

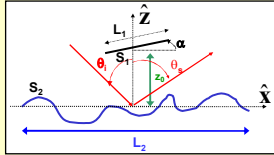
Une méthode numérique hybride pour la diffusion par une plaque au-dessus d'une surface de mer monodimensionnelle

Gildas KUBICKÉ, Christophe BOURLIER
IREENA, Fédération CNRS Atlanctic, Université de Nantes
Polytech'Nantes, Site de la Chantrerie, rue C. Pauc, 44306 Nantes Cedex 3, France
gildas.kubicke@univ-nantes.fr

CONTEXTE ET OBJECTIF

CONTEXTE

- Disposer d'un modèle rapide pour la diffusion par un obstacle PC au-dessus de la mer
 - Comprendre les phénomènes physiques mis en jeu (couplage, contributions principales...)
 - Optimisation des réflecteurs en évitant d'onéreuses campagnes de mesures



OBJECTIF

- Développer une méthode hybride pour la diffusion par une grande plaque ($L_1 \gg \lambda$) au-dessus d'une surface de mer 1D (scène 2D)
 - Utilisation d'une méthode récemment développée : E-PILE+FBSA [1]
 - Hybridation de E-PILE+FBSA avec l'Optique Physique (interactions locales sur la plaque)

HYBRIDATION DE E-PILE+FBSA AVEC L'OP

Principe de E-PILE+FBSA

- Equations intégrales + MdM \Rightarrow système linéaire $Z \cdot X = b$:

Z : Matrice impédance

X : Inconnues

b : Champ incident

$$Z = \begin{bmatrix} P & Q \\ R & S \end{bmatrix}$$

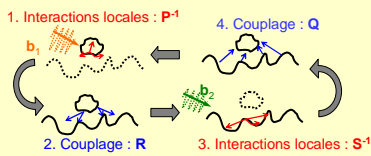
P: Matrice impédance de S_1 Q: Matrice de couplage $S_2 \rightarrow S_1$
R: Matrice de couplage $S_1 \rightarrow S_2$ S: Matrice impédance de S_2

$$\begin{bmatrix} P & Q \\ R & S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{Inversion par bloc}} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P & Q \\ R & S \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

M_{c1} : Matrice caractéristique / $\text{norm}(M_{c1}) < 1$

$$X_1 = \sum_{n=0..N_{PILE}} (P^{-1} \cdot Q \cdot S^{-1} \cdot R)^n \cdot P^{-1} \cdot (b_1 - Q \cdot S^{-1} \cdot b_2)$$

Ordre P_{PILE} : multiples réflexions objet/surface

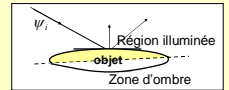


- P^{-1} calculé par une inversion directe LU $\Rightarrow O(N_1^3)$
- Produit matrice-vecteur $S^{-1} \cdot u$ calculé par la FBSA [2] $\Rightarrow O(N_2)$
- E-PILE+FBSA [1] et principe de Huygens $\Rightarrow \psi_s$
- E-PILE+FBSA validée dans [1]
- Complexité = $(P_{PILE}+1)P_{FB}O(N_2)$ (seulement si $N_1 \ll N_2$)

Hybridation par utilisation de l'OP

- CAS TM

Approximation de l'OP : $\psi = 2\psi_i$ sur la région illuminée



Système linéaire $X = P^{-1} \cdot b$: $X = 2b$

$(P^{-1})_{ij} = 2 \delta_j^i$ Si l'élément 'i' est illuminé

Formulation d'origine de E-PILE :

$$X_1 = \sum_{n=0..N_{PILE}} (P^{-1} \cdot Q \cdot S^{-1} \cdot R)^n \cdot P^{-1} \cdot (b_1 - Q \cdot S^{-1} \cdot b_2)$$

Hybridation avec l'OP :

$$X_1 = \sum_{n=0..N_{PILE}} (2 \cdot Q \cdot S^{-1} \cdot R)^n \cdot 2 \cdot (b_1' \cdot Q \cdot S^{-1} \cdot b_2)$$

$$b_1 = \begin{bmatrix} \psi_i(r_1) \\ \psi_i(r_{x,2}) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

Région illuminée
Zone d'ombre

- Généralisation au cas TE :

Dérivée normale appliquée sur les éléments de b_1' et Q' : $\frac{\partial \psi}{\partial n} = 2 \frac{\partial \psi_i}{\partial n}$

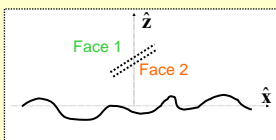
- P^{-1} est un scalaire (=2) et ne dépend pas de la taille de la plaque
- La matrice impédance P n'est pas stockée
- L'inversion de P n'est pas calculée (inversion analytique)
- Complexité et stockage mémoire réduits pour le couplage

Complexité = $(P_{PILE}+1)P_{FB}O(N_2)$ (pour toute valeur de N_1)

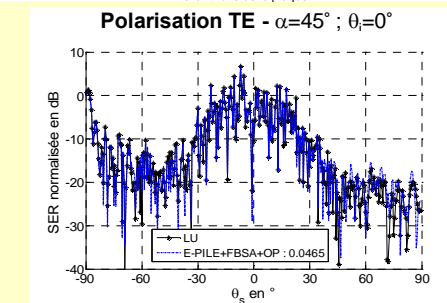
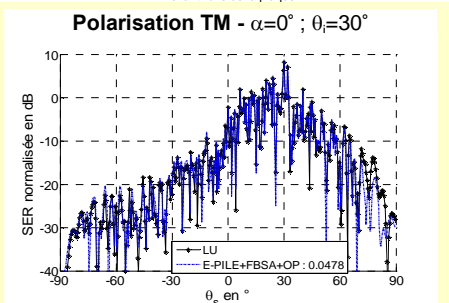
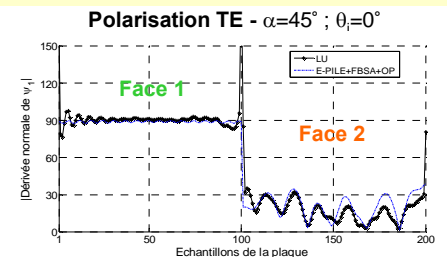
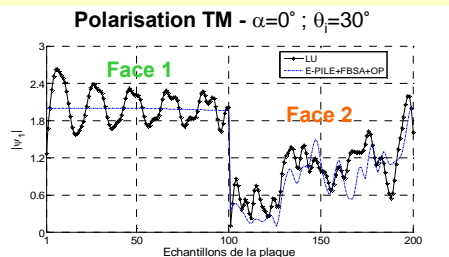
RESULTATS NUMERIQUES

Paramètres :

- $f = 3 \text{ GHz}$ ($\lambda = 10 \text{ cm}$)
- $\epsilon_{r2} = 70.4 + 40.6i$ (Très Conducteur \Rightarrow IBC)
- $d = 5\lambda = 50 \text{ cm}$ ($N_1 = 157$)
- Spectre d'Elfouhaily [3] $\Rightarrow u_{10} = 5 \text{ m/s}$
- $h_0 = 4\lambda = 40 \text{ cm}$
- $L_2 = 300\lambda = 30 \text{ m}$ ($N_2 = 3000$)
- $L_1 = 10\lambda = 1 \text{ m}$ ($N_2 = 200$)
- $g = L_2/6$ (Thorsos)



[1] G. Kubické et al, WRCM, 2008
[2] H. T. Chou et al, Radio Science, 1998
[3] T. Elfouhaily et al, JGR, 1997



Bon accord sur les courants / validité de l'OP - Très bon accord en SER