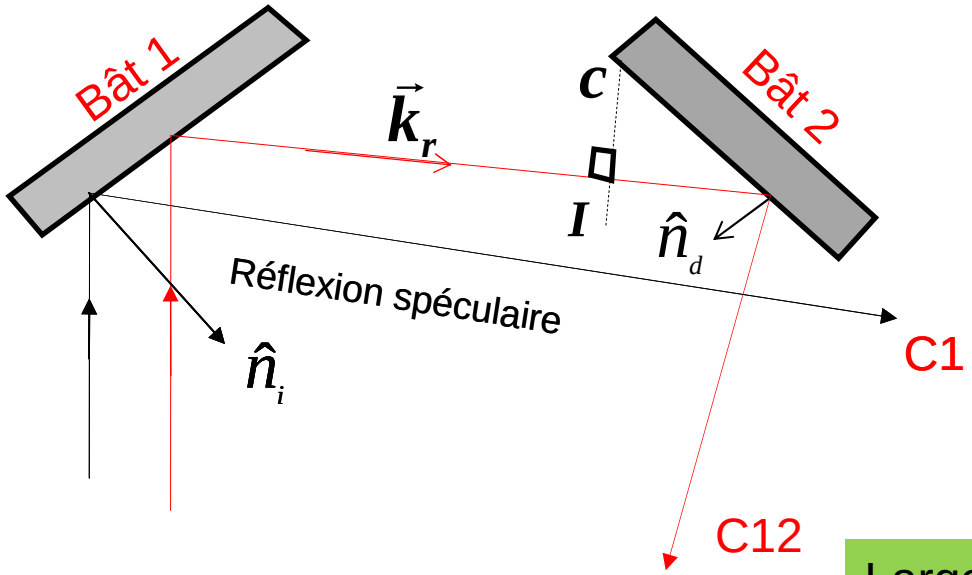


Réflexions multiples ?

-Test d'interception+
Identification de la zone illuminée

➢Hybridation des méthodes: Optique géométrique (OG) + Méthode SER





Réflexion spéculaire:

$$\vec{k}_r = \vec{k}_i - 2\hat{n}_i\left(\hat{k}_i \times \hat{n}_i\right)$$

Test d'interception 2nd ordre réflexion:

$$\vec{k}_r \cdot \hat{n}_d \leq 0$$

Définition de la zone interceptée:

$$\forall c \in \textit{Bât i} \quad \overline{IC} \leq lf$$

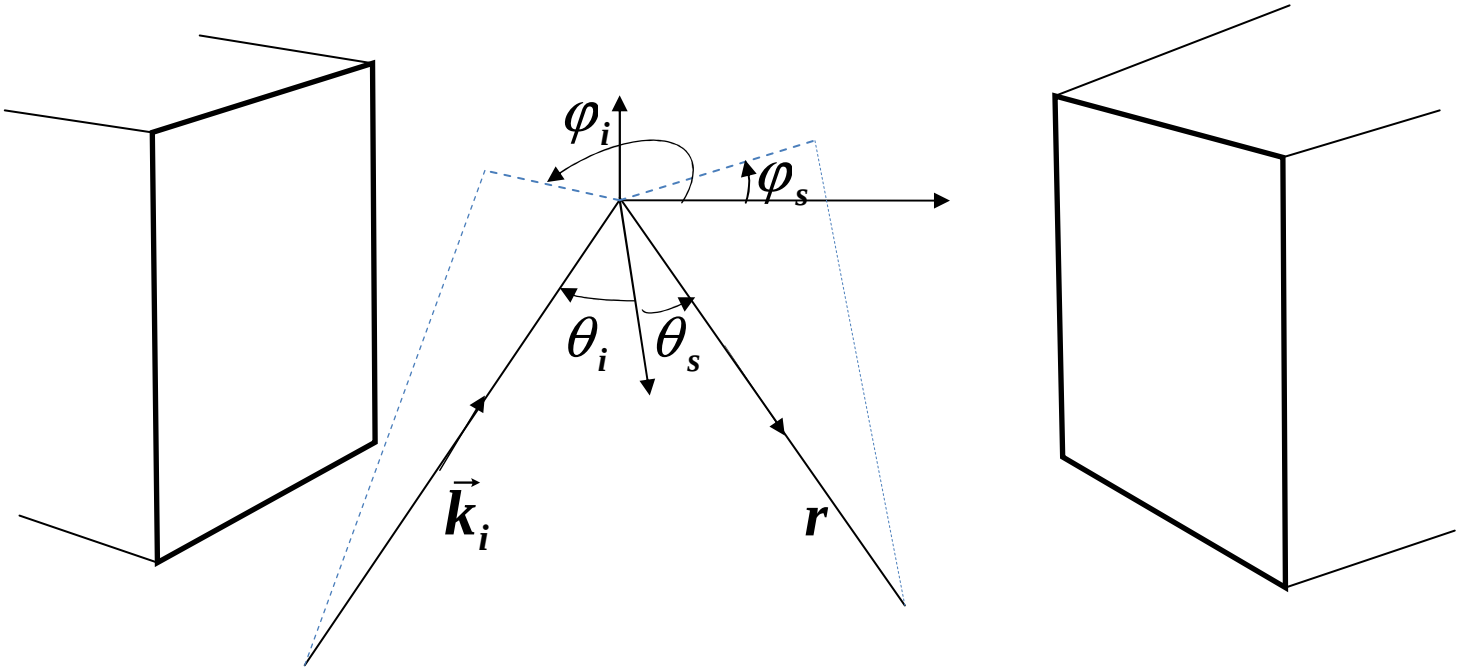
Largeur du front d'onde

Réflexion 1er ordre: *Application directe de la SER*

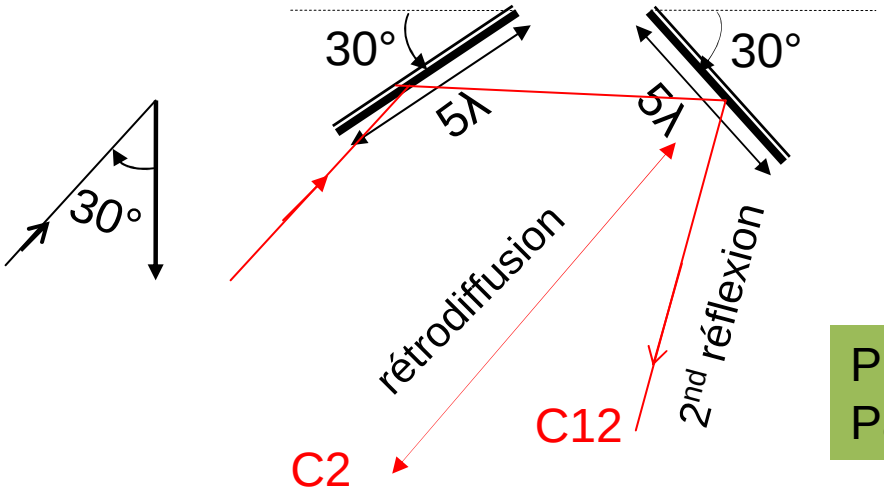
Réflexion 2er ordre:

$$\begin{cases} \textit{GO : Trajets multiples + surface interceptée} \\ \textit{Méthode SER : reconstruction du champ } \vec{E} \end{cases}$$

Approche SER et Validation par FEM (HFSS)



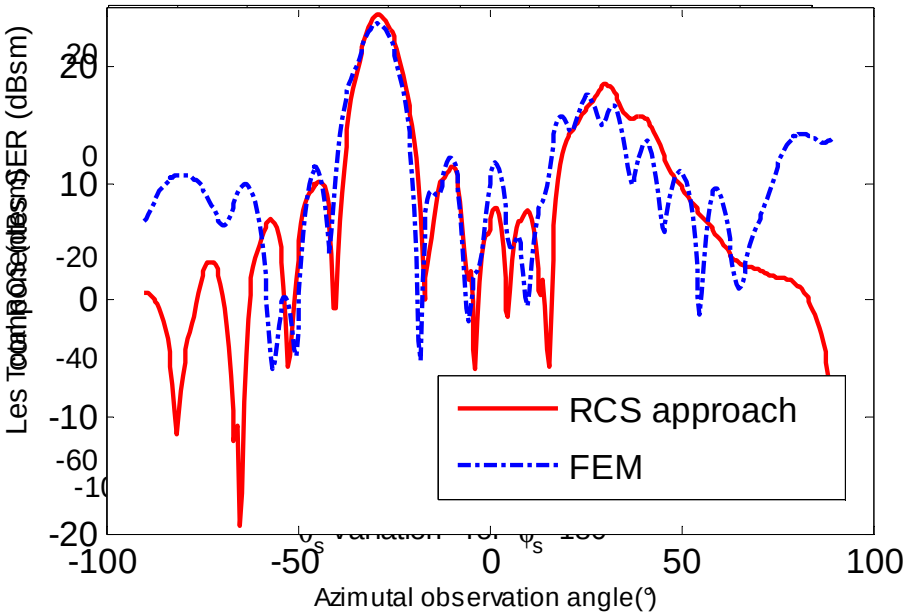
CONFIGURATION 1

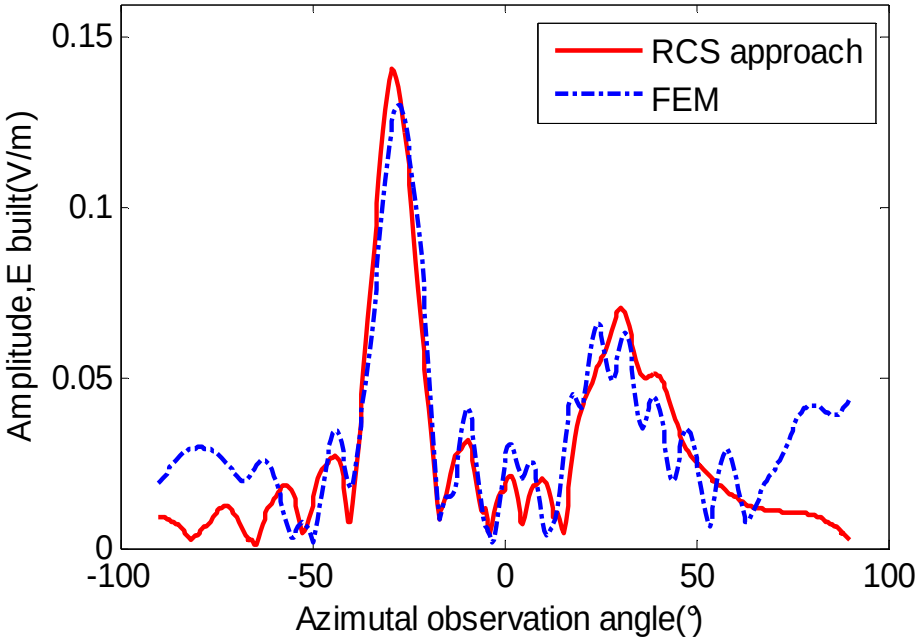


θi=30°, φi=180°,LxH=5 λ
Eo=1v/m; TE ; r=33m,F=900MHz

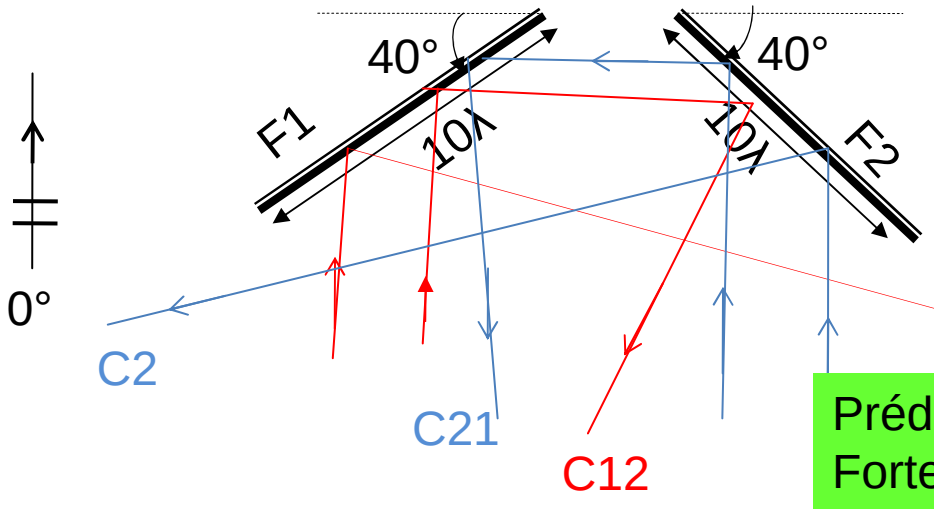
Tds: SER(4s) , FEM(3h)

Prédominance du premier ordre
Pas de prise en compte des effets de bords





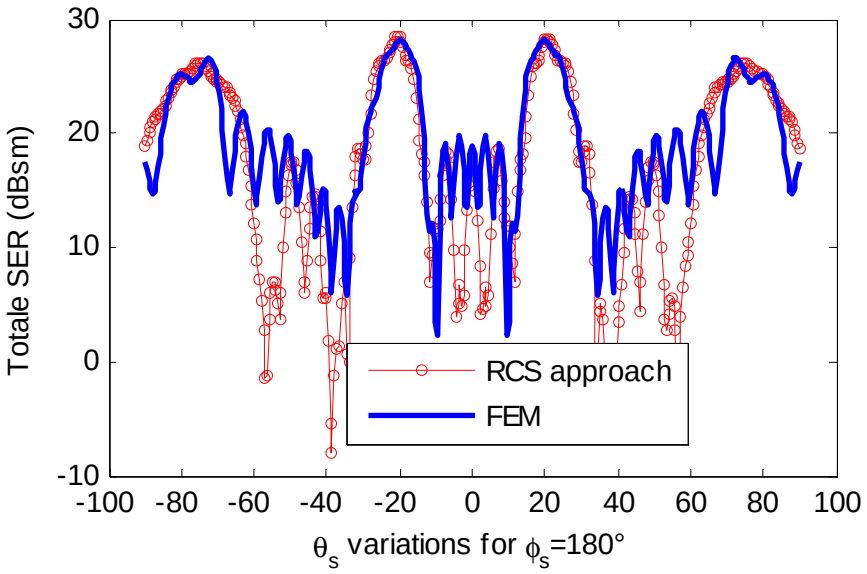
CONFIGURATION 2

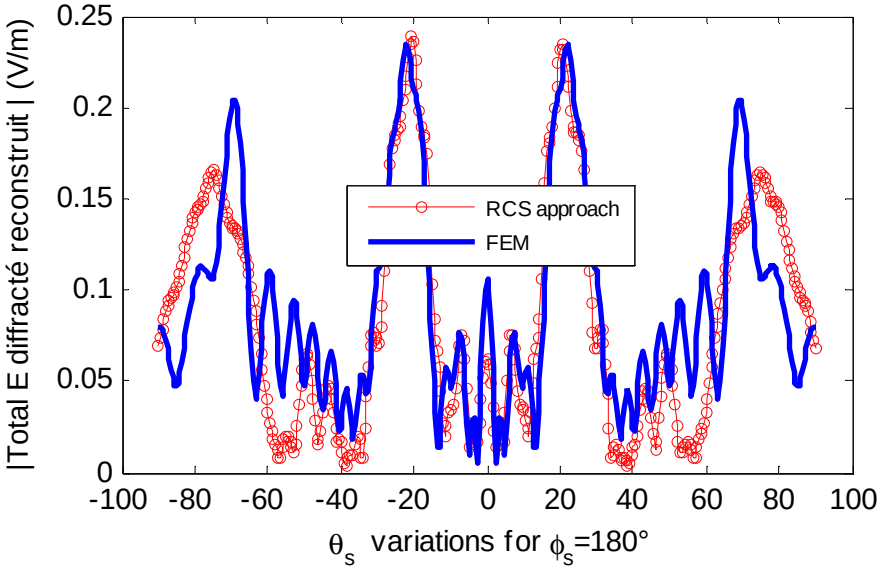


θi=30°, φi=90°,LxH=10 λ
Eo=1v/m; TE ; r=33m,F=900MHz

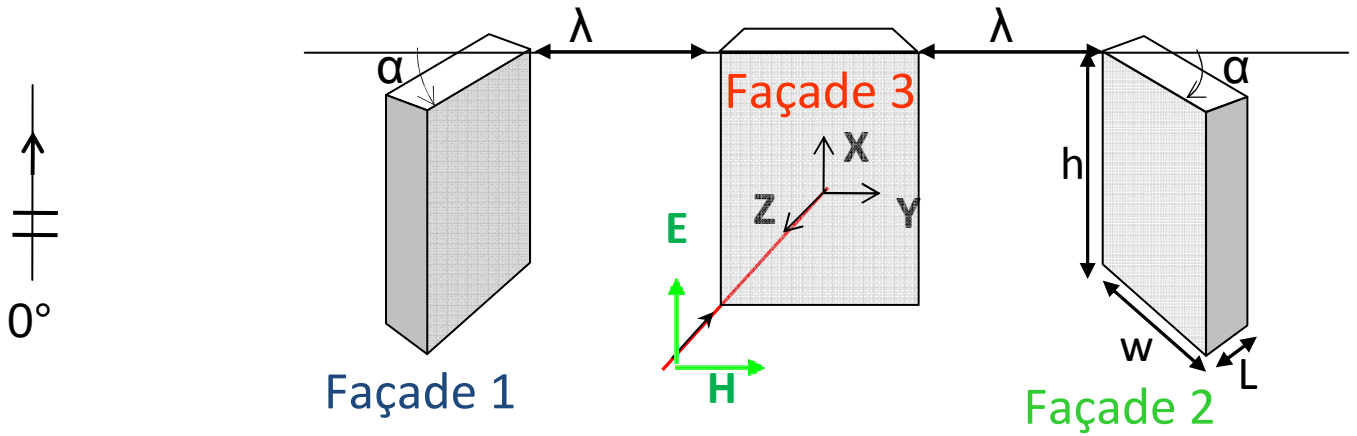
Tds: SER(0.30s) , FEM(2h20)

Prédominance des réflexion de 2er ordre et
Forte apparition des effets de bords

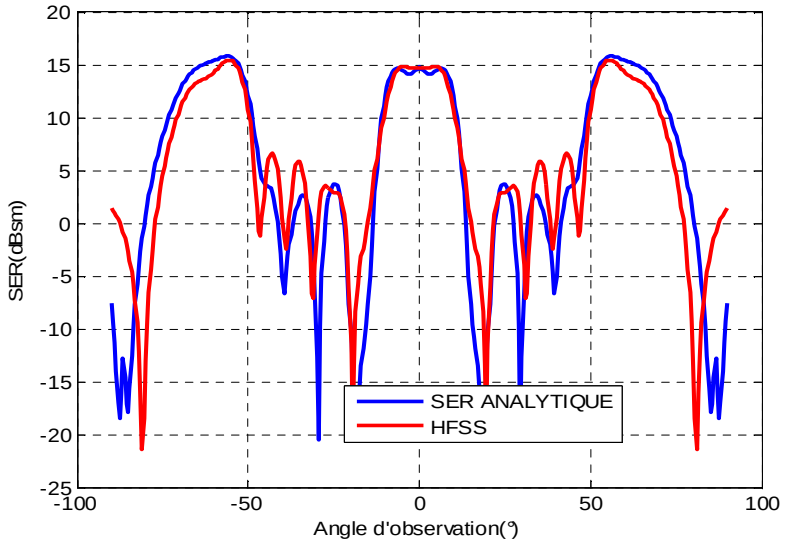


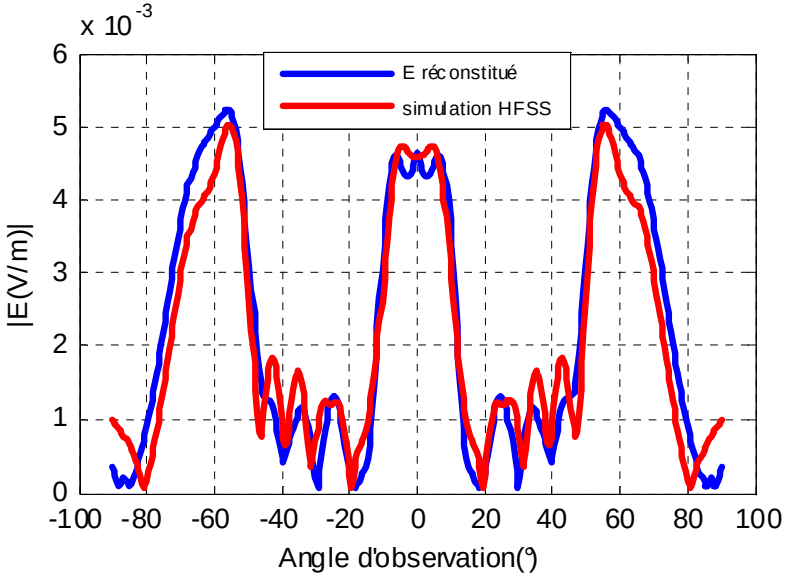


CAS 3 BATIMENTS



θi=0°, α=30°
φi=90°,LxH=5 λ
Eo=1v/m;TE
R=1000 λ





QUELQUES RESTRICTIONS

- Onde incidente plane
- Distance de Rayleigh ($r > D^2/2\lambda$)
- Effet de bords sont négligés
- Les façades sont considérées planes

CONCLUSION

- **En zone proche :**
  - La distribution, les dimensions et la nature des détails sont prises en compte.
  - Les fonctions de Green sont calculées pour des milieux semi-infinis. (sans pôle)
  - Les milieux multicouches doivent être remplacés par une permittivité
  - La précision de la méthode permet de l'utiliser comme référence pour les méthodes approchées.

- **En zone lointaine :**
  - Les détails architecturaux sont homogénéisés
  - La SER sert à définir la réflectivité des façades diffractantes
  - Le champ électrique est obtenu par reconstruction
  - La rapidité de la méthode permet de simuler des façades de grande taille
  - La méthode est compatible avec les méthodes SBR (basée sur les rayons)

MERCI POUR VOTRE ATTENTION