

**INTERPOLATION ET SEUILLAGE**  
**du CHAMP LOINTAIN**  
MANUEL D'UTILISATION

**N. Bartoli**

**CERFACS Report TR/EMC/04/31**

---

# Manuel d'utilisation

---

avril 2004

Ce document constitue la documentation technique relatif au code de calcul développé et installé au CNES concernant l'interaction d'une antenne et d'un satellite métallique. Plus précisément, nous décrivons ici le module d'interpolation des données de champ lointain et le seuillage des coefficients.

Equipe Electromagnétisme CERFACS  
N. Bartoli [bartoli@cerfacs.fr](mailto:bartoli@cerfacs.fr)

---

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Présentation générale du code de calcul</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Mise au format des fichiers de mesure</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Le champ lointain est créé par un dipôle</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Interpolation du champ lointain</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Procédure de seuillage</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>Approche Optique physique</b>	<b>11</b>
<b>8</b>	<b>Validation sur un exemple</b>	<b>12</b>
8.1	La lecture et la mise au format . . . . .	13
8.2	L'interpolation . . . . .	14
8.3	La procédure de seuillage . . . . .	17
8.4	Calcul du champ par la formule de l'optique physique . . . . .	19

## 1 Introduction

A la demande du CNES, nous avons mené une étude sur l'interaction d'une antenne et d'un satellite. A partir de la connaissance du champ lointain de l'antenne (mesures en chambre anéchoïque), nous souhaitons déterminer le champ effectivement rayonné par cette antenne en présence de structures métalliques de grande taille. Pour cette étude, nous avons développé plusieurs outils :

- une interpolation du champ lointain dans la base des harmoniques sphériques
- une approximation du champ proche basée sur l'optique physique, très simple à mettre en œuvre mais qui reste valide lorsque la distance entre l'antenne et le satellite est suffisamment grande ( $2\lambda$ )
- une approximation basée sur un développement multipolaire qui utilise la méthode FMM et qui permet des distances antenne-structure de l'ordre de  $\lambda/4$ .

Ces différentes méthodes ont été décrites et validées dans trois rapports techniques [1], [2] et [3]. Il s'agit ici de détailler l'utilisation des codes de calcul.

## 2 Présentation générale du code de calcul

Nous avons 5 grandes tâches à effectuer :

1. la mise au format des fichiers de mesure de champ lointain
2. le calcul des coefficients d'interpolation du champ lointain
3. le seuillage des coefficients d'interpolation (élimination des coefficients trop petits)
4. le calcul du potentiel crée par l'antenne sur le satellite à partir de l'approche exponentielle (optique physique)
5. le calcul du potentiel crée par l'antenne sur le satellite à partir de l'approche multipolaire : ce calcul est intégré dans le code `CESC_FMM` et son utilisation est décrite dans le document relatif à ce code.

Nous allons donc décrire dans ce document les quatre premiers points.

Le module de calcul présenté ici comprend différents éléments :

- le fichier général `data` que l'utilisateur devra remplir pour choisir différents paramètres et noms de fichier...

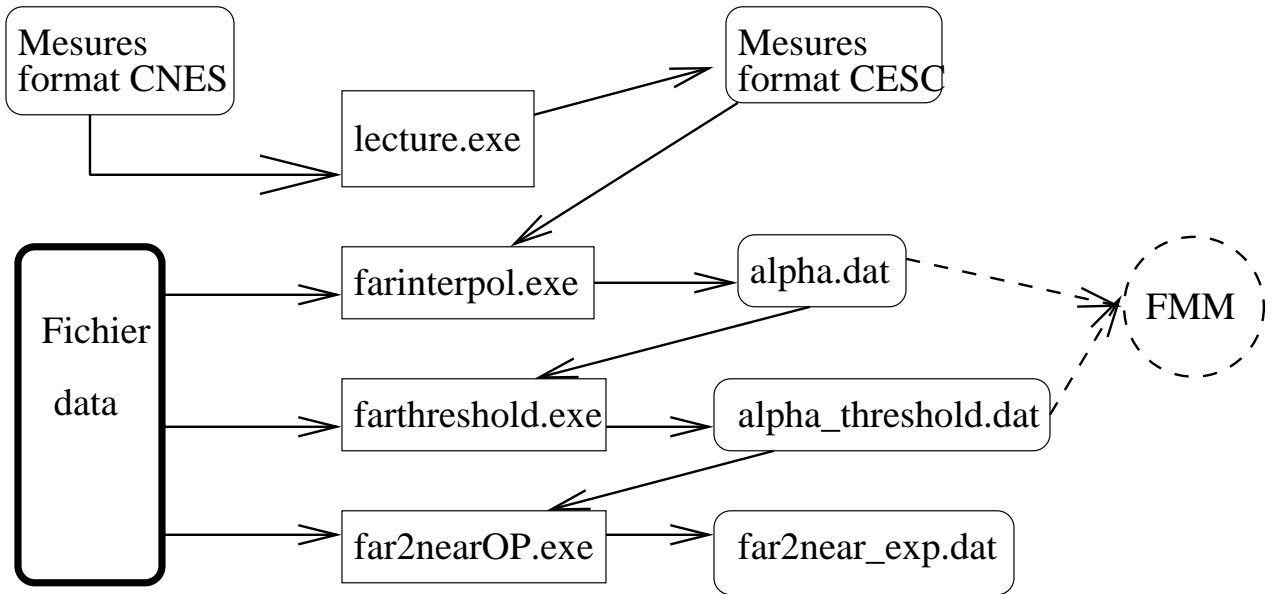
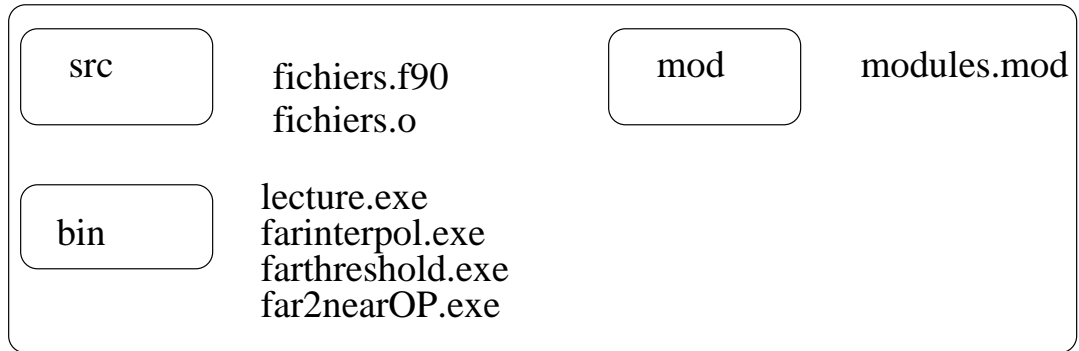


FIG. 1 – Organigramme

- le fichier de mesures au format initial
- l'exécutable `lecture.exe` va permettre de modifier le format initial en passant au format standard de CESC
- l'exécutable `farinterpol.exe` permet de calculer les coefficients d'interpolation
- l'exécutable `farthreshold.exe` permet d'éliminer les coefficients d'interpolation trop petits
- l'exécutable `far2near_OP.exe` utilise l'approche issue de l'optique physique pour calculer le champ proche sur un obstacle choisi. Le fichier de sortie pourra être comparé à celui fourni par la méthode FMM lorsque la distance antenne-satellite est proche de 2 longueurs d'onde.

La figure 1 décrit succinctement le fonctionnement général et la figure 2 donne la liste des répertoires et leur contenu.

**Remarque 2.1** *Les exécutables utilisent tous le même fichier d'entrée : le fichier `data`.*



Fichier data

makefile

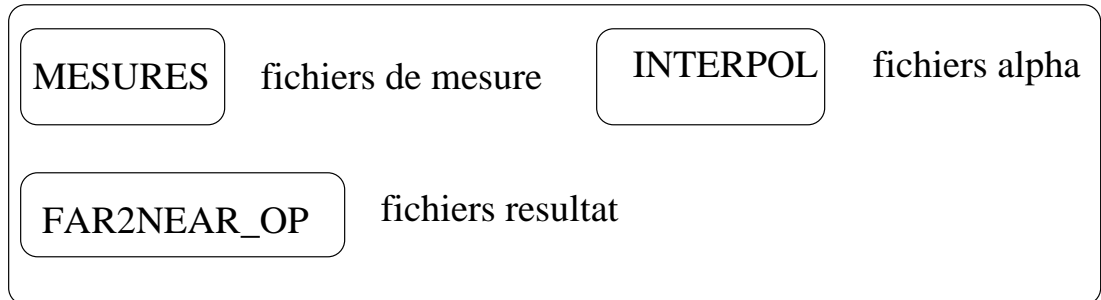


FIG. 2 – Organisation des répertoires

Les différentes étapes de calcul sont détaillées dans les paragraphes suivants.

### 3 Mise au format des fichiers de mesure

Le champ lointain est donné par des mesures. Pour différentes valeurs des angles  $\theta$  et  $\phi$ , sont fournies l'amplitude et la phase des composantes  $E_{\infty,\theta}$  et  $E_{\infty,\phi}$ . Dans ces fichiers de mesure, l'angle  $\theta$  varie de  $-\pi$  à  $\pi$  et  $\phi$  de 0 à  $\pi$ . Nous avons donc effectué une transformation de manière à nous retrouver dans la situation (plus classique pour nous)  $\theta \in [0; \pi]$  et  $\phi \in [0; 2\pi]$ . De plus, nous faisons l'hypothèse suivante : le pas de mesure suivant  $\theta$  et  $\varphi$  est constant au cours du temps. Un premier exécutable permet de transformer le fichier de mesure en un fichier standard au format CESC.

**Remarque 3.1** *Pour revenir aux angles du standard "CESC" (notés  $\theta$  et  $\phi$ ), nous effectuons à partir des angles  $\theta'$  et  $\phi'$  la transformation suivante*

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{si } \theta' \in [0; \pi] \text{ et } \phi' \in [0; \pi] \rightarrow \theta = \theta' \text{ et } \phi = \phi' \\ \text{si } \theta' \in [-\pi; \pi] \text{ et } \phi' \in [0; \pi] \rightarrow \theta = -\theta' \text{ et } \phi = \phi' + \pi \text{ avec le changement} \\ \text{de signe : } E_{\theta}(-\theta', \pi + \phi') = -E_{\theta}(\theta, \phi) \quad E_{\phi}(-\theta', \pi + \phi') = -E_{\phi}(\theta, \phi) \end{array} \right. \quad (1)$$

1. Il faut remplir le fichier de données `data` avec les champs précisés ci-dessous. La première ligne de ce fichier indique que le champ lointain est donné par des mesures. L'utilisateur a la possibilité de choisir un dipôle et dans ce cas, la direction du dipôle doit être indiquée, cf. section 4.

```
##Entree: source = mesures ou dipole
mesures
##Direction du dipole si source=dipole
0.0 0.0 1.0
##Nom du fichier d'entree contenant les mesures
MESURES/COUPES.dat
##Nom du fichier de sortie au format CNES :
theta ds [-180, 180] et phi [0, 180]
MESURES/field_CNES.dat
##Nom du fichier de sortie au format CESC :
theta ds [0, 180] et phi [0, 360]: stock_read
MESURES/field_CESC.dat
##Nombre d'angles theta = Ntheta pour le format CESC
avec theta ds [0, 180]
181
##Nombre d'angles phi= Nphi pour le format CESC
```

```
avec phi [0,360[(360 non compris)
8
```

2. Lancer la compilation puis l'exécution :

```
> make (ou gmake) lecture.exe
> bin/lecture.exe
```

Le fichier de COUPES initial comprend 6 colonnes :

- les deux premières colonnes donnent les valeurs de  $\theta$  et  $\phi$  en degrés
- la 3ème et la 4ème colonne donnent l'amplitude et la phase de  $E_{\infty,\theta}$
- la 5ème et la 6ème colonne donnent l'amplitude et la phase de  $E_{\infty,\phi}$

L'exécution de `lecture.exe` va créer 2 fichiers (a priori dans le répertoire MESURES) :

- `field_CNES.dat` qui contient le champ de mesure  $(E_{\infty,\theta}, E_{\infty,\phi})$  au format initial du CNES, c'est à dire avec les angles  $\theta \in [-180, 180]$  et  $\varphi \in [0, 180]$ . Les 6 colonnes de ce fichier donnent respectivement les angles  $\theta$  et  $\phi$  en degrés puis la partie réelle et imaginaire de  $E_{\infty,\theta}$  (colonnes 3 et 4) puis de  $E_{\infty,\phi}$  (colonnes 5 et 6).
- `field_CESC.dat` qui contient les angles (colonnes 1 et 2), les parties réelles et imaginaires de  $E_{\infty,\theta}$  (colonnes 3 et 4) et  $E_{\infty,\phi}$  (colonnes 5 et 6) au format CESC, c'est à dire avec les angles  $\theta \in [0, 180]$  et  $\varphi \in [0, 360]$ . Les trois premières lignes de ce fichier contiennent les informations suivantes :

```
%Ntheta Nphi
% 181 8
% 0.17453E-01 0.78540E+00
```

qui représentent le nombre d'angles  $\theta$  et  $\varphi$  et le pas (en radians) dans chacune des deux directions. Ces informations seront lues lors de l'interpolation.

## 4 Le champ lointain est créé par un dipôle

Nous avons la possibilité d'utiliser un dipôle comme source : pour cela il suffit de rentrer les deux lignes dans le fichier `data`

```
##Entree: source = mesures ou dipole
dipole
```

##Direction du dipole si source=dipole  
0.0 0.0 1.0

Dans ce cas, la mise au format des fichiers est inutile. Après avoir rempli le fichier `data`, l'utilisateur peut lancer directement la procédure d'interpolation.

## 5 Interpolation du champ lointain

Le champ lointain peut se décomposer dans la base des harmoniques sphériques [1] sous la forme

$$E_{\infty,i\hat{s}} = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^l \alpha_{l,m,i} Y_{l,m}\hat{s}, \text{ avec } i = x, y, z \quad (2)$$

pour une direction quelconque  $\hat{s}$  sur la sphère unité. L'interpolation du champ revient à calculer les coefficients  $\alpha_{l,m,i}$  à partir des valeurs mesurées du champ. Rappelons le calcul de ces coefficients au niveau continu

$$\begin{aligned} \vec{\alpha}_{l,m} &= \int_{\mathcal{S}} Y_{l,m}^* \vec{E}_{\infty}(\hat{s}) dS \\ &= \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} c_{l,m} P_l^{|m|}(\cos \theta) e^{-im\phi} \vec{E}_{\infty}(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi, \end{aligned} \quad (3)$$

et au niveau discret

$$\vec{\alpha}_{l,m} = \frac{\pi}{N_{\theta}} \sum_{i=1}^{i=N_{\theta}} w_i P_l^{|m|}(\cos i_{\theta}) \vec{K}_{\theta}^m(i_{\theta}) \sin i_{\theta} \quad (4)$$

avec les notations suivantes :

$$c_{l,m} = \sqrt{\frac{2l+1}{4\pi} \frac{(l-|m|)!}{(l+|m|)!}}$$

$\vec{K}_{\theta}^m$ , la quantité qui résulte de l'intégration en  $\phi$

$$\vec{K}_{\theta}^m = \frac{2\pi}{N_{\phi}} \sum_{j=1}^{j=N_{\phi}} \vec{E}_{\infty}(\theta, j_{\phi}) e^{-imj_{\phi}}. \quad (5)$$

Les poids de Legendre  $w_i$  sont solution d'un système linéaire que l'on résout (factorisation LU ou QR). La discrétisation de l'angle  $\theta$  est donnée par  $i_\theta = (i - 1)\Delta_\theta$  et celle de l'angle  $\varphi$  par  $j_\phi = (j - 1)\Delta_\phi$ .

Au niveau du code d'interpolation, nous avons les étapes suivantes.

1. Des informations sont à remplir dans le fichier `data` à la suite des informations précédemment données.

```
##Nombre d'onde wavenumber
13.0d0
##Ecriture du champ recompose si bavard_recomp=1 ou 0
0
##Fichier ds stock_recomp si bavard_recomp=1
INTERPOL/fichier_recomp
##Pour la comparaison sur matlab bavard_matlab=1 ou 0
0
##fichier initial ds stock_matlab_in si bavard_matlab=1
(Composante E_x)
INTERPOL/fin
##fichier recompose ds stock_matlab_out si bavard_matlab=1
(Composante E_x)
INTERPOL/fout
##Ecriture des alpha si bavard_alpha=1 sinon 0
1
##Fichier pour ecrire les alpha ds stock_alpha si bavard_alpha=1
INTERPOL/alpha.dat
```

L'utilisateur doit préciser le nombre d'onde relatif à la fréquence du problème. Les 5 cartes suivantes permettent d'écrire (ou non) le champ initial et le champ recomposé (composante  $E_{\infty,x}$ ) à partir des coefficients calculés dans un format lisible par Matlab. Il faut alors préciser le nom de ces fichiers (et le répertoire). Enfin, les deux dernières informations permettent d'écrire (ou non) les coefficients  $\alpha_{l,m,i}$  dans un fichier dont le nom est à préciser. Le nom du fichier d'entrée du champ lointain est donné par la variable `stock_read` et correspond aux mesures stockées au format CESC.

2. Lancer la compilation et le calcul d'interpolation :

```
> make (ou gmake) farinterpol.exe
> bin/farinterpol.exe
```

Un calcul de validation est fait pour chacune des composantes  $\alpha_{l,m,i}$ . Il s'agit de vérifier l'égalité de Parseval

$$\sum_{l=1}^{l_{\max}} \sum_{m=-l}^{m=l} |\vec{\alpha}_{l,m}|^2 = \int_S |\vec{E}_{\infty}|^2 dS, \quad (6)$$

ou encore au niveau discret, par exemple pour la composante  $x$

$$\sum_{l=1}^{l_{\max}} \sum_{m=-l}^{m=l} |\alpha_{l,m,x}|^2 = \Delta_{\theta} \Delta_{\phi} \sum_{i=1}^{N_{\theta}} w_i \sum_{j=1}^{N_{\phi}} |E_{\infty,x}(i_{\theta}, j_{\phi})|^2 \sin i_{\theta}. \quad (7)$$

A partir de la connaissance des coefficients  $\vec{\alpha}_{l,m}$ , nous sommes capables de déterminer le champ lointain en particulier pour tous les points de la sphère unité.

3. Le fichier de sortie `alpha.dat` (a priori dans le répertoire INTERPOL) contient les informations suivantes :
  - sur la première ligne  
**Component with factor (ikZ0/(4\*pi) (and P1|m|)**  
 signifie que la constante de normalisation est  $ikZ0/(4\pi)$  et que la définition des fonctions de Legendre est donnée par

$$\forall \theta \in [0; \pi] \text{ et } \forall \phi \in [0; 2\pi],$$

$$Y_{l,m}(\theta, \phi) = \sqrt{\frac{2l+1}{4\pi} \frac{(l-|m|)!}{(l+|m|)!}} P_l^{|m|}(\cos \theta) e^{im\phi}. \quad (8)$$

- la deuxième ligne rappelle la valeur du nombre d'onde, les valeurs de  $l_{\max}$  et  $m_{\max}$  relatif à la discrétisation des  $\alpha_{l,m,i}$   
`k= 13.000 lmax= 180 mmax= 3`
  - les  $l_{\max} \times m_{\max}$  lignes suivantes ont pour format  
 $l \quad m \quad \Re(\alpha_{l,m,i}) \quad \Im(\alpha_{l,m,i})$ .
- Les valeurs de  $\alpha_{l,m,x}$  sont données en premier ( $l_{\max} \times m_{\max}$  premières lignes), puis suivent celles de  $\alpha_{l,m,y}$  et de  $\alpha_{l,m,z}$ .

## 6 Procédure de seuillage

Les coefficients  $\vec{\alpha}_{l,m}$  ont une décroissance rapide vers 0 lorsque les indices  $l$  et  $m$  augmentent. Nous cherchons donc à éliminer ces coefficients trop

“petits” qui n’apportent pas de nouvelle information “importante” dans la recombinaison du champ. D’un point de vue pratique, nous effectuons un seuillage pour chaque composante  $\alpha_{l,m,i}$  suivant le critère

$$\alpha_{l,m,i} = \begin{cases} \alpha_{l,m,i} & \text{si } \alpha_{l,m,i} \geq \beta \sup_{l,m}(\alpha_{l,m,i}) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (9)$$

où  $\beta$  est un paramètre choisi par l’utilisateur. La procédure de seuillage calcule plusieurs erreurs :

- l’erreur relative entre le champ initial et le champ recomposé sans procédure de seuillage
- l’erreur relative entre le champ initial et le champ recomposé avec seuillage.

En fonction de ces deux erreurs, on peut juger de la valeur du paramètre  $\beta$  choisi.

Au niveau du code de seuillage, on distingue les étapes suivantes.

1. Des informations sont à remplir dans le fichier `data` à la suite des informations précédemment données.

```
##Fichier contenant les alpha apres seuillage
INTERPOL/alpha_threshold.dat
##Parametre de seuillage pour les alpha threshold
1.0e-4
```

Ces données permettent de préciser le nom du fichier où seront stockés les coefficients  $\alpha_{l,m,i}$  après le seuillage (ce fichier constituera le fichier d’entrée pour le calcul de l’interaction de l’antenne avec le satellite pour la méthode FMM) ainsi que la valeur du paramètre  $\beta$ .

2. Lancer la compilation et la procédure de seuillage :

```
> make (ou gmake) farthreshold.exe
> bin/farthreshold.exe
```

3. Les premières lignes du fichier `alpha_threshold.dat` (a priori dans le répertoire `INTERPOL`) donnent les informations suivantes :

```
Nouvelle Composante apres seuillage avec le facteur (ikZ0/(4*pi)
et Pml avec abs(m)
k= 13.000 lmax= 21 mmax= 3
```

qui correspondent aux nouvelles valeurs des paramètres  $l_{\max}$  et  $m_{\max}$  relatifs à chacune des composantes  $\alpha_{l,m,i}$ .

**Remarque 6.1** *Concernant le choix du paramètre de seuillage : il a été constaté (page 16 du rapport [3]) de manière empirique qu'imposer une erreur relative (champ initial / champ recomposé) inférieure à 0.2% sur chaque composante du champ permettait de fixer correctement la valeur de  $\beta$  (pour obtenir le second membre du système avec la méthode FMM).*

## 7 Calcul du champ sur l'antenne par l'approche Optique Physique

Lorsque l'antenne est suffisamment éloignée du satellite, nous avons vu dans les rapports précédents que nous pouvions utiliser la formule exponentielle suivante

$$F_i(r, \theta, \varphi) = \frac{e^{ikr}}{r} \sum_{l=0}^{l_{\max}} \sum_{m=-l}^l \alpha_{l,m,i} Y_{l,m}(\theta, \phi) \quad (10)$$

pour calculer la composante  $i$  du champ en un point  $(r, \theta, \varphi)$  à la surface du satellite. Rappelons que la distance  $r$  est mesurée par rapport au centre de l'antenne.

Au niveau du code de calcul, nous avons différentes étapes.

1. Des informations sont à remplir dans le fichier `data` à la suite des informations précédemment données.

```
##Objet ou l'on veut calculer le champ = satellite :
  maillage ds .Geom
sphere270
##Ou veut t'on recuperer le potentiel: ddl, sommet, cmasse, line
ddl
##type_compute_alpha = lecture (=2) ou calcul des alpha (=1)
pour calculer le champ proche (EXP)
2
##Fichier ou lire les coefficients alpha = 'read_alpha'
pour calculer le champ proche en EXP
alpha_threshold.dat
##Position de l'antenne x, y, z
0. 0. 0.
##Rotation antenne: thetaphi (en deg)
```

```

ou psi (donner vect depart - vect arrivee)
psi
1.d0 0.d0 0.d0 1.d0 0.d0 0.d0

```

Ces informations correspondent au nom du fichier de maillage du satellite (format .Geom) : le chemin d'accès au fichier de géométrie est défini à l'aide de la variable d'environnement CESC\_GEOM.

Le calcul du champ peut se faire aux degrés de liberté (arêtes du maillage), aux sommets des triangles, au centre de masse de chaque triangle ou encore sur une ligne dont les coordonnées seront précisées dans le fichier COMP\_NEAR\_POINTS.in. L'utilisateur peut recalculer les coefficients  $\alpha_{l,m,i}$  ou bien les lire dans un fichier dont le nom est à préciser (en général alpha.dat ou alpha\_threshold.dat) La position de l'antenne est donnée et correspond au centre de phase. Il est également possible de faire tourner l'antenne en précisant soit les angles ( $\theta$  et  $\varphi$ ) soit la transformation d'un vecteur avant et après la rotation.

2. Lancer la compilation et le calcul du champ proche :

```

> make (ou gmake) far2nearOP.exe
> bin/far2nearOP.exe

```

Le fichier de sortie far2near\_exp.dat (dans le répertoire FAR2NEAR\_OP) est créé et contient les valeurs du champ (flux) pour chaque degré de liberté.

**Remarque 7.1** *Les valeurs du flux obtenues par cette méthode pourront être comparées aux valeurs du potentiel calculé par la méthode FMM, en particulier lorsque la distance antenne-satellite est supérieure à  $2\lambda$ .*

## 8 Validation sur un exemple

Le CNES a mis à notre disposition deux fichiers de champ lointain COUPES1 et COUPES2; le premier est issu de mesures d'antenne en zone lointaine et le deuxième est obtenu par des simulations. Pour différentes valeurs de  $\theta$  et de  $\phi$ , sont fournies l'amplitude et la phase des composantes  $E_{\infty,\theta}$  et  $E_{\infty,\phi}$ . Nous avons choisi de valider les différentes étapes (lecture avec mise au format, interpolation, seuillage, approche OP) à partir du fichier COUPES1.dat.

## 8.1 La lecture et la mise au format

1. les premières lignes du fichier COUPES1.dat

```
-179.992  0.044  0.106214  -21.819202  0.314248  50.972314
-179.047  0.044  0.089261  -19.348016  0.288432  49.420624
-178.038  0.044  0.073804  -16.284882  0.263257  47.850598
-177.032  0.044  0.059712  -10.597986  0.236821  46.390009
```

2. le fichier data

```
##Entree: source = mesures ou dipole
mesures
##Direction du dipole si source=dipole
0.0 0.0 1.0
##Nom du fichier d'entree contenant les mesures
MESURES/COUPES1.dat
##Nom du fichier de sortie au format CNES :
theta ds [-180, 180] et phi [0, 180]
MESURES/field_CNES1.dat
##Nom du fichier de sortie au format CESC :
theta ds [0, 180] et phi [0, 360]: stock_read
MESURES/field_CESC1.dat
##Nombre d'angles theta = Ntheta pour le format CESC
avec theta ds [0, 180]
181
##Nombre d'angles phi= Nphi pour le format CESC
avec phi [0,360[(360 non compris)
8
```

3. on lance bin/lecture.exe

4. les écritures à l'écran

```
Les donnees theta, phi, Etheta et Ephi
ont ete lues dans le fichier MESURES/COUPES1.dat
et ecrites dans le fichier CNES MESURES/field_CNES1.dat
et ecrites pour le farfield CESC dans le fichier
MESURES/field_CESC1.dat
```

```
-----
Pour l'écriture au format CESC
Ntheta = 181
Nphi = 8
```

Pas en theta = 1.

Pas en phi = 45.

```
-----
Les indices (entier) vont varier de
pour i de 0 a 180 avec un pas = 1
pour j de 0 a 315 avec un pas = 45
-----
```

5. les premières lignes du fichier de sortie MESURES/field\_CNES1.dat

```
-179.992  0.044  0.98605E-01 -0.39478E-01  0.19788E+00  0.24412E+00
-179.047  0.044  0.84220E-01 -0.29573E-01  0.18763E+00  0.21907E+00
-178.038  0.044  0.70843E-01 -0.20696E-01  0.17666E+00  0.19518E+00
-177.032  0.044  0.58693E-01 -0.10982E-01  0.16335E+00  0.17147E+00
```

6. les premières lignes du fichier de sortie MESURES/field\_CESC1.dat

```
%Ntheta  Nphi
%  181      8
%  0.17453E-01  0.78540E+00
0  0  -0.63240E+00      0.17563E+01      0.16760E+01      0.55567E-01
1  0  -0.61681E+00      0.17601E+01      0.16738E+01      0.68699E-01
2  0  -0.60331E+00      0.17607E+01      0.16701E+01      0.83607E-01
```

## 8.2 L'interpolation

1. le fichier data avec les informations supplémentaires

```
##Nombre d'onde wavenumber
1.50d0
##Ecriture du champ recompose si bavard_recomp=1 ou 0
0
##Fichier ds stock_recomp si bavard_recomp=1
INTERPOL/fichier_recomp
##Pour la comparaison sur matlab bavard_matlab=1 ou 0
0
##fichier initial ds stock_matlab_in si bavard_matlab=1
(Composante E_x)
INTERPOL/fin
##fichier recompose ds stock_matlab_out si bavard_matlab=1
(Composante E_x)
INTERPOL/fout
```

```
##Ecriture des alpha si bavard_alpha=1 sinon 0
1
##Fichier pour ecrire les alpha ds stock_alpha si bavard_alpha=1
INTERPOL/alpha.dat
```

2. on lance bin/farinterpol.exe
3. les écritures à l'écran

```
-----
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
READ DATA
-----
Le fichiers de mesures initial est MESURES/COUPES1.dat
mis au format pour CESC sous le nom MESURES/field_CESC1.dat
La decomposition du champ est donnee avec
181 angles theta et 8 angles phi

Le nombre d'onde est 1.5
La frequence est de 71619724.391352907 Hertz
-----
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
COMPUTE ALPHA COEFFICIENTS
-----
MESURES/field_CESC1.dat
Read the farfield in file MESURES/field_CESC1.dat
Ntheta 181 Nphi 8
discretisation step for theta (degrees)= 0.9999832398418258
discretisation step for phi (degrees)= 45.000105229574849
Lmax= 180
Mmax= 3
Write alpha(l,m) in file INTERPOL/alpha.dat
Warning: definition of Pml with abs(m)
--- > For component alpha_x
Parseval: verification of the equality for the component of alpha
first sum (alpha)= 2.2384393617904133
second sum (field)= 2.2500062883084624
Relative Parseval error (en %)== -0.51674066831979504
--- > For component alpha_y
Parseval: verification of the equality for the component of alpha
```

```

first sum (alpha)= 2.1080772348857741
second sum (field)= 2.1199937385084509
Relative Parseval error (en %)== -0.56527832213521356

--- > For component  alpha_z
Parseval: verification of the equality for the component of alpha
first sum (alpha)= 1.3907182320655542
second sum (field)= 1.4080009676042082
Relative Parseval error (en %)== -1.2427201384269584
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
RECONSTRUCTED FIELD FOR COMPARISON
-----
For recomposition on the sphere
we use  181  angles theta
we use   8  angles phi
Recomposition of  Ex, Ey and  Ez
Lmax= 180 Lmax_local= 180
Mmax=  3 Mmax_local  3
Lmax= 180 Lmax_local= 180
Mmax=  3 Mmax_local  3
Lmax= 180 Lmax_local= 180
Mmax=  3 Mmax_local  3
--> Write in file component  Ex
*****
Write a component of the field
discretisation  step for theta (degrees)=  1.
discretisation  step for phi (degrees)= 45.
*****

```

Nous avons vérifié l'égalité de Parseval pour chaque composante. On donne chacune des deux sommes et l'erreur relative en % de la différence.

4. les premières lignes du fichier INTERPOL/alpha.dat qui correspondent à la partie réelle et imaginaire de  $\alpha_{l,m,x}$

```

Component with factor (ikZ0/(4*pi) (and P1|m|)
k=   1.500  lmax=  180  mmax=   3
    0   -3   0.00000E+00   0.00000E+00
    0   -2   0.00000E+00   0.00000E+00

```

```

0  -1  0.00000E+00  0.00000E+00
0   0 -0.13384E+01  0.44052E+00

```

### 8.3 La procédure de seuillage

1. le fichier data avec les informations supplémentaires

```

##Fichier contenant les alpha apres seuillage
INTERPOL/alpha_threshold.dat
##Parametre de seuillage pour les alpha threshold
1.0e-2

```

2. on lance bin/farthreshold.exe qui va lire le fichier alpha.dat
3. les écritures à l'écran

```

Le fichiers de mesures initial est MESURES/COUPES1.dat
mis au format pour CESC sous le nom MESURES/field_CESC1.dat
La decomposition du champ est donnee avec
181 angles theta et 8 angles phi

```

```

Le nombre d'onde est 1.5
La frequence est de 71619724.391352907 Hertz
Read the alpha coefficients in file INTERPOL/alpha.dat
In file INTERPOL/alpha.dat
k= 1.5
lmax= 180 and mmax= 3
Threshold in data file = 1.00000000000000002E-2
Value of Threshold = max(alpha)*threshold_param
                    = 1.4090324447648463E-2

```

```

-----
THRESHOLD
-----

```

```

Pour alpha_x, lmax= 21 mmax= 3
Pour alpha_y, lmax= 15 mmax= 3
Pour alpha_z, lmax= 20 mmax= 3

```

```

Choix indice lmax 21
Choix indice mmax 3

```

```

-----
WRITE COEFFICIENTS ALPHA AFTER THRESHOLD

```

```

-----
Write the threshold alpha coefficients
in file INTERPOL/alpha_threshold.dat
Warning: definition of Pml with abs(m)
Warning: factor ik/(4*pi)*Z0
-----
FARFIELD COMPUTATION ERROR (OPTIONAL)
-----
Read the farfield in file MESURES/field_CESC1.dat
Ntheta 181 Nphi 8
discretisation step for theta (degrees)= 0.9999832398418258
discretisation step for phi (degrees)= 45.000105229574849
Lmax= 180 Lmax_local= 180
Mmax= 3 Mmax_local 3
Lmax= 180 Lmax_local= 180
Mmax= 3 Mmax_local 3
Lmax= 180 Lmax_local= 180
Mmax= 3 Mmax_local 3
Lmax= 180 Lmax_local= 21
Mmax= 3 Mmax_local 3
Lmax= 180 Lmax_local= 21
Mmax= 3 Mmax_local 3
Lmax= 180 Lmax_local= 21
Mmax= 3 Mmax_local 3
-----
RELATIVE ERROR(L^2) with threshold in 1.00000000000000002E-2
-----
Error: FAR Field initial - Recompose Field with all coefficients alpha
On composant x : 7.09589573856013 %
On composant y : 7.4946179000076354 %
On composant z : 14.507510780848168 %
Error: FAR Field initial - Recompose Field with threshold coefficients a
On composant x : 7.493292960630936 %
On composant y : 7.8906389519423259 %
On composant z : 15.089909941255675 %

```

4. les premières lignes de INTERPOL/alpha\_threshold.dat

Nouvelle Composante apres seuillage avec le facteur (ikZ0/(4\*pi))

```

et Pml avec abs(m)
k=   1.500  lmax=   21  mmax=    3
    0   -3   0.00000E+00  0.00000E+00
    0   -2   0.00000E+00  0.00000E+00
    0   -1   0.00000E+00  0.00000E+00
    0    0  -0.13384E+01  0.44052E+00
    0    1   0.00000E+00  0.00000E+00

```

- la conclusion : le seuillage avec un paramètre  $\beta = 10^{-2}$  permet de diminuer le nombre de coefficients :  $l_{\max}$  passe de 180 à 21 et  $m_{\max}$  reste égal à 3. On voit que seule l'erreur sur la composante  $E_z$  du champ augmente légèrement en passant de 14.5% à 15.08%. Il est à préciser ici que les erreurs sont très importantes : ceci est dû au fait que le pas d'échantillonnage suivant l'angle  $\phi$  est trop grand (45 degrés).

## 8.4 Calcul du champ par la formule de l'optique physique

- le fichier data contient les lignes supplémentaires

```

##Objet ou l'on veut calculer le champ = satellite:maillage ds .Geom
sphere270
##Ou veut t'on recuperer le potentiel: ddl, sommet, cmasse,line
ddl
##type_compute_alpha = lecture (=2) ou calcul des alpha (=1)
pour calculer le champ proche (EXP)
2
##Fichier ou lire les coefficients alpha = 'read_alpha'
pour calculer le champ proche en EXP
INTERPOL/alpha_threshold.dat
##Position de l'antenne x, y, z
0. 0. 0.
##Rotation antenne: thetaphi (en deg) ou psi
(donner vect depart - vect arrivee)
psi
1.d0 0.d0 0.d0 1.d0 0.d0 0.d0

```

- on lance le code bin/far2nearOP.exe
- les écritures à l'écran

Le fichiers de mesures initial est MESURES/COUPES1.dat  
 mis au format pour CESC sous le nom MESURES/field\_CESC1.dat  
 La decomposition du champ est donnee avec  
 181 angles theta et 8 angles phi

Le nombre d'onde est 1.5  
 La frequence est de 71619724.391352907 Hertz  
 !!!  
 READ OR COMPUTE ALPHA COEFFICIENTS

-----  
 Read the alpha\_coefficients in INTERPOL/alpha\_threshold.dat  
 wavenumber k= 1.5  
 lmax= 21  
 mmax= 3

-----  
 !!!  
 READ CHARACTERISTICS OF THE ANTENNA : POSITION

-----  
 Les deux vecteurs sont colineaires, la matrice de rotation=identite  
 Matrice de rotation avec un seul angle  
 1.00 0.00 0.00  
 0.00 1.00 0.00  
 0.00 0.00 1.00

La position de l'antenne ds le nouveau repere tourne 3\*0.E+0

=====  
 CONSTRUCTION OF THE MESH FOR THE OBSTACLE..  
 =====

The geometrical file is sphere270

Number of edges	:	270
Number of dof	:	270
Number of triangles	:	180
Number of nodes	:	92

Min and max lenghts of the edges	:	0.349E+00	0.412E+00
Coordinates of the center of mass		-.114E-17	0.425E-16 0.914E-17

```
Read the number of gauss points (1 or 3 only)
NPG is directly done in the code with NPG= 3
The computed field on the obstacle with the EXP method
(Optical Physic approach) is written
in file : FAR2NEAR_OP/far2near_exp.dat
```

4. les premières lignes du fichier FAR2NEAR\_OP/far2near\_exp.dat

```
1  0.37224E-01    0.10276E+00
2  0.74703E-01   -0.17156E+00
3 -0.79364E-01    0.39897E-01
4  0.12622E+00    0.29160E+00
5  0.51804E-01   -0.34144E+00
```

## Références

- [1] N. Bartoli. Etude de l'interaction d'une antenne et d'une structure métallique par la "Fast Multipole Method". Technical Report TR/EMC/01/70, CERFACS, Toulouse, France, 2001.
- [2] N. Bartoli and F. Collino. Etude de l'interaction d'une antenne et d'une structure métallique par la "Fast Multipole Method - partie 2". Contract Report CR/EMC/02/8, CERFACS, Toulouse, France, 2001.
- [3] N. Bartoli, F. Collino, and F. Dodu. Etude de l'interaction d'une antenne et d'une structure métallique par la "Fast Multipole Method - partie 3". Contract Report CR/EMC/02/101, CERFACS, Toulouse, France, 2002.