

## IEROS

### MANUEL D'UTILISATION

#### 0.- INTRODUCTION

Les équations qui régissent la propagation des ondes acoustiques, électromagnétiques ou élastiques dans des milieux homogènes et isotropes sont invariantes par rotation. Il s'ensuit qu'un problème dans lequel la géométrie, c'est-à-dire les surfaces de séparation entre deux milieux, possède la symétrie de révolution autour d'un axe  $Oz$ , peut se décomposer en autant de problèmes indépendants dans chaque sous-espace propre des opérateurs de rotation autour de  $Oz$ . Si les sources ont une dépendance azimutale en  $\exp(in\vartheta)$ , où  $n$  est un entier, il en est de même des champs ; de plus les équations sont invariantes par parité, de sorte que le sous-problème de nombre azimutal  $n$  se décompose à son tour en deux sous-problèmes dans lesquels chaque champ a une dépendance azimutale en  $\cos n\vartheta$  ou en  $\sin n\vartheta$ , selon une combinaison qui dépend de la parité intrinsèque des champs. Naturellement cette séparation est relative à un choix de l'origine des azimuts, lorsqu'on en change les nouvelles solutions de parité donnée sont des combinaisons linéaires des deux anciennes.

La décomposition des problèmes se fait par analyse de Fourier de l'ensemble des variables selon l'angle azimutal. Les équations intégrales qui donnent la solution des problèmes de rayonnement et de diffusion portent alors sur des fonctions inconnues d'une seule variable  $s$ , l'abscisse curviligne du point courant de la méridienne d'une surface de séparation ; on n'a donc besoin pour les résoudre que de discrétiser des courbes et non des surfaces.

Le code IEROS fonctionne en régime harmonique. Il résout un système d'équations intégrales qui fournit les sources secondaires résultant de l'excitation donnée. Il calcule le rapport d'onde stationnaire ou la matrice  $S$ , les courants équivalents sur les dioptrés, les diagrammes de champ lointain et le champ proche sur des surfaces choisies par l'utilisateur.

Les excitations sont de trois types : par guide d'onde mono- ou multi-mode, par onde plane ou par surface de Huygens (surface entourant la structure, sur laquelle les champs sont donnés). Pour les ondes planes seule la composante de nombre azimutal 1 est calculée, ce qui ne donne le résultat complet que pour l'incidence axiale.

## 1.- DEFINITIONS ET CONVENTIONS

### Choix des axes

Dans chaque exécution de IEROS le nombre azimutal  $n$  est fixé. Actuellement 0 ou 1.

L'axe de révolution est Oz. La coordonnée radiale est  $\rho$ , la coordonnée azimutale  $\vartheta$

On choisit un trièdre cartésien dont le troisième vecteur de base est le vecteur unitaire porté par l'axe de révolution Oz, et le premier est dans le plan origine des azimuts. Ainsi dans le plan d'azimut  $\vartheta$  les vecteurs du repère attaché à un point en coordonnées cylindriques sont les transformés par rotation de ces trois vecteurs, soit :

$$\hat{e}_{1\vartheta} = \cos \vartheta \hat{e}_1 + \sin \vartheta \hat{e}_2 \quad \hat{e}_{2\vartheta} = -\sin \vartheta \hat{e}_1 + \cos \vartheta \hat{e}_2 \quad \hat{e}_3 \quad (1-1)$$

Un vecteur se décompose en une partie longitudinale située dans le plan méridien, et une partie transverse ou azimutale. La polarisation de l'onde guidée ou de l'onde plane excitatrice est supposée linéaire, le plan de polarisation électrique est celui où la composante radiale du champ électrique de cette onde est maximum. Par convention dans IEROS pour  $n = 1$  le plan méridien origine d'azimut nul est le plan H, plan de symétrie pour le champ magnétique, sauf pour le nombre azimutal nul. Donc :

les composantes longitudinales de H sont en  $\cos \vartheta$ , la composante transverse en  $\sin \vartheta$  ;

les composantes longitudinales de E sont en  $\sin \vartheta$ , la composante transverse en  $\cos \vartheta$  ;

pour  $n = 0$  c'est l'inverse.

pour  $n = 1$ , sur une surface de révolution où l'abscisse curviligne le long de la méridienne est notée  $s$  les champs ont l'expression suivante :

$$\begin{aligned} E(s, \vartheta) &= E_1(s) \sin \vartheta \hat{e}_{1\vartheta} + E_2(s) \cos \vartheta \hat{e}_{2\vartheta} + E_3(s) \sin \vartheta \hat{e}_3 \\ H(s, \vartheta) &= H_1(s) \cos \vartheta \hat{e}_{1\vartheta} + H_2(s) \sin \vartheta \hat{e}_{2\vartheta} + H_3(s) \cos \vartheta \hat{e}_3 \end{aligned} \quad (1-2)$$

$$\begin{aligned} E \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} (s) &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} E \cdot \hat{e} \begin{pmatrix} 1\vartheta \\ 2\vartheta \\ 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sin \vartheta \\ \cos \vartheta \\ \sin \vartheta \end{pmatrix} d\vartheta & H \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} (s) &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} H \cdot \hat{e} \begin{pmatrix} 1\vartheta \\ 2\vartheta \\ 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \vartheta \\ \sin \vartheta \\ \cos \vartheta \end{pmatrix} d\vartheta \end{aligned}$$

Les courants électriques resp. magnétiques ont le même développement que les champs de même type.

### Notations et unités

Les courants et les champs sont en unités SI.

Pour l'excitation par un guide d'onde le champ incident sur la section d'entrée du guide correspond à un flux de puissance de 1 W lorsque la longueur d'onde est de 1 m, c'est-à-dire à un flux de puissance en W égal au carré de la longueur d'onde exprimée en m.

Dans un problème à symétrie de révolution, l'indice  $L$  désigne les composantes situées dans le plan méridien, l'indice  $T$  la composante azimutale ou transverse.

Pour la résolution du système les calculs sont effectués en coordonnées réduites pour la longueur d'onde dans le vide correspondant à la fréquence de travail. La discrétisation est plus serrée en termes de longueur d'onde du milieu dans les autres milieux.

Dans l'excitation par un guide d'onde les courants équivalents sur la section du guide, supposée dans le vide, correspondent à un flux de puissance de 1 W.

## 2.- ARCHITECTURE DU CODE

Les données de Ieros consistent en une géométrie (ensemble de surfaces décrites par leurs méridiennes et séparant des milieux de propagation homogènes), une ou plusieurs sources (guides, ondes planes ou courants sur des surfaces de Huygens) et une liste de commandes.

Avec la description de la géométrie figure l'indication de la méthode de calcul à utiliser pour déterminer les inconnues du problème (courants équivalents sur les différentes surfaces), qui peut varier selon la surface (EFIE, MFIE, IE = combinaison des deux, OP). Lorsque -c figure dans la liste de commandes le code génère la matrice du système.

### 2.0 – structures et variables

Un *milieu* (type : *milieu*) est défini par ses constantes électriques, un numéro compris entre 1 et 5 et un nom. Un même milieu physique peut avoir plusieurs numéros, chaque numéro correspondant à une seule composante connexe. Une composante connexe au plus est supposée être non bornée, elle a le numéro 1.

Une *interface* (type : *boundary*) est définie par un numéro, deux milieux et une méthode.

Un *segment* (type : *segment*) est un arc de méridienne rectiligne orienté dont les attributs sont les coordonnées du point médian, la longueur, les cosinus directeurs, les numéros du milieu de droite et du milieu de gauche, celui de la méthode à utiliser pour calculer les courants sur ce segment, le numéro de l'arc auquel il appartient, le nombre de composantes de courants (deux si l'interface est conductrice quatre sinon, sauf pour  $n = 0$  où il faut diviser par deux).

Un *arc* (type : *surface*) est un ensemble de segments qui se suivent et séparent les mêmes milieux, il lui est associé un numéro d'interface donc des milieux et une méthode. Un arc a trois natures possibles : matérielle si les deux milieux sont différents, section de guide, ou surface de Huygens. Dans le premier cas il porte des courants équivalents à déterminer ; dans le second il porte une combinaison à déterminer de l'onde progressive et de l'onde régressive d'un ou plusieurs modes guidés ; dans le troisième il porte des courants équivalents donnés qui constituent une source primaire.

Les variables calculées par Ieros sont des champs et courants de surface électriques (en V/m) ou magnétiques (en A/m). Implicitement les longueurs sont en m, les fréquences en Hz etc.. Du fait de l'invariance d'échelle des équations, pour les besoins du calcul toutes les longueurs sont exprimées, à chaque fréquence de travail, en longueurs d'onde. Si les données de longueur sont dans une unité différente du mètre il suffit d'appliquer à la fréquence de travail le facteur d'échelle pertinent.

### 3.1 – organigramme

Le programme principal effectue en séquence les appels de sous-programmes suivants, dont certains sont optionnels :

1. OptionsProgramme	Lit la ligne de commande	
2. Paramètres	Lit le fichier de paramètres	data.txt
3. Profil	Lit s'il existe le fichier	chaîne.txt
	Produit un fichier	genere.txt
4. Genere	Lit s'il existe le fichier	genere.txt

	Produit un fichier	maillage.msh
5. Mixmsh	Lit s'il existe le fichier et le fichier	mixmaillage.msh maillage.msh
	Produit un nouveau fichier	maillage.msh
6. CompteElements	examine les fichiers d'entrée pour dimensionner le différents vecteurs	
7. msh	lit le fichier de maillage maillage.msh, qui contient les données relatives aux surfaces de séparation matérielles et produit les arcs qui les décrivent	
8. ouv_modes	s'il y a excitation par modes guidés, produit les arcs correspondant aux sections de guide	
9. SourceHuygens	lit les fichiers de courants de Huygens ou de champ lointain	
10. meridienne	produit le vecteur qui contient l'ensemble des segments	
11. meridscale	transpose les longueurs en unité de longueur d'onde.	
12. coumode	s'il y a excitation par modes guidés, calcule les courants associés aux modes sur les sections de guide ;	
13. rhs	calcule les seconds membres du système : un pour chaque excitation par onde plane, champ lointain ou surface de Huygens, deux pour chaque mode guidé	
14. systeme	calcul et factorisation LU de la matrice du système	
15. solution	résolution du système, produisant pour chaque second membre un ensemble de courants sur les surfaces matérielles	
16. matrice_S	s'il y a excitation par modes guidés, calcule la matrice S et en déduit les courants sur les surfaces matérielles et sections de guide qui sont la solution du problème.	
17. Kirchhoff	est appelé à la place de 14 et 15 si on est dans l'option optique physique pour toutes les surfaces (supposées p.c.)	
18. farfield	calcule le diagramme en champ lointain	
19. champ_proche	calcule le champ proche sur une grille dans le plan méridien	
20. reflectorPO	calcule en optique physique le diagramme rayonné par un réflecteur parabolique illuminé en champ proche par les courants de la solution obtenue. Les données sur le réflecteur sont lues dans le fichier reflecteur.txt	
21. champ_sections	calcule le champ proche sur une ou plusieurs sections planes ou sphériques ou définies par points, et produit un fichier chris Huyg.txt de courants de Huygens sur ces surfaces. Les données sont lues dans un fichier sections.txt. Pour les sections sphériques on calcule également la décomposition du champ suivant les modes hybrides HEnm et EHnm.	

Après 10. on est dans une boucle sur la fréquence de travail.

La sauvegarde de la solution courants et le calcul des pertes ohmiques sont faits dans le programme principal.

## 2.2 – fichiers d'entrée

Les options et le nom du dossier contenant les fichiers d'entrée et destiné à recevoir les fichiers de sortie sont entrés sur la ligne de commande.

Le fichier [data.txt](#) contient les données sur les milieux, les interfaces et les fréquences de calcul et celles qui se rapportent aux diverses options de calcul.

Le fichier [chaine.txt](#) contient les données des arcs de forme prédéfinie. S'il existe un fichier de ce nom il est utilisé pour fabriquer le fichier [genere.txt](#), à partir duquel est fabriqué le fichier [maillage.msh](#) des points et des éléments. Si [genere.txt](#) n'existe pas on lit directement le fichier [maillage.msh](#)

### 2.2 .1– fichier data.txt

Il contient une suite d'ensembles de données introduits par un mot-clé précédé de # , placés dans un ordre arbitraire. Liste des mots-clés avec exemples de données :

```
#frequency
1                ! nombre azimutal
1.e10    0.    1    ! 1ère fréquence, incrément, nombre de fréquences

#medium
2                ! numéro de milieu
Truc            ! nom du milieu (non utilisé)
2. 0.           ! permittivité électrique relative
1. 0.           ! perméabilité magnétique relative

#interface
11              ! numéro de code de l'interface
PC              ! type d'interface (non utilisé)
EFIE           ! équation utilisée pour cette interface
0 1            ! numéros des milieux à droite et à gauche de l'interface

#planewave
1                ! numéro du milieu où arrive l'onde plane
0.              ! angle de la direction d'arrivée avec Oz
0.              ! angle de polarisation
1.              ! amplitude du champ E à l'origine des coordonnées

#section
1                ! numéro de la section de guide
2                ! code interface de la section
0.3466667       ! rayon du guide ou rayon de la calotte sphérique
0.              ! coordonnée z de la section
0.              ! angle d'ouverture pour une section sphérique
.05             ! pas de discrétisation sur la section

#mode
1                ! 1 pour TE 2 pour TM
1                ! numéro de racine
1                ! numéro de la section

#huygens
-1              ! diagramme champ lointain
hornfarfield119 ! nom du fichier contenant le diagramme
0.              ! coordonnée z de l'origine du diagramme

#diagramme
0. .5    361     ! Excursion de teta : debut, pas, nombre de points
0. 45.    3      ! Excursion de phi : debut, pas, nombre de points
```

```
#nearfield
1.                ! non utilisé
1.                ! non utilisé
0.1  0.  444.48   ! début de grille en x, y (non utilisé), z
2.  0.  0.        ! dx, dy (non utilisé), dz
95  0  0          ! nx, ny (non utilisé), nz
#blocs
90000             ! taille des blocs pour la résolution du système
16               ! nombre maximum de blocs
```

### 2.2 .2– fichier chaine.txt

Les formes prédéfinies sont repérées par des mots-clés : *suite*, *sphere*, *guide*, *parabole*, *horn*, *gaussian*  
read (10,\*) mot\_cle, attach : si la variable entière attach vaut 1 un segment est créé allant du dernier point précédent au premier point de la nouvelle forme et a la même interface que lui

Pour les courbes nseg est le nombre de segments de droite qu'on utilise pour les approximer. Les données sont :

```
sphere :   rayon, z_centre, ang1, ang2, nseg
           ang1 et ang2 sont les angles au centre, comptés à partir de Oz en degrés, des deux extrémités
parabole : rayon, z_sommet, focale, nseg
suite :    x(npts+1), z(npts+1) coordonnées du point suivant
guide :    rayon, longueur, z_init
horn :     données pour un cornet corrugué
gaussian : données pour un cornet gaussien
maillage : nom d'un fichier nommaillage.msh dont les points seront concaténés aux précédents
```

### 2.2 .3– fichier genere.txt

Le fichier genere.txt contient :

Ligne 1 : pas de discrétisation

Ligne 2 : nombre de points, nombre d'éléments

Pour chaque point : numéro, coordonnée radiale, coordonnée axiale

Pour chaque élément : numéro, numéro du point origine, numéro du point extrémité, code interface

### 2.2 .4– fichier maillage.msh

Le fichier maillage.msh contient :

Ligne 1 : nombre de points, nombre d'éléments

Pour chaque point : numéro, coordonnée radiale, coordonnée axiale

Pour chaque élément : numéro, numéro du point origine, numéro du point extrémité, code interface

## 2.3 – fichiers de sortie

Les fichiers de résultats proprement dit sont les trois premiers

Matrice\_S.txt éléments de la matrice S, return loss

diag.txt angle, plan E (module en dB, phase), plan H (id. ), x-polar (dB), proportion de l'énergie rayonnée dans l'angle solide

Courants.txt	Pour chaque segment : Numéro, module de JL, module de JT, module de KL, module de KT (J = courant électrique, K = courant magnétique)
	Pertes ohmiques
Courants.bin	Pour chaque segment, JL, JT complexes.
mat_modes.txt	contrôle des calculs de mode
diario.txt	contrôle de la géométrie
rhs.txt	seconds membres

### 3.- EXEMPLES

#### 3.1 – options du programme

Elles sont lues dans un ordre quelconque sur la ligne de commande, séparées par des blancs, avant le nom du dossier de cas.

'-c'	calcul de la matrice du système d'équations intégrales qui résulte des différentes surfaces matérielles, de leurs interactions et des méthodes de calcul associées à chacune (EFIE, MFIE, IE, OP)
'-l'	lecture de cette matrice sur un fichier binaire
'-e'	écriture de cette matrice sur un fichier binaire
'-op'	solution optique physique
'-d'	calcul du diagramme de champ lointain
'-p'	calcul de rayonnement en champ proche
'-ohm'	calcul des pertes ohmiques
'-pp'	postprocessing seulement, à partir du fichier <a href="#">courants.txt</a>
'-rf'	calcul de la réflexion du champ rayonné par les courants sur une parabole (utilise un fichier de données supplémentaire <a href="#">reflecteur.txt</a> )

#### 3.2 – Cas de calcul

Telecom2 : rayonnement d'un cornet à deux fréquences ; à la fréquence basse le cornet est monomode, à la fréquence double il est bimode.

Sphere\_pc : diffraction d'une onde plane de direction axiale par une sphère conductrice (SER bistatique).

JINA\_C : même chose avec une sphère évidée entourée d'une enveloppe diélectrique métallisée sur l'hémisphère arrière.