

DFO - Library / MPO - Bibliothèque



14048284



UNIVERSITÉ
LAVAL

ÉVALUATION DU DÉPHASAGE
SECONDAIRE DES ONDES LORAN-C
RÉGION DU GOLFE ST-LAURENT

par

DR JEAN-GUY LECLERC

FACULTÉ DE FORESTERIE ET DE GÉODÉSIE

DÉPARTEMENT
DES SCIENCES GÉODÉSIQUES
ET DE TÉLÉDÉTECTION



PARTIE I

ÉVALUATION DU DÉPHASAGE
SECONDAIRE DES ONDES LORAN-C
RÉGION DU GOLFE ST-LAURENT

MAS #UP-L-299

Rapport de recherche
présenté à

PAUL BELLEMARRE
PÊCHES ET OCÉANS
SERVICE HYDROGRAPHIQUE DU CANADA

par

DR JEAN-GUY LECLERC
DÉPARTEMENT DES SCIENCES GÉODÉSIQUES
ET DE TÉLÉDÉTECTION
PAVILLON CASALT, UNIVERSITÉ LAVAL

Avril 1988

TABLE DES MATIÈRESREMERCIEMENTS

<u>CHAPITRE 1. INTRODUCTION</u>	5
1.1 Problématique	5
1.2 Les types d'ondes	7
1.3 Le facteur d'atténuation	9
1.4 Lignes de positions hyperboliques	10
<u>CHAPITRE 2. THÉORIES CLASSIQUES</u>	
2.1 Théorie de la terre-plate	15
2.1.1 Historique	15
2.1.2 Applications au système LORAN-C	18
2.1.3 La fonction ERFI	20
2.2 Théorie de la terre-sphérique	22
2.2.1 Historique	22
2.2.2 Applications au système Loran-C	26
2.2.3 Formules utilisées	28
2.2.3.1 Paramètres de conductivité, δ_e , δ_m	28
2.2.3.2 Facteur de correction dû à la hauteur de l'émetteur et du récepteur, $f_s(h_i)$	28
2.2.3.3 Racines de l'équation différentielle de Riccati, τ_s	29
2.2.4 Calculs des fonctions spéciales	29
2.2.4.1 Les fonctions de Hankel d'ordre et d'argument complexes	29
2.2.4.2 Les valeurs limites des racines de l'équation différentielles de Riccati ($\tau_{s,0}$, $\tau_{s,\infty}$)	33
2.2.4.3 Les racines de l'équation différentielle de Riccati	34

<u>CHAPITRE 3. THÉORIE COMPLÈTE</u>	37
3.1 Historique	37
3.2 Théorie	38
3.3 Solution numérique de l'équation intégrale	49
3.4 Traitement du relief	54
3.5 Détermination de la correction secondaire de phase	57
<u>RÉFÉRENCES</u>	59
Figure 1. Géométrie des ondes directes et réfléchies du sol	17
Figure 2. Division d'une onde originale en réflexions et réfractions	24
Figure 3. Parcours d'intégration pour l'équation (2.2.33)	30
Figure 4. Subdivision de l'espace d'intégration	38
Figure 5. Sections géoélectriques du sol montrant trois couches géologiques distinctes	40
Figure 6. Paramètres géométriques et illustration du relief topographique considéré	44
Figure 7. Subdivision de la géodésique le long du parcours	50

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier monsieur Paul Bellemarre du Service Hydrographique du Canada, ministère des Pêches et Océans, pour le support qu'il nous a accordé pour la réalisation de cette recherche. Ses collaborateurs, Patrick Hally, Peter Keilland et Denis Hains ont contribué de façon importante à alléger l'administration et la gérance de ce projet.

Le support du ministère des Approvisionnement et Services du Canada a rendu possible la réalisation financière de cette recherche. Nous lui sommes reconnaissant pour la confiance qu'il nous a accordé.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 Problématique

La technologie LORAN-C a fait de grands progrès depuis les années 1960, soit dans le développement de l'équipement et le déploiement du système. Afin d'exploiter ce système à la limite de ses possibilités et améliorer conséquemment la précision des positions, il y a maintenant lieu d'utiliser un modèle de propagation compatible avec la précision actuellement disponible. Les modèles de propagation présentement utilisés ne sont donc plus suffisamment précis et ne permettent pas l'exploitation des nouvelles technologies numériques.

Pour atteindre un tel but, il est nécessaire dans la recherche du modèle approprié de porter une attention particulière aux caractéristiques de la propagation des ondes de basses-fréquences. Ainsi, contrairement aux théories classiques qui considèrent une terre homogène et régulière, nous allons considérer dans le présent cas un modèle de propagation qui tiendra compte de la non-homogénéité et de l'irrégularité de la surface terrestre. Les modèles de propagation de la théorie classique, tels que pour la terre plate et sphérique de J.R. Johler, pourront néanmoins être utilisés afin d'initialiser le processus de calcul et comme courbes de référence pour bien distinguer les perturbations dont tient compte le nouveau modèle.

Considérant que les erreurs de positionnement du système LORAN-C proviennent principalement du fait que les modèles de propagation ne tiennent pas compte des variables lithologiques, nous proposons d'introduire les paramètres suivants:

- les propriétés géo-électriques de la géologie de sous-surface, celles de surface et de la pédologie,
- les variations topographiques,

le long du parcours de propagation.

Comme dans tous les modèles, le problème considéré sera grandement idéalisé, ceci étant nécessaire afin d'alléger la complexité des calculs. Bien sûr, l'introduction de telles simplifications ne devrait pas exercer une trop grande influence quantitative sur les résultats et comprendront les points suivants:

- a) L'émetteur (i.e. l'antenne émettrice) est imaginé être de dimensions infiniment petites. En pratique cela signifie que la longueur d'une antenne devrait être faible comparativement à la longueur d'onde.
- b) La terre sera supposée sphérique pour les fins de projection. En chacun de ses points, elle sera caractérisée par les propriétés électriques (constante diélectrique, ϵ , conductivité, σ) de trois couches géo-électriques (géologie de sous-surface, géologie de surface, pédologie). La terre, par conséquent, est en même temps un diélectrique et un conducteur.
- c) Par hypothèse, on considérera l'atmosphère comme un espace libre de charges, c'est-à-dire non conductrice et avec une constante diélectrique égale à l'unité. Cela revient en premier lieu à négliger l'influence de l'ionosphère (i.e. les couches conductrices de la haute atmosphère) et également celle de la réfraction causée par la basse atmosphère.

La formulation mathématique de notre problème, à savoir le calcul de la phase et de l'amplitude de l'onde de sol près de la surface terrestre, sera alors donnée comme suit:

A partir des équations de Maxwell, une solution est requise afin de satisfaire les conditions suivantes:

- (i) le problème en est un de diffraction;
- (ii) à l'extérieur de la terre, les équations pour l'espace libre sont valides; à l'intérieur de la terre, les équations correspondant aux présumées valeurs d'impédances établies à partir des constantes électriques existant en cet endroit;
- (iii) le champ est singulier à l'émetteur;
- (iv) sur la surface de la terre, le champ satisfait aux conditions habituellement rencontrées à l'interface de deux milieux différents; à savoir que les composantes tangentielles des champs électrique et magnétique sont continues étant donné que la terre n'est pas considérée comme un conducteur parfait.

Les sections qui suivront ont pour but de donner au lecteur certaines informations qui lui permettront de lui faciliter la lecture du présent document.

1.2 Les types d'ondes

L'énergie irradiée à partir d'une antenne émettrice peut atteindre l'antenne réceptrice par plusieurs parcours de propagation. Les ondes qui arrivent au récepteur après réflexion ou diffusion auprès de l'ionosphère sont connues sous le nom d'"ondes de ciel" (sky waves) ou "ondes ionosphériques". Les ondes qui sont réfléchies ou diffusées dans la troposphère (la région de l'atmosphère située à l'intérieur d'un rayon de 10 km de la surface terrestre) sont désignées comme les "ondes troposphériques". L'énergie propagée sur d'autres parcours près de la surface de la terre est considérée l'être sous la forme de l'onde de sol (ground wave). Il est de pratique courante de diviser le signal de l'onde de sol en deux parties, soit l'onde de l'espace (space wave) et l'onde de surface (surface wave).

L'onde de l'espace est constituée de l'onde directe (direct wave), soit le signal qui voyage selon le parcours direct de l'émetteur au récepteur et de l'onde réfléchi du sol (ground reflected wave) qui est le signal arrivant au récepteur après avoir été réfléchi sur la surface de la terre. L'onde de l'espace inclut également la partie de l'énergie reçue comme résultat de la diffraction aux alentours de la surface terrestre et de la réfraction dans l'atmosphère supérieure.

L'onde de surface est une onde qui est guidée le long de la surface terrestre telle une onde électromagnétique guidée par une ligne de transmission. L'énergie tirée de l'onde de surface afin de répondre aux pertes retrouvées dans le sol; ainsi, l'atténuation de cette onde est directement affectée par les constantes électriques de la terre le long de laquelle elle voyage.

Lorsque les deux antennes sont situées directement sur la surface terrestre, les ondes directe et réfléchi du sol s'annulent alors mutuellement et la transmission est entièrement exprimée par l'onde de surface (assumant qu'il n'existe aucune onde de ciel ou onde troposphérique).

Par conséquent, dans le cas des systèmes de basses-fréquences où le récepteur se situe généralement sous l'horizon de l'émetteur, la mesure du signal s'effectue au moyen de l'onde de sol qui suit la surface du globe; le parcours est ainsi à peu de chose près assimilable à une ligne géodésique. Les ondes ionosphériques et les ondes réfléchies constituent alors des interférences.

Aux basses-fréquences, l'onde de sol s'élève dans l'atmosphère à une hauteur correspondant à environ une longueur d'onde. Elle pénètre dans la mer et peut pénétrer profondément dans les terres de faible conductivité.

1.3 Le facteur d'atténuation

L'analyse de la propagation des signaux LORAN-C au-dessus de la surface terrestre peut être convenablement formulée en utilisant le facteur d'atténuation, F , directement au lieu du champ. Le concept habituel de celui-ci est le rapport entre le champ réel et le double du champ primaire:

$$F = E/(2 E_{pr})$$

où E_{pr} = champ primaire ou champ de l'espace libre (volts/mètre).

Dans la théorie sphérique de Bremmer [1949], le facteur d'atténuation était également équivalent au rapport du vecteur de Hertz total sur le vecteur de Hertz primaire, c'est-à-dire:

$$F = \Pi/2\Pi_{pr}$$

Suivant les définitions données ci-dessus, le facteur d'atténuation se rapporte aux influences perturbatrices de la propagation des ondes LORAN-C soit: la source, la sphéricité de la terre, ses propriétés géo-électriques, etc.

D'une autre façon, en pratique, le facteur secondaire additionnel est parfois utilisé. Il fait référence au champ de l'onde de sol tel que propagée au-dessus de la terre sphérique couverte entièrement par la mer de conductivité, $\sigma = 5 \text{ mho/m}$, E_{mer} :

$$Q = E/E_{mer}$$

Dans tous les cas, le module (ou amplitude) de l'onde sera inférieur à l'unité, indiquant ainsi une diminution dans l'intensité du champ. Son argument (ou la phase) indiquera un retard de phase (en radians) relativement à la phase de l'onde de sol du champ non perturbé. En approchant de l'émetteur, le retard de phase tendra vers zéro et le module du facteur vers l'unité.

Pour une surface terrestre quelconque, le lien entre les deux définitions sera donné par:

$$q_{\sigma}(d) = p_{\sigma}(d) - p_{\sigma=5}(d)$$

où $q_{\sigma}(d)$: phase relativement à la surface terrestre recouverte par les mers,

$$q_{\sigma}(d) = \frac{\theta\lambda}{2\pi}$$

$p_{\sigma}(d)$ = phase relativement au facteur d'atténuation, F , pour une terre de conductivité σ quelconque.

$p_{\sigma=5}(d)$: pour une conductivité de $\sigma=5$ mho/m.

1.4 Lignes de positions hyperboliques

Les émetteurs LORAN-C sont habituellement situés à plusieurs milles à l'intérieur des terres. Les signaux émis voyagent donc aussi bien au-dessus de la terre, de l'eau douce que de l'eau salée avant d'être captés par le récepteur d'un navire. Chacun des milieux au-dessus desquels se déplacent les signaux influe sur ces derniers à divers degrés. Ainsi, l'eau salée a un plus faible impact sur les signaux que les rochers et les glaces. Le milieu a pour effet d'affaiblir et de retarder les signaux en rapport à la vitesse nominale.

La précision d'une position estimée par le système LORAN-C dépend de l'habilité à prédire les lignes de positions hyperboliques. Si nous étions capable d'assumer que l'onde de sol se propage au-dessus de la surface terrestre à une vitesse constante, comme dans l'espace vide, la procédure d'estimation de ces lignes de position seraient relativement triviale et se représenterait par:

$$TD = \text{constante}$$

$$\text{où } TD = \frac{\eta_1}{c} [d_b + d_s - d_m] + C_s$$

η_1 = indice de réfraction de l'air,

c = vitesse de la lumière dans le vide,

d_b = longueur de la géodésique entre la station "maîtresse" et "esclave",

d_m = longueur de la géodésique entre le point d'observation et la station "maîtresse",

d_s = longueur de la géodésique entre le point d'observation et la station "esclave",

C_s = temps de retransmission du signal à partir de la station esclave,

TD = différence de temps.

Cependant, tel que mentionné précédemment, dans la situation physique réelle ce n'est pas le cas. La vitesse des ondes radio est influencée par les caractéristiques physiques du milieu de propagation. Les hyperboles du système LORAN-C sont donc distortionnées si les parcours de propagation ne sont pas similaires. Ainsi, les parcours entièrement situés au-dessus des surfaces marines seront considérés comme ayant des incidences identiques sur l'onde de sol mais les parcours terrestres et mixtes auront des influences grandement différentes selon celui choisi. Pour tenir compte de cette réalité, nous aurons alors:

$$TD = \frac{\eta_1}{c} [d_b + d_s - d_m] + t_c(d_s) - t_c(d_m) + C_s$$

où t_c = correction de phase pour la propagation selon le parcours d_s , d_m
et

$$t_c = \frac{\varphi_C}{\omega} \cdot 10^6$$

où φ_C = argument de la fonction d'atténuation,

ω = fréquence angulaire.

Si tous les paramètres influençant la vitesse de propagation étaient connus précisément, le facteur d'atténuation et sa phase le seraient aussi et les lignes de position pourraient être calculées d'une façon plus réaliste. Néanmoins, plus un modèle tient compte d'un grand nombre de paramètres, plus la prédiction est précise, mais la tâche devient complexe et l'information nécessaire à son exploitation difficilement disponible. C'est pourquoi, l'utilisation d'un modèle de prédiction permettant l'amélioration de la précision de la position doit être effectuée avec discernement.

Dans les sections suivantes, un tel modèle de propagation, celui de Hufford [1952], sera présenté ainsi que ceux nécessaires à son initialisation.

CHAPITRE 2THÉORIES CLASSIQUES2.1 Théorie de la terre-plate2.1.1 Historique

Parmi les premiers balbutiements de la théorie de la propagation de l'onde de sol, le problème de Sommerfeld (1909) est de première importance. A. Sommerfeld fournit alors une solution pour le champ ayant comme origine un dipôle électrique vertical dans le plan d'interface entre, d'un côté, le demi-espace isolant (air) et, de l'autre, un demi-espace conducteur, soit la terre considérée homogène. Les expressions exactes pour les composantes du champ étaient obtenues sous la forme d'intégrales. Cependant, il fallut attendre un quart de siècle avant que Norton (1937) remanie la solution du problème de Sommerfeld en une forme traitable pour les calculs numériques. Les résultats de Norton exprimés en coordonnées cylindriques sont de la forme suivante [Norton, 1937]:

$$E_z = -30jk_1 \text{I}l [\cos^2\psi (e^{jk_1 R_1/R_1} + R_\nu e^{jk_1 R_2/R_2}) + (1 - R_\nu)(1 - u^2 + u^4 \cos^2 \psi) Y(\rho_1) e^{jk_1 R_2/R_2}] \quad (2.1.1)$$

$$E_\rho = 30jk_1 \text{I}l [\sin\psi \cos\psi (e^{jk_1 R_1/R_1} + R_\nu e^{jk_1 R_2/R_2}) - \cos\psi (1 - R_\nu) u \sqrt{1 - u^2 \cos^2 \psi} Y(\rho_1) e^{jk_1 R_2/R_2} \times (1 + \sin^2 \psi / 2)] \quad (2.1.2)$$

où:

E_z, E_ρ = composantes du champ électrique exprimé en coordonnées cylindriques,

ψ = angle entre l'onde incidente et l'horizon,

I_0 = moment dipolaire de l'antenne émettrice,

$$u^2 = \frac{1}{(\epsilon_2 - j\kappa)}$$

R_ν = coefficient de réflexion au sol,

κ = $(18\sigma/f \text{ KHz}) \text{ mho/m}$,

σ = conductivité de la terre, mho/m,

$\epsilon_2 = \epsilon_t/\epsilon_0$ = constante diélectrique relative à la terre,

j = nombre imaginaire, $j = \sqrt{-1}$,

f_{KHz} = fréquence de l'onde de sol en kilohertz (10^3 Hertz),

$k_1 = (\omega/c) \sqrt{\epsilon_1} \cong \omega/c = 2\pi/\lambda$ = constante de propagation dans l'atmosphère (air),

λ = longueur d'onde dans l'air,

ω = fréquence angulaire = $2\pi f$,

ϵ_1 = permittivité électrique de l'air,

$Y(\rho_1) = 1 + j \sqrt{\pi\rho_1} e^{-\rho_1} \operatorname{erfc}(-j \sqrt{\rho_1})$,

ρ_1 = distance numérique de Sommerfeld,

$$= (j k_1^3 / (2k_2^2)) (1 - k_1^2/k_2^2)d,$$

k_1 = constante de l'onde de propagation dans l'air,

$$k_1 = (\omega/c)\eta_1$$

k_2 = constante de l'onde de propagation du sol,

$$= (\omega/c) (\epsilon_2 + j \sigma u_0 c^2/\omega)^{1/2},$$

c = vitesse de la lumière dans le vide,

u_0 = perméabilité du vide.

(2.1.3)

Dans cette solution, $\gamma(\rho_1)$ représente une fonction d'atténuation qui dépend des constantes géo-électriques de la terre et de la distance entre le point émetteur et le lieu de réception du champ. Le champ total peut être séparé en deux parties, soit en une "onde d'espace", représentée par les termes qui sont fonction de l'inverse de la distance, et une "onde de surface" qui contient le facteur d'atténuation. On doit noter que l'onde de surface dont il est ici question, est celle connue sous le nom "d'onde de surface de Norton", différente de l'onde de surface considérée originalement par Sommerfeld. La géométrie du problème général peut être représentée comme suit:

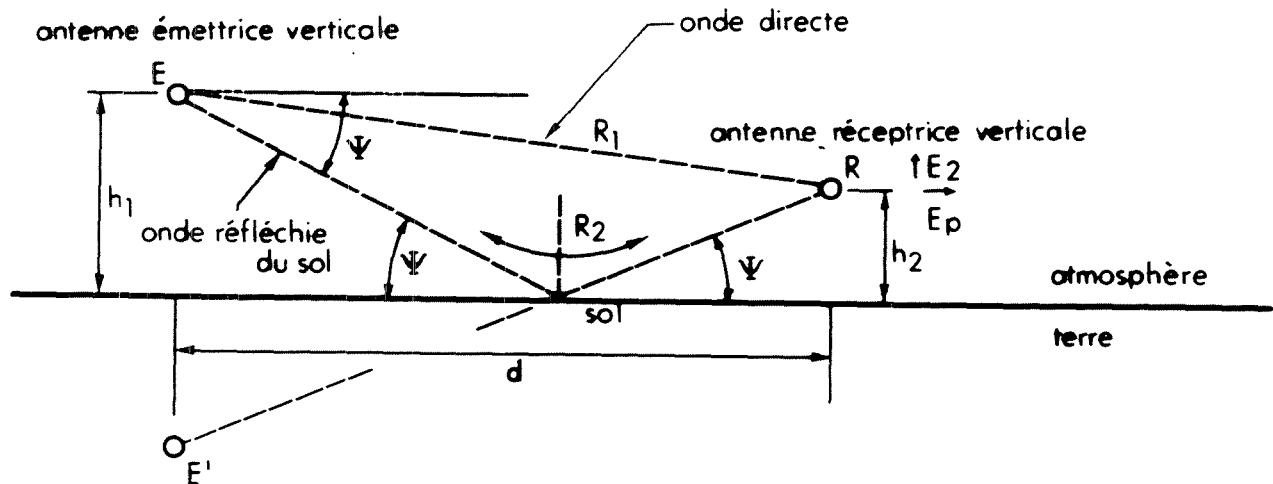


Figure 1. Géométrie des ondes directes et réfléchies du sol

2.1.2 Applications au système LORAN-C

Pour les applications au système LORAN-C, on a trouvé souhaitable d'exprimer le champ sous la forme des équations qui suivront, avec $h_1 = 0$, $h_2 = 0$ (soit $R_1 = R_2$), où:

$h_1 =$ altitude de l'antenne émettrice,
 $h_2 =$ altitude de l'antenne réceptrice.

Dans ce dernier cas, seule l'onde de surface existe et l'intensité du champ électrique vertical à la surface de la terre, E_z , est obtenue de l'expression suivante [Johler et al., 1956]:

$$E_z = 2E_{pr} F_z \text{ (volts/mètre)} \quad (2.1.4)$$

où:

$$F = F_z = \text{facteur secondaire ou d'atténuation,}$$

$$F_z = \gamma(\rho_1) f(\sigma, \epsilon) - 1/(j k_1 d) + 1/(j k_1 d)^2 \quad (2.1.5)$$

$$f(\sigma, \epsilon) = 1 - (k_1^2/k_2^2) + (k_1^4/k_2^4) \quad (2.1.6)$$

$$E_{pr} = \text{champ primaire ou de l'espace libre}$$

$$E_{pr} = (I_0 k_1^2 / (4\pi\omega \epsilon_0 \epsilon_1 d)) e^{j(k_1 d - \omega t)} \text{ (volts-mètre)} \quad (2.1.7)$$

Suivant la définition donnée par l'équation (2.1.4), le facteur secondaire F se rapporte à l'influence perturbatrice de la terre et de la source. Ainsi, en l'absence de la terre, $\sigma = 0$ et $F_z = 1/2$ et lorsque la terre est considérée parfaitement conductrice, $\sigma = \infty$ et $F_z = 1$. Ces dernières considérations ne tiennent pas compte de l'influence de la source. La phase totale du champ observé est donnée par [Johler et al., 1956]:

$$\varphi = \varphi^1 + \varphi_C, \quad (2.1.8)$$

où:

$$\begin{aligned}
 \varphi^1 &= \text{phase du champ primaire,} \\
 \varphi_C &= \text{phase du facteur secondaire ou d'atténuation,} \\
 F &= |F| e^{j\varphi_C} \\
 \varphi_C &= \arg(F) \text{ (radians).}
 \end{aligned}
 \tag{2.1.9}$$

En négligeant la fonction, ωt , représentant la dépendance harmonique du champ, nous avons:

$$\varphi^1 = k_1 d = \frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon_1} d
 \tag{2.1.10}$$

La phase du champ primaire, φ^1 , étant directement proportionnelle à la distance, la phase du facteur d'atténuation ($\varphi_C = 0.1$ à 10 radians) peut être considérée comme une correction de phase ajoutée au champ de l'espace libre afin d'expliquer l'influence perturbatrice de la source et de la terre.

Il est souvent souhaitable d'exprimer la phase, φ , comme un temps, t . Cette conversion est effectuée par la relation suivante:

$$t = (\varphi/\omega) \cdot 10^6 \text{ (microsecondes)}
 \tag{2.1.11}$$

Pour la phase du facteur F , nous avons:

$$t_C = (\varphi_C/\omega) \cdot 10^6 \text{ (microsecondes)}
 \tag{2.1.12}$$

À de grandes distances de l'antenne émettrice le long de la surface terrestre, la fonction d'atténuation doit tenir compte de la courbure terrestre et est alors calculée à partir de la théorie de la terre-sphérique.

2.1.3 La fonction ERFC

La fonction mathématique ERFC (z, W) apparaît dans le calcul de la fonction $y(\rho_1)$ sous la forme:

$$W(z) = e^{-z^2} \operatorname{erfc}(-jz) \quad (2.1.13)$$

et nous pouvons écrire pour l'expression F_z :

$$\begin{aligned} y(\rho_1) &= 1 + j \sqrt{\pi \rho_1} W(\sqrt{\rho_1}) \\ &= 1 + jz \sqrt{\pi} W(z) \end{aligned} \quad (2.1.14)$$

où:

$$z = \sqrt{\rho_1}$$

La fonction W possède de nombreuses propriétés et plusieurs représentations, dont notamment [Abramowitz et Stegun, chap. 7, 1965]:

(i) développement en série:

$$W(z) = \sum_{n=0}^{\infty} (jz)^n / \Gamma(n/2 + 1) \quad (2.1.15)$$

Il est à noter qu'en vertu du comportement asymptotique de la fonction Γ , cette série a un rayon de convergence infini. Les propriétés principales de $W(z)$ sont les suivantes:

(ii) formule asymptotique:

Si $z = x + jy$ et $x > 3.9$ ou $y > 3$
alors

$$\begin{aligned} W(z) \cong jz [0.4613135/(z^2-0.1901635) + 0.09999216/(z^2-1.7844927) \\ + 0.002883894/(z^2-5.5253437)] \end{aligned} \quad (2.1.16)$$

(iii)

$$W(-x + jy) = \overline{W(x + jy)} \quad (2.1.17)$$

(iv)

$$W(-z) = 2e^{-z^2} - W(z) \quad (2.1.18)$$

Enfin, le calcul de la fonction W est effectué en combinant les représentations précédentes:

a) Si $|\operatorname{Re} z| \leq 3.9$ et $|\operatorname{Im} z| \leq 3$, nous utilisons le développement en série (2.1.15), soit:

$$W(z) = \sum_{n=0}^{\infty} (jz)^n / \Gamma(n/2 + 1) = \sum A_n$$

en employant la formule de récurrence:

$$\begin{aligned} A_n &= (jz)^2 (jz)^{n-2} / \Gamma(n/2 + 1) = (jz)^2 (jz)^{n-2} / \Gamma((n-2)/2 + 1 + 1) \\ &= (jz)^2 / (n-2/2 + 1) A_{n-2} \end{aligned} \quad (2.1.19)$$

b) pour $\operatorname{Re} z = x > 3.9$ ou $\operatorname{Im} z = y > 3$, nous employons l'équation (2.1.16).

c) pour $x < -3.9$ et $|y| < 3$, nous utilisons (2.1.16) pour calculer $W(-x + iy)$ et ensuite (2.1.17).

d) pour $y < -3$ et $|x| < 3.9$, nous utilisons l'équation (2.1.16) pour calculer $W(-z)$ et (2.1.18) pour la suite.

2.2 Théorie de la terre-sphérique

2.2.1 Historique

La théorie décrite précédemment considérait la surface de la terre comme étant plate et par conséquent négligeait l'influence de la courbure terrestre sur l'onde de sol. Bien avant Sommerfeld et Norton, H.M., MacDonald (1903) avait considéré cet aspect du problème par la présentation d'une solution rigoureuse à partir des équations de Maxwell, considérant l'irradiation d'un dipôle électrique vertical en présence d'une terre sphérique et de conductivité parfaite. Cette fonction était donnée sous la forme d'une série infinie impliquant des fonctions de Legendre et de Bessel. Cependant, à cause de la faible convergence de cette série, cette solution formelle devenait sans aucune utilité pratique. Le nombre de termes nécessaires à l'obtention d'une précision raisonnable était de l'ordre de $ka = 2\pi a/\lambda$, soit le nombre de longueur d'onde contenue dans la circonférence terrestre ($2\pi a$). Ainsi, à la fréquence du Loran-C, au moins 13 000 termes étaient nécessaires à l'approximation de la série infinie, problème tout à fait irréalisable avec les outils de calcul de l'époque. Environ quinze années plus tard, G.N. Watson (1918) fut capable pour la première fois de convertir cette série en une nouvelle série hautement convergente via une intégrale dans le plan complexe angle-indice n . Cette série est connue depuis sous le nom de "série de résidus". Pour le cas pratique d'une terre de conductivité finie, la solution exprimée en termes d'harmoniques zonales pour une terre de rayon a et un dipôle électrique vertical situé à une distance b du centre de la terre le long de l'axe Z , est donnée par les équations suivantes [Bremmer, 1949]:

$$\Pi_{\text{tot}} = -k_1 I \ell / (4\pi \omega b \epsilon_0 \epsilon_1) \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1) f(n,r) P_n(\cos\theta), \quad a < r < b$$

(2.2.1)

où:

$$f(n,r) = \zeta_n^{(1),(2)}(k_1 b) [\psi_n(k_1 r) + R(n) \psi_n(k_1 a) \zeta_n^{(1)}(k_1 r) / \zeta_n^{(1)}(k_1 a)] \quad (2.2.2)$$

$$\zeta_n^{(1),(2)}(z) = (\pi/2z)^{1/2} H_{n+1/2}^{(1),(2)}(z) \quad (2.2.3)$$

$$\psi_n(z) = (\pi/2z)^{1/2} J_{n+1/2}(z) \quad (2.2.4)$$

$$R(n) = [- (1/x) d/dx (\ln\{x\psi(x)\}) + (1/y) d/dy (\ln\{y\psi(y)\})]$$

$$/ [(1/x) d/dx (\ln\{x\zeta_n^{(1)}(x)\}) - (1/y) d/dy (\ln\{y\psi_n(y)\})] \quad (2.2.5)$$

$$x = k_1 a, \quad y = k_2 a \quad (2.2.6)$$

Le potentiel de Hertz total (incident et diffu), Π_{tot} , satisfait l'équation suivante [Samaddar, 1979]:

$$(\nabla^2 + k_0^2 \epsilon) \Pi = (-jI l / (\omega \epsilon_0 \epsilon b)) \delta(r - \vec{z}_0 b) \quad (2.2.7)$$

où la fonction delta de Dirac montre la position de l'émetteur le long de l'axe des z.

où $\epsilon = \epsilon_1$ pour l'air

$\epsilon = \epsilon_c = \epsilon_2 + j\sigma/(\omega\epsilon_0)$ pour la terre

$$k_1 = k_0^2 \epsilon_1$$

$$k_2^2 = k_0^2 \epsilon_c$$

$$k_0 = \omega/c = \omega(\mu_0 \epsilon_0)^{1/2}$$

(2.2.8)

Puisque, pour ce cas général d'une terre de conductivité finie, $f(n - \frac{1}{2}, r)$ n'est pas une fonction paire de n , une des applications de la "transformation de Watson" à l'équation (2.2.1) résulte en une série de résidus plus une intégrale additionnelle le long d'une ligne parallèle à et au-dessus de l'axe réel positif dans le plan $-n$ complexe transformé. Quoique cette dernière intégrale puisse être négligée pour un problème de propagation des ondes radio, une telle pratique entraînerait une déficience dans l'interprétation physique du problème. Dans le but de contourner cette difficulté, Van der Pol [1937] et Bremmer [1949] sont parvenus à exprimer la série (2.2.1) sous la forme de l'équation suivante:

$$\Pi_{\text{tot}} = \sum_{m=-1}^{\infty} S_m = -k_1 I_0 / (4\pi\omega b \epsilon_0 \epsilon_1) \sum_{m=-1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \{(2n+1) g_m(n, r) \times P_n[\cos(\pi + m\pi - \theta)]\} \quad (2.2.9)$$

Ainsi, lorsque la transformation de Watson était appliquée à chaque fonction S_m , aucune intégrale résiduelle n'apparaissait, c'est-à-dire $g(n - \frac{1}{2}, r)$ est une fonction paire de n .

L'indice de sommation m représente le nombre de réflexions internes (à l'intérieur de la terre) nécessaires afin de générer l'onde extérieure ($r > a$) dénotée par S_m .

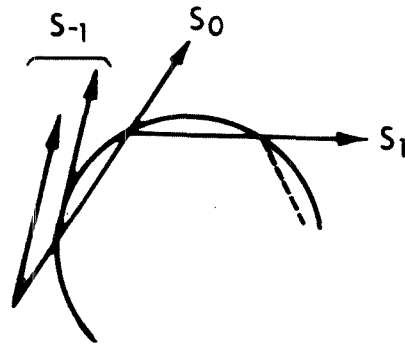


Figure 2. Division d'une onde originale en réflexions et réfractions.

Puisqu'un tel mécanisme a lieu lors de la formation du phénomène de l'arc-en-ciel, chaque terme S_m est appelé "terme de l'arc-en-ciel". Par exemple, le terme S_{-1} est constitué du champ primaire et du champ créé par les ondes réfléchies à partir de la surface terrestre sans pénétration dans le sol. Le terme S_0 comprend les ondes qui n'ont pas été réfléchies et qui émergent par une deuxième réfraction dans l'espace extérieur. D'une façon similaire, les autres termes représentent des réfractions et réflexions d'ordre supérieur. A cause de la conductivité finie de la terre, les termes S_m pour $m = 0, 1, 2, \dots$, sont petits. Ainsi, pour le présent problème, seul le terme S_{-1} a une signification numérique parce que les autres ondes arrivent tardivement après avoir traversé partiellement la terre, ce qui les absorbe très fortement. Cependant, la disparition complète des termes S_0, S_1, \dots , n'est effective que dans le cas d'une terre de conductivité parfaite ($\sigma = \infty$).

Par conséquent, Π_{tot} , peut être écrit sous la forme suivante [Bremmer, 1949]:

$$\Pi_{\text{tot}} \cong S_{-1} = -k_1 I_0 / (4\pi \omega b \epsilon_0 \epsilon_1) \sum (2n+1) g(n,r) P_n(\cos \theta_n) \quad (2.2.10)$$

où:

$$g(n,r) = g_{-1}(n,r) = \frac{1}{2} (\zeta_n^{(1)}(k_1 b) \zeta_n^{(2)}(k_1 r) + R_{11}(n) (\zeta_n^{(2)}(k_1 a) / \zeta_n^{(1)}(k_1 a)) \zeta_n^{(1)}(k_1 b) \zeta_n^{(1)}(k_1 r)) \quad (2.2.11)$$

$$R_{11} = N(n)/M(n) \quad (2.2.12)$$

$$N(n) = - (1/x) \frac{d}{dx} \ln\{x \zeta_n^{(2)}(x)\} + (1/y) \frac{d}{dy} \ln\{y \zeta_n^{(2)}(y)\} \quad (2.2.13)$$

$$M(n) = (1/x) \frac{d}{dx} \ln\{x \zeta_n^{(1)}(x)\} - (1/y) \frac{d}{dy} \{y \zeta_n^{(2)}(y)\} \quad (2.2.14)$$

2.2.2 Applications au système Loran-C

Pour la propagation aux basses fréquences de l'onde de sol, la série de résidus correspondant à l'équation (2.2.10) peut être exprimée sous la forme suivante [Johler et al., 1956]:

$$E_r = 2E_{pr} F_r \quad (2.2.15)$$

où:

$$\begin{aligned} E_r &= \text{composante radiale du champ électrique,} \\ F_r &= \text{facteur secondaire,} \\ E_{pr} &= \text{champ primaire.} \end{aligned}$$

D'une façon générale, les composantes électriques et magnétiques décrivant d'une façon complète le champ dans le cas de la théorie de la terre-sphérique, sont:

$$E_r = -1/(r \sin\theta) \frac{\partial}{\partial\theta} [\sin\theta \frac{\partial\Pi}{\partial\theta}] \quad (2.2.16)$$

$$E_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial\theta \partial r} [r\Pi] \quad (2.2.17)$$

$$H_\varphi = \frac{p^2}{\mu_0} \frac{\partial\Pi}{\partial\theta} \quad (2.2.18)$$

en coordonnées sphériques, où:

$$p^2 = -\mu_0 k \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \mu_0 \sigma \frac{\partial}{\partial t} \quad (2.2.19)$$

Celles-ci sont alors déterminées à partir de la quantité, Π , suivante:

$$\begin{aligned} \Pi &= 2[I_0/(4\pi k\omega)] \exp(jk_1 a\theta) [2\pi(k_1 a)^{1/3} \alpha^{11/3}/(a^4 \sin\alpha\theta)] \\ &\times \sum_{s=0}^{\infty} f_s(h_1) f_s(h_2) / [2\tau_s - 1/\delta e^2] \exp\{j[(k_1 a)^{1/3} \tau_s \alpha^{2/3} \theta + \frac{\theta\alpha}{2} + \frac{\pi}{4}]\} \\ &\quad \text{(volts/mètre).} \end{aligned} \quad (2.2.20)$$

L'intensité du champ électrique vertical à de grandes distances de l'émetteur, mais près de la surface terrestre, est, après diverses approximations, donnée comme suit [Johler et al., 1956]:

$$E_r = 2[I_0/(4\pi k)] \exp(jk_1 a \theta) [2\pi(k_1 a)^{13/3} \alpha^{5/3}/(\omega^2 a^6 \sin \alpha \theta)]^{1/2} \\ \times \sum_{s=0}^{\infty} f_s(h_1) f_s(h_2)/[2\tau_s - 1/\delta e^2] \exp\{j[(k_1 a)^{1/3} \tau_s \alpha^{2/3} \theta + \frac{\theta \alpha}{2} + \frac{\pi}{4}]\} \\ \text{(volts/mètre)} \quad (2.2.21)$$

pour lequel:

$$\sin \alpha \theta \approx \alpha \theta \approx \alpha(d/a) \\ \theta = (d/a) \\ r = a + h_2 \quad (2.2.22)$$

et où le facteur secondaire est:

$$F = F_r = [2\pi \alpha^{2/3} (k_1 a)^{1/3} (d/a)]^{1/2} \sum_{s=0}^{\infty} f_s(h_1) f_s(h_2)/[2\tau_s - 1/\delta e^2] \\ \times \exp\{j[(k_1 a)^{1/3} \tau_s \alpha^{2/3} (d/a) + \frac{\alpha d}{2a} + \pi/4]\} \quad (2.2.23)$$

où:

- s = 0, 1, 2, 3, ,
- d = distance entre l'émetteur et le récepteur (m),
- t = temps en secondes,
- a = rayon terrestre, d = aθ,
- k₁ = constante de propagation de l'air à la surface de la terre,

$$k_1 = \omega/c \eta_1,$$
- η₁ = indice de réfraction de l'air, η₁ = √ε₁,
- c = vitesse de la lumière dans le vide, c = 2.99792458 x 10⁸ m/s,
- α = facteur tenant compte du décroissement selon la verticale de l'indice de réfraction de l'air,

$$\alpha = \frac{a}{a_e} = 1 + (a/\eta_1) d\eta_1/dh$$
- a_e = rayon efficace de la terre,
- h = h₁, h₂ = altitude d'un point, émetteur ou récepteur,

$f_s(h)$ = facteur de gain d'élevation, impliquant le principe de réciprocité,
 $\delta = \delta_e, \delta_m$ = paramètre de conductivité pour respectivement la polarisation électrique verticale et magnétique horizontale du dipôle de Hertz,
 $\tau = \tau_s$ = décrit les racines spéciales de l'équation différentielle de Riccati.

(2.2.24)

La phase, φ_c , du facteur secondaire peut de nouveau être calculée par la relation suivante:

$$\varphi_c = \arg F_r, \quad (\text{radians})$$

(2.2.25)

le facteur secondaire, F_r , tenant compte de la courbure terrestre, de la conductivité et de la constante diélectrique de la terre.

2.2.3 Formules utilisées [Johler et al., 1956]

2.2.3.1 Paramètres de conductivité, δ_e, δ_m

$$\delta_e = j(k_2^2/k_1^2)\alpha^{1/3}/((k_1 a)^{1/3}[(k_2^2/k_1^2) - 1]^{1/2})$$

(2.2.26)

$$\delta_m = k_1^2/(k_2^2) \delta_e$$

(2.2.27)

2.2.3.2 Facteur de correction dû à la hauteur de l'émetteur et du récepteur, $f_s(h_i)$

$$f_s(h_i) = [((k_1 a)^{2/3} 2h_i/a \alpha^{1/3} - 2\tau_s)/(-2\tau_s)]^{1/2}$$

$$\times H_{1/3}^{(1)}\{1/3[(k_1 a)^{2/3} 2h_i/a \alpha^{1/3} - 2\tau_s]^{3/2}/H_{1/3}^{(1)}\{1/3(-2\tau_s)^{3/2}\}\}$$

$i = 1, 2$

(2.2.28)

où $H_{1/3}^{(1)}$ est la fonction de Hankel de première espèce et d'ordre 1/3.

2.2.3.3 Racines de l'équation différentielle de Riccati, τ_s

Pour $s = 0, 1, 2, \dots$, $\tau_s = \tau_s(\delta_e)$ est une fonction de δ_e qui satisfait l'équation différentielle de Riccati:

$$\frac{d\delta_e}{d\tau_s} - 2\delta_e^2 \tau_s + 1 = 0 \quad (2.2.29)$$

et les conditions aux limites de cette fonction s'expriment comme suit:

$$\tau_s(0) = \tau_{s,0} \quad (2.2.30)$$

$$\tau_s(\infty) = \tau_{s,\infty} \quad (2.2.31)$$

2.2.4 Calculs des fonctions spéciales

2.2.4.1 Les fonctions de Hankel d'ordre et d'argument complexes [Berry, 1964, Watson, 1958, Jeffreys et Jeffreys (1956)]

Les fonctions de Hankel peuvent être évaluées à l'aide d'une méthode de quadrature gaussienne. Ces fonctions de Bessel de troisième espèce $H_\nu^{(1)}(z)$ et $H_\nu^{(2)}(z)$ sont des solutions linéairement indépendantes de l'équation différentielle:

$$z \frac{d^2 y}{dz^2} + z \frac{dy}{dz} + (z^2 - \nu^2)y = 0 \quad (2.2.32)$$

La représentation des fonctions de Hankel sous forme d'une intégrale peut s'écrire [Jeffreys et Jeffreys, 1956]:

$$H_\nu^{(1)}(z) = \frac{1}{\pi j} \int_{0, j}^{-\infty} \exp \left[\frac{z}{2} (\lambda - 1/\lambda) \right] d\lambda / (\lambda^{\nu+1}) \quad (2.2.33)$$

$$H_\nu^{(2)}(z) = \frac{1}{\pi j} \int_{\infty, j}^0 \exp \left[\frac{z}{2} (\lambda - 1/\lambda) \right] d\lambda / (\lambda^{\nu+1}) \quad (2.2.34)$$

où $R_e(z) > 0$.

Considérant d'abord l'équation (2.2.33) et le parcours d'intégration lui étant associé, nous avons:

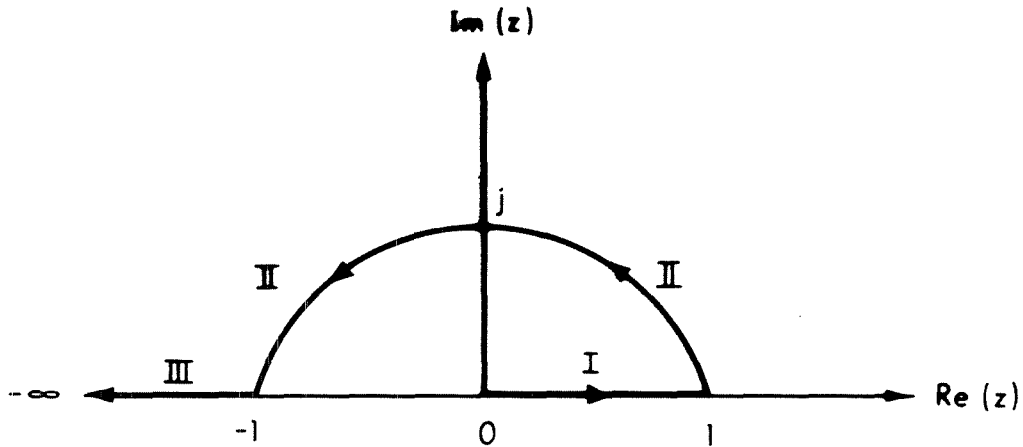


Figure 3. Parcours d'intégration pour l'équation (2.2.33)

La paramétrisation de cette courbe se fait en 3 étapes:

I- Posons $\lambda = u$, l'intégrale entre 0 et 1 devient:

$$\frac{1}{\pi j} \int_0^1 \exp \left[\frac{z}{2} \left(u - \frac{1}{u} \right) \right] du / (u^{\nu+1}) \quad (2.2.35)$$

II- Posons $\lambda = e^{j\theta}$, $d\lambda = je^{j\theta}$. Nous obtenons alors l'expression suivante:

$$\frac{1}{\pi j} \int_{\text{II}} \exp \left[\frac{z}{2} \left(\lambda - 1/\lambda \right) \right] d\lambda / (\lambda^{\nu+1}) = (1/\pi) \int_0^\pi \exp [jz \sin \theta - \nu j\theta] d\theta \quad (2.2.36)$$

III- Posons $\lambda = -1/u$, $d\lambda = du/u^2$. Nous avons cette fois-ci:

$$\frac{1}{\pi j} \int_{\text{III}} \exp\left[\frac{z}{2} (\lambda - 1/\lambda)\right] d\lambda/(\lambda^{\nu+1}) = \frac{1}{\pi j} \int_0^1 \exp\left[\frac{z}{2} (u - 1/u)u^{\nu-1} e^{-\nu\pi j}\right] du \quad (2.2.37)$$

En substituant les équations (2.2.35), (2.2.36) et (2.2.37) dans l'équation (2.2.33), nous obtenons finalement que:

$$\begin{aligned} H_{\nu}^{(1)}(z) &= \frac{1}{\pi j} \int_{\text{I+II+III}} \exp\left[\frac{z}{2} (\lambda - 1/\lambda)\right] d\lambda/(\lambda^{\nu+1}) \\ &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \exp[jz \sin\theta - \nu j\theta] d\theta \\ &\quad + \frac{1}{\pi j} \int_0^1 \exp\left[\frac{z}{2} (u - 1/u)\right] \cdot [u^{-\nu-1} + u^{\nu-1} e^{-\nu\pi j}] du \end{aligned} \quad (2.2.38)$$

quel que soit z tel que $R_e(z) > 0$. Nous verrons ultérieurement comment traiter le cas où $R_e(z) < 0$.

L'équation (2.2.38) présente une singularité en $u = 0$ et offre un comportement fortement oscillatoire. Pour obtenir une bonne précision de $H_{\nu}^{(1)}(z)$ par intégration numérique, nous pouvons utiliser une formule de quadrature de Gauss-Legendre à n noeuds. Nous pouvons alors démontrer que l'intégration d'un polynôme de degré $(2n-1)$ est exacte à l'aide d'une telle méthode. Par conséquent, un choix de n suffisamment grand nous donnera la précision désirée. Habituellement, un nombre de 48 noeuds doit être utilisé pour intégrer l'équation (2.2.38).

La méthode de quadrature de Gauss-Legendre consiste à évaluer l'intégrale définie:

$$\int_{-1}^{-1} f(x) dx$$

(2.2.39)

à l'aide d'une somme pondérée. En d'autres termes:

$$\int_{-1}^1 f(x) dx \cong \sum_{i=1}^n \omega_i f(x_i) \quad (2.2.40)$$

où:

$\{x_i\}_{i=1}^n$ est l'ensemble des racines des polynômes de Legendre de degré n ,
et où:

$\{\omega_i\}_{i=1}^n$ est l'ensemble des poids calculés de la façon suivante:

$$\omega_i = 2 / ((1 - x_i^2) [P'_n(x_i)]^2) \quad (2.2.41)$$

Les noeuds et les poids de la formule de Gauss-Legendre ont été tabulés pour un grand nombre de valeurs de n [Abramowitz et Stegun, 1965, Stroud et Secrist, 1966].

Pour intégrer numériquement l'équation (2.2.38) à l'aide de la méthode de quadrature de Gauss-Legendre, nous devons ramener l'intégrale définie sur l'intervalle $[-1, +1]$. De façon générale, si nous voulons intégrer sur $[a, b]$, nous pouvons nous ramener à l'intervalle $[-1, +1]$ en posant:

$$t = (2x-a-b)/(b-a) \quad (2.2.42)$$

Nous avons alors:

$$\int_a^b f(x) dx = \frac{(b-a)}{2} \int_{-1}^{+1} f\left[\frac{(b-a)t+b+a}{2}\right] dt \quad (2.2.43)$$

Comme il a été mentionné précédemment, l'équation (2.2.38) n'est valide que pour $\text{Re}(z) > 0$. Pour évaluer celle-ci lorsque $\text{Re}(z) < 0$, nous avons besoin des identités suivantes [Watson, 1958]:

$$H_\nu^{(1)}(ze^{-j\pi}) = 2 \cos \nu\pi H_\nu^{(1)}(z) + e^{-\nu\pi j} H_\nu^{(2)}(z)$$

où $H_\nu^{(2)}$ est calculé à l'aide de la relation due à Erdelyi [1953]:

$$H_\nu^{(1)}(z) = [H_{\nu^*}^{(2)}(z^*)]^* \quad (2.2.45)$$

et a pour conséquence, d'après (2.2.38):

$$H_\nu^{(2)}(z) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \exp[-jz \sin\theta + \nu j\theta] d\theta + \frac{j}{\pi} \int_0^1 \exp\left[\frac{z}{2} (u-1/u)\right] (u^{-\nu-1} + u^{\nu-1} \exp\nu\pi j) du \quad (2.2.46)$$

Nous obtenons finalement une expression de $H_\nu^{(2)}(z)$ pour $\text{Re}(z) < 0$ à l'aide de l'identité suivante:

$$H_\nu^{(2)}(ze^{-j\pi}) = -e^{\nu\pi j} H_\nu^{(1)}(z) \quad (2.2.47)$$

Il est important de mentionner que les fonctions de Hankel, comme beaucoup d'autres fonctions spéciales, sont multiformes. Ainsi, même si $e^{j\pi} = e^{-j\pi} = -1$, nous avons que:

$$H_\nu^{(1,2)}(ze^{j\pi}) \neq H_\nu^{(1,2)}(ze^{-j\pi}) \quad (2.2.48)$$

Enfin, soit z tel que $\text{Re}(z) > 0$, les fonctions de Hankel pour argument $-z$ sont calculées à l'aide des équations (2.2.44) et (2.2.47) avec $ze^{-j\pi} = -z$.

2.2.4.2 Les valeurs limites des racines de l'équation différentielle de Riccati ($\tau_{s,0}, \tau_{s,\infty}$) [Watson, 1958]

Par définition, $\tau_{s,0} = |\tau_{s,0}| \cdot e^{j\pi/3}$, $s = 0, 1, \dots$, sont les racines de:

$$H_{1/3}^{(1)} [1/3(-2 \tau_s)^{3/2}] = 0 \quad (2.2.49)$$

ou encore de:

$$J_{1/3} \left[\frac{1}{3} (-2 \tau_{s,0})^{3/2} e^{j\pi} \right] + J_{-1/3} \left[\frac{1}{3} (-2 \tau_{s,0})^{3/2} e^{j\pi} \right] = 0 \quad (2.2.50)$$

$$J_{1/3} \left[\frac{1}{3} (2|\tau_{s,0}|)^{3/2} \right] + J_{-1/3} \left[\frac{1}{3} (2|\tau_{s,0}|)^{3/2} \right] = 0 \quad (2.2.51)$$

Nous pouvons démontrer [Abramowitz et Stegun, 1965] que les racines de l'équation (2.2.51) sont les racines de la fonction d'Airy, $A_1(-2^{1/3}z)$. Les zéros d'une telle fonction sont alors donnés par (pour s assez grand):

$$z_s \approx \frac{y_1^{2/3}}{2^{1/3}} \left[1 + \frac{5}{48} y_1^{-2} - \frac{5}{36} y_1^4 + \dots \right] \quad (2.2.52)$$

où:

$$y_1 = \frac{3\pi}{8} (4s+3) \quad (2.2.53)$$

Puisque l'évaluation des fonctions de Bessel par la méthode de quadrature de Gauss-Legendre devient moins précise à mesure que l'argument s'accroît, nous devons alors calculer les premières racines $|\tau_{s,0}|$ (par exemple pour $s \leq 4$) à l'aide de (2.2.49). Ce calcul peut être effectué à l'aide de la méthode de bisection (ou de dichotomie). Pour $s > 4$, $|\tau_{s,0}|$ peut être évalué au moyen de l'équation (2.2.52).

De plus, par définition, $\tau_{s,\infty} = |\tau_{s,\infty}| \cdot e^{j\pi/3}$, $s = 0, 1, \dots$, soit les racines de:

$$H_{2/3}^{(1)} \left[\frac{1}{3} (-2 \tau_{s,\infty})^{3/2} \right] = 0 \quad (2.2.54)$$

ou encore de [Watson, 1958]:

$$J_{2/3} \left[\frac{1}{3} (-2 \tau_{s,\infty})^{3/2} \right] - J_{-2/3} \left[\frac{1}{3} (-2 \tau_{s,\infty})^{3/2} \right] = 0 \quad (2.2.55)$$

$$J_{2/3} \left[\frac{1}{3} (2|\tau_{s,\infty}|)^{3/2} \right] - J_{-2/3} \left[\frac{1}{3} (2|\tau_{s,\infty}|)^{3/2} \right] = 0 \quad (2.2.56)$$

Nous pouvons également démontrer que les racines de (2.2.56) sont les racines de $A_1^1(-2^{1/3}Z)$. Les zéros de cette dernière fonction sont alors donnés par (pour s assez grand):

$$z_s = \frac{y_z^{2/3}}{2^{1/3}} \left[1 - \frac{7}{48} y_z^{-2} + \frac{35}{288} y_z^{-4} - \dots \right] \quad (2.2.57)$$

où:

$$y_z = \frac{3\pi}{8} (4s+1) \quad (2.2.58)$$

La procédure pour le calcul de $|\tau_{s,\omega}|$ est la même que pour celui de $|\tau_{s,0}|$. De nouveau, la méthode de bisection sera utilisée pour le calcul des premiers termes ($s \leq 4$), cette méthode permettant de trouver une solution d'une fonction $f(x) = 0$ dans un intervalle $[a,b]$ pour lequel $f(a)$ et $f(b)$ sont des signes contraires.

2.2.4.3 Les racines de l'équation différentielle de Riccati [Howe, 1960]

Par définition, τ_s ($s = 0, 1, \dots$) sont les racines complexes de l'équation:

$$-1 H_{1/3}^{(1)}[1/3(-2\tau_s^{3/2})] e^{j\pi/3} / (\sqrt{-2\tau_s}) H_{2/3}^{(1)}[1/3(-2\tau_s)^{3/2}] - \delta_e = 0 \quad (2.2.59)$$

où δ_e est le paramètre de conductivité.

Nous pouvons vérifier que pour toute valeur de $s \geq 0$, τ_s vérifie l'équation différentielle de Riccati:

$$\frac{d\delta_e}{d\tau_s} - 2 \tau_s \delta_e^2 + 1 = 0 \quad (2.2.60)$$

Les racines τ_s peuvent être déterminées en décomposant cette dernière équation en série autour de δ_e (série croissante) ou de $1/\delta_e$ (série décroissante). Le cercle de convergence de ces séries est donné par:

$$|\delta_e^2 \tau_s| = 1/2 \quad (2.2.61)$$

Plus précisément, nous avons [Howe, 1960]:

$$\tau_s = \sum_{n=0}^{\infty} b_n \delta_e^n \quad (2.2.62)$$

avec:

$$b_0 = \tau_{s,0}$$

$$b_1 = -1$$

$$b_j = \frac{j-2}{j} \sum_{n=0}^{j-2} b_n \cdot b_{n-j} \quad (j \geq 2) \quad (2.2.63)$$

et

$$\tau_s = \sum_{j=0}^{\infty} A_j \quad (2.2.64)$$

où:

$$A_0 = \tau_{s,\infty}$$

$$A_1 = (-1/2 A_0) \delta_e^{-1}$$

$$A_j = \left[\frac{-1}{2A_0} \right] \left[\sum_{n=1}^{j-1} A_n \cdot A_{j-n} - \frac{(j-2)}{j} \delta_e^{-2} A_{j-2} \right] \quad j \geq 2 \quad (2.2.65)$$

Enfin, les racines, τ_s peuvent être calculées à l'aide de (2.2.62) et en cas de divergence, nous pouvons utiliser l'équation (2.2.64). Si la divergence persiste, il s'agit d'un cas où le calcul s'effectue trop près du cercle de convergence.

CHAPITRE 3

THÉORIE COMPLETE

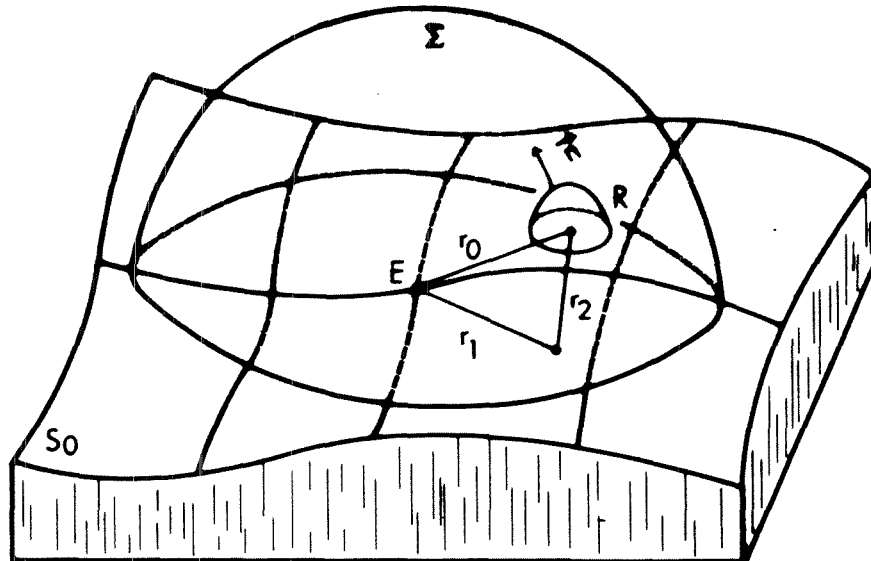
3.1 Historique

L'approche générale au problème de la propagation des ondes de basses fréquences au-dessus de la surface terrestre, considérée non homogène et irrégulière, fut marquée par les travaux des physiciens Leontovich (1944), Feinberg (1944), Leontovich et Fock (1946) et Hufford (1952).

En 1952, Hufford introduisit pour la première fois un modèle de propagation pouvant tenir compte du relief topographique; paramètre qui s'est avéré, depuis ce temps, de première importance dans l'analyse de ce problème. Comme dans de nombreux modèles de propagation, le champ décrivant le phénomène de propagation dérive d'une fonction scalaire (potentiel de Hertz) et satisfait une équation d'onde. Hufford a appliqué le deuxième théorème de Green sur une telle équation d'onde scalaire non homogène, considérant d'ailleurs la présence de la source ou de l'antenne émettrice. Cette procédure a résulté en une équation complète sous forme d'une intégrale bi-dimensionnelle définie au-dessus de la surface irrégulière de la terre. Cette identité de Green [Born, 1959] garantit rigoureusement le champ dans l'espace au-dessus de la surface de la terre, considérée irrégulière et non homogène, une fois que le champ à une telle surface a été déterminé. De plus, nous retrouvons la condition aux limites de Leontovich dans laquelle l'impédance de surface est utilisée afin de remplacer la dérivée partielle du champ par rapport à la normale de la surface par ce même champ à ladite surface. Ce concept d'impédance permet également l'introduction des propriétés géoélectriques du sol.

3.2 Théorie

Considérons une surface S_0 , représentée schématiquement à la figure suivante, s'étendant à l'infini sur le plan horizontal et composé de grandes irrégularités telles que le rayon de courbure en n'importe quel point de S_0 est beaucoup plus grand qu'une longueur d'onde.



Subdivision de l'espace d'intégration

Figure 4.

Soit $\Pi(r)$ une fonction scalaire décrivant mathématiquement la propagation de l'onde de sol au-dessus de la surface S_0 . Cette fonction satisfait alors les équations de Maxwell et l'équation d'onde suivante [Johler, 1977]:

$$(\nabla^2 + k_1^2)\Pi = -2\pi\gamma \quad (3.2.1)$$

où:

- k_1 = constante de propagation de l'air,
- ∇ = l'opérateur de Laplace,
- γ = la source distributrice de courant.

$$(3.2.2)$$

Dans les développements qui suivront, cette équation d'onde sera résolue à l'aide de certaines techniques d'approximation. Conséquemment, la solution finale ne constituera pas une solution exacte et sera sujette à certaines conditions.

Ainsi, à la surface S_0 , le potentiel de Hertz satisfait à une condition aux limites homogène de la forme [Hufford, 1952]:

$$\partial\Pi/(\partial n) = jk_1\chi\Pi, \quad (3.2.3)$$

c'est-à-dire l'approximation fondamentale connue sous le nom de la "condition aux limites de Leontovich (1944)". La dérivée par rapport à la normale du sol est exprimée par $\partial/\partial n$, $j = \sqrt{-1}$ et χ est une constante de proportionnalité complexe appelée "impédance locale de surface normalisée ou relative à l'espace libre". L'expression mathématique de cette quantité est la suivante [Johler, 1977 et 1978]:

$$\chi = Z/Z_0 \quad (3.2.4)$$

où:

Z = l'impédance du milieu,

Z_0 = l'impédance de l'espace libre et, par hypothèse, également celle de l'air, $Z_0 \approx 377$ ohms.

Pour les ondes polarisées verticalement au-dessus du sol considéré homogène, nous avons la relation particulière suivante [Johler, 1971]:

$$\chi = (k_1/k_2) [1 - k_1^2/k_2^2]^{1/2} \quad (3.2.5)$$

où:

k_i ($i = 1,2$) sont les constantes de propagation pour les milieux "i",

$k_1 = \omega\eta_1/c = (\omega/c)\sqrt{\epsilon_1}$ (milieu "air"),

$k_2 = (\omega/c) (\epsilon_2 + j\sigma/\omega)^{1/2}$ (milieu "terre").

Ce paramètre permet donc l'introduction des propriétés géo-électriques suivantes de la terre:

- la constante diélectrique du sol, ϵ_2 ,
- la conductivité du sol, σ (mhos/m),
- la permittivité de l'espace vide ou de l'air, ϵ_1 (H/m).

En général, la nature du sol n'est pas homogène mais celui-ci est plutôt stratifié géologiquement. La conductivité complexe découlant de telles non-homogénéités peut être reconstituée par un modèle simpliste tenant compte des différentes familles géologiques. Ainsi, un modèle de deux ou trois couches peut être utilisé afin d'établir, d'une façon plus précise, les conditions aux limites telles que rencontrées par les ondes de basses fréquences Loran-C à l'interface air/terre).

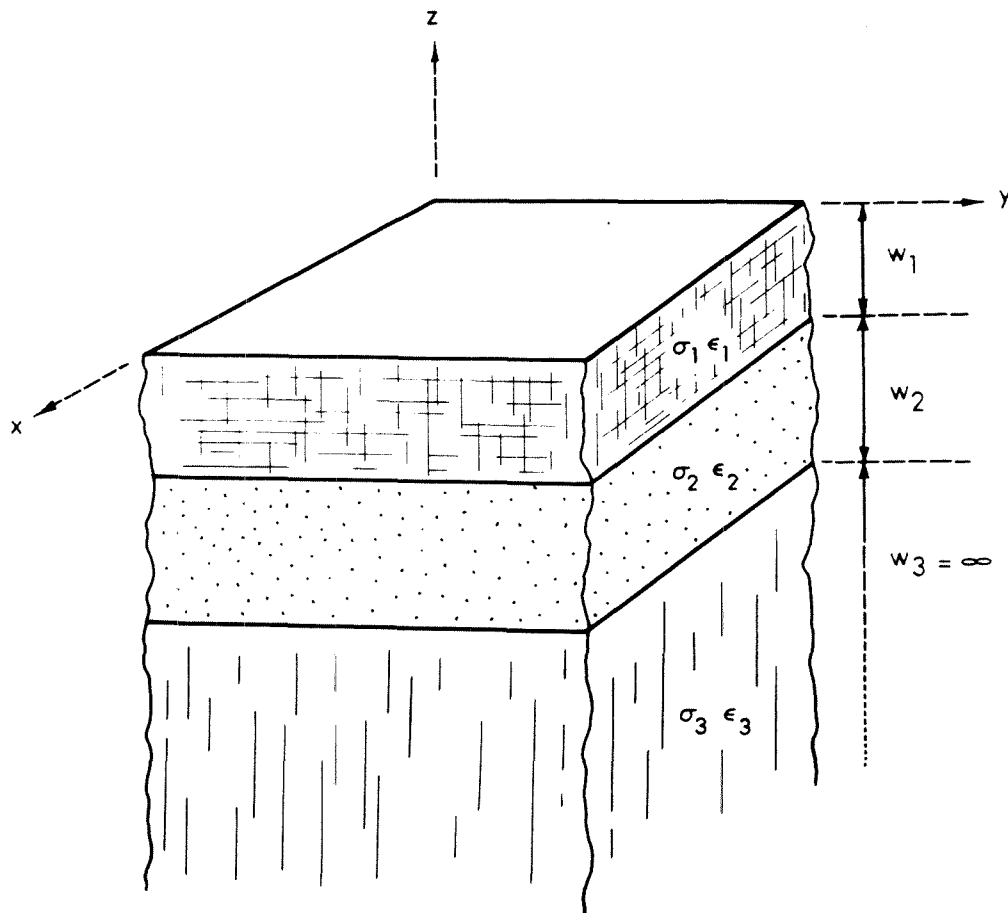


Figure 5. Sections géoélectriques du sol montrant trois couches géologiques distinctes.

Pour un tel cas, l'impédance Z peut être calculée à partir de [Johler, 1977, 1978]:

$$Z = E_v/H_u \quad (3.2.6)$$

où:

$$\begin{bmatrix} \xi_v \\ \xi_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & Z_{12} \\ Z_{21} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} H_v \\ H_u \end{bmatrix} \quad (3.2.7)$$

u, v, w étant les coordonnées du système cartésien permettant la description des champs électriques $\xi_{u,v}$ et des champs magnétiques H_{uv} .

L'impédance de surface normalisée est alors donnée par [Johler, 1977, 1978]:

$$\chi = Z/Z_0 = [(1-T)(1+T)^{-1}] \cos\psi \quad (3.2.8)$$

où ψ est l'angle d'incidence de l'onde sur la surface terrestre. Cet angle peut être réel ou complexe mais n'est pas critique. En fait, Z est presque indépendant de ψ . La quantité T est calculée à partir des conditions aux limites suivantes:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & 0 \\ 0 & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ 0 & 0 & 0 & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T \\ U_i^{(1)} \\ U_r^{(1)} \\ U_i^{(2)} \\ U_r^{(2)} \\ U_i^{(3)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.2.9)$$

où:

$$\begin{aligned}
 a_{10} &= a_{11} = -\cos\psi \\
 a_{20} &= a_{12} = a_{13} = -a_{21} = a_{34} = a_{35} = -a_{56} = -1 \\
 a_{23} &= -a_{22} = \sin^2\psi/\delta_1 + \delta_1^2 \\
 a_{32} &= \exp(-jk_1 \omega_1 \delta_1) \\
 a_{33} &= \exp(jk_1 \omega_1 \delta_1) \\
 a_{42} &= a_{22} a_{32} \\
 a_{43} &= a_{23} a_{33} \\
 a_{44} &= \sin^2\psi/\delta_2 + \delta_2^2 \\
 a_{45} &= -a_{44} \\
 a_{54} &= \exp(-jk_1 \omega_2 \delta_2) \\
 a_{55} &= \exp(jk_1 \omega_2 \delta_2) \\
 a_{64} &= a_{44} a_{54} \\
 a_{65} &= a_{45} a_{55} \\
 a_{66} &= \sin^2\psi/\delta_3 + \delta_3^2 \\
 \delta_q &= \epsilon_q - j \sigma_q (\epsilon_0 \omega)^{-1} \sin^2\psi \\
 q &= 1,2,3, \text{ soit en référence au modèle à trois couches; la} \\
 &\quad \text{numérotation s'effectuant de haut en bas.}
 \end{aligned}$$

(3.2.10)

Également, $\omega = 2\pi f$, où f est la fréquence en hertz, σ_q est la conductivité de la q ème couche géo-électrique, ϵ_q est la constante diélectrique et ω_q est la profondeur de cette même q ème couche, $\cos\psi$ et $\sin\psi$ sont respectivement le cosinus et le sinus de l'angle d'incidence sur la surface uv , $U_{i,r}^{(1)(2)}$ sont les ondes ascendantes (i) et descendantes (r) pour la première (1) et deuxième (2) couche.

La résolution du système d'équations (3.2.9) ne fait appel qu'aux méthodes de résolution de système d'équations linéaires à éléments complexes. A noter qu'en pratique $\cos\psi \approx 1$ et $\sin\psi \approx 0$.

Tel que mentionné précédemment, les équations (3.2.1) et (3.2.3) constituent des simplifications jugées raisonnables au problème de la propagation des ondes de basses-fréquences au-dessus de la surface terrestre. Ainsi, la première simplification (3.2.1) implique qu'une source polarisée verticalement (horizontalement) amènera principalement un champ polarisé verticalement (horizontalement). Par ailleurs, la validité de la seconde simplification, (3.2.3) a été l'objet de diverses argumentations en sa faveur, soit par les physiciens: Schelkunoff, Leontovich, Fock, Feinberg, Hufford, etc. De plus, cette dernière équation a tiré de l'expérience un résultat important à son utilisation, c'est-à-dire [Johler, 1977]:

$$|\chi|^2 \ll 1. \quad (3.2.11)$$

Maintenant, considérons le point d'intégration Q, situé sur la surface d'intégration à une certaine altitude au-dessus du niveau moyen des mers. En ce point, nous pouvons définir une fonction de Green [Johler, 1967]:

$$\varphi(Q) = \exp[-jk_1 r]/r \quad (3.2.12)$$

où r est la distance RQ où R est un point fixe quelconque. La solution du problème de propagation de l'onde de sol en présence d'un sol non homogène et irrégulier (tel que montré à la figure 6) peut alors être obtenue à partir de la seconde identité de Green [Johler, 1967]:

$$\int_V (\varphi \nabla^2 \Pi - \Pi \nabla^2 \varphi) dv = \int_{S_0 + \Sigma} (\Pi \frac{\partial \varphi}{\partial n} - \varphi \frac{\partial \Pi}{\partial n}) dA \quad (3.2.13)$$

où $\partial/\partial n$ est la dérivée le long de la normale à la surface d'intégration, S_0 représente la surface irrégulière, Σ une hémisphère de grande dimension et $(S_0 + \Sigma)$, la surface délimitant le volume V.

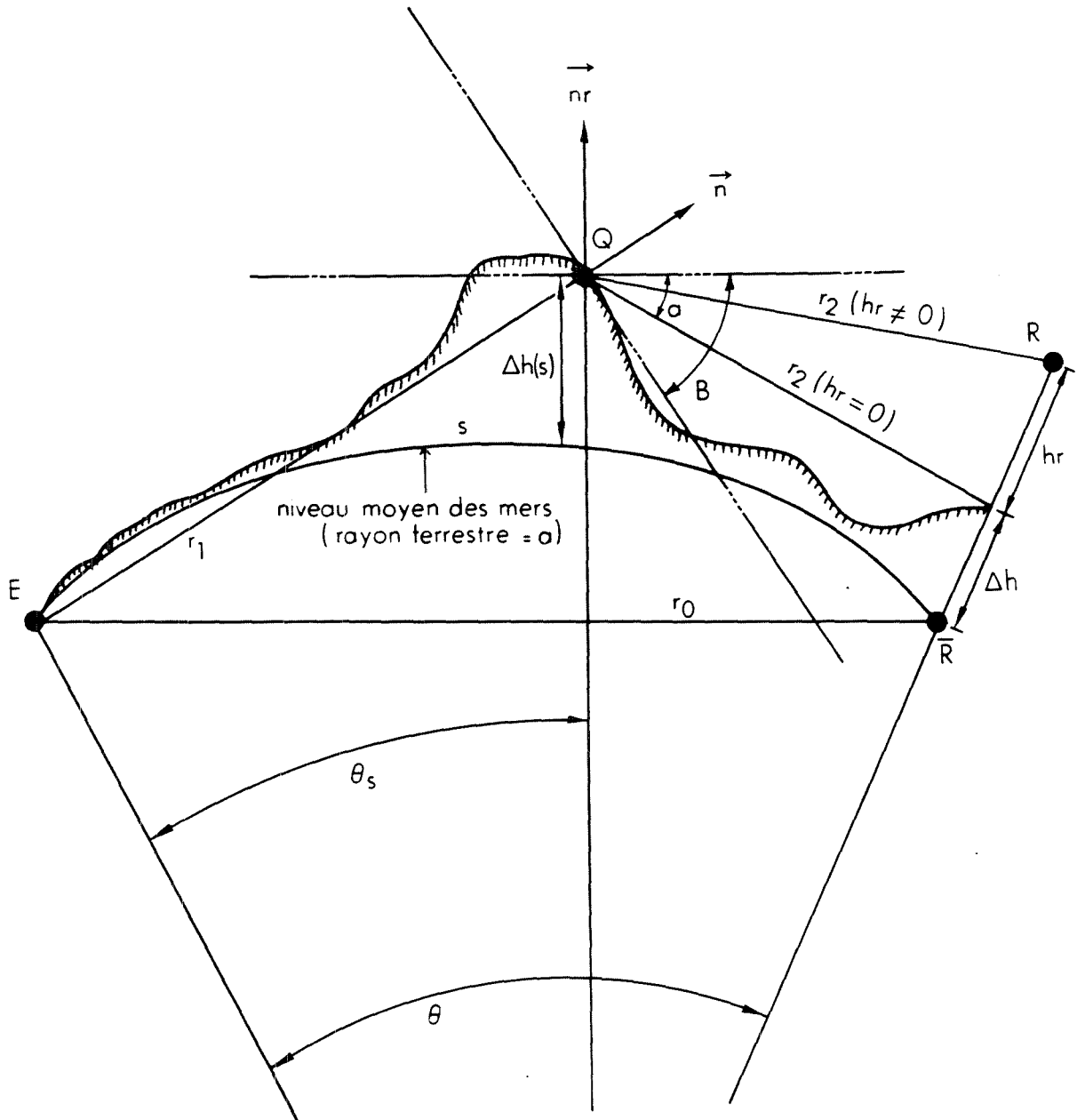


Figure 6. Paramètres géométriques et illustration du relief topographique considéré.

Le point R est un point fixe quelconque sur S_0 (point récepteur) et le point Q constitue la variable d'intégration dans les intégrales de volume et de surface. La surface Σ peut s'étendre à l'infini ($r_1 = \infty$, $r_2 = \infty$), tel que l'intégrand sur l'intégrale Σ tend vers zéro à cause de la condition d'irradiation suivante:

$$\lim_{r_1 \rightarrow \infty} r_1 \left[\frac{\partial}{\partial r_1} \Pi(Q) + jk_1 \Pi(Q) \right] = 0$$

(3.2.14)

Pour éviter des singularités, la surface S_0 exclue la source (E) et le point de réception (R). Dans de telles conditions, le potentiel de Hertz, $\Pi(R)$ peut être exprimé comme suit [Johler, 1967]:

$$\begin{aligned} \Pi(R) = & 2 \exp(-jk_1 r_0)/r_0 + (1/2\pi) \int_{S_0} \{ \Pi(Q) \frac{\partial}{\partial n} (\exp(-jk_1 r_2)/r_2) \\ & - (\exp(-jk_1 r_2)/r_2) \frac{\partial}{\partial n} \Pi(Q) \} dA \end{aligned} \quad (3.2.15)$$

ou en utilisant les équations (3.2.3) et (3.2.4), c'est-à-dire la condition aux limites de Leontovich:

$$\begin{aligned} \Pi(R) = & 2 \exp(-jk_1 r_0)/r_0 + (1/2\pi) \int_{S_0} \{ \Pi(Q) \frac{\partial}{\partial n} (\exp(-jk_1 r_2)/r_2) \\ & - (\exp(-jk_1 r_2)/r_2) jk_1 \chi \Pi(Q) \} dA \end{aligned} \quad (3.2.16)$$

C'est en fait la solution donnée par Hufford (1952) représentant l'évaluation de $\Pi(R)$ à partir d'un ensemble de points Q . Les distances r_0 , r_1 et r_2 (voir figure 6) sont coplanaires à un grand cercle de la sphère terrestre et peuvent s'écrire:

$$r_0^2 = a^2 + [a + \Delta h(x) + h_r]^2 - 2a[a + \Delta h(x) + h_r] \cos(\theta) \quad (3.2.17)$$

$$r_1^2 = a^2 + [a + \Delta h(s)]^2 - 2a[a + \Delta h(s)] \cos(\theta_s) \quad (3.2.18)$$

$$\begin{aligned} r_2^2 = & [a + \Delta h(x) + h_r]^2 + [a + \Delta h(s)]^2 - \\ & 2[a + \Delta h(x) + h_r] \times [a + \Delta h(s)] \cos(\theta - \theta_s) \end{aligned} \quad (3.2.19)$$

pour lesquelles, lorsque $h_r = 0$, le point R devient le point \bar{R} . La distance selon le grand cercle est donnée par $d = a\theta$ entre l'émetteur et le récepteur et par $s = a\theta_s$ de l'émetteur jusqu'au point Q. La quantité Δh représente l'altitude du sol au-dessus de la surface de référence (niveau moyen des mers) et h_r est l'altitude du lieu de réception au-dessus de la surface du sol. Nous sommes donc en présence de trois cas, c'est-à-dire que le récepteur est présumé être soit à une hauteur h_r de la surface du sol, soit au sol à une hauteur Δh du niveau moyen des mers ou soit

encore sur la surface de référence (NMM). Dans tous les cas, nous avons assumé que l'émetteur était situé sur la surface de référence ($r = a$). Si $D = r_0(h_r)$, nous pouvons conclure après de nombreuses approximations que le champ électrique vertical dans le guide d'onde terrestre est donné par [Johler, 1967]:

$$E_r = 29.97925 \frac{\exp(-jk_1 D)}{D} \left\{ \left[\frac{1}{D} (-2 \cos \theta) + \frac{1}{D^3} (2 \ar \sin^2 \theta) \right] + j \left[\frac{1}{D^2} \left(k_1 a r \sin^2 \theta + \frac{2 \cos \theta}{k_1} \right) + \frac{1}{D^3} (k_1 \ar \sin^2 \theta) + \frac{1}{D^4} \left(\frac{-3 \ar \sin^2 \theta}{k_1} \right) \right] \right\} W(R) \quad (3.2.20)$$

où $W(R)$ est une fonction d'atténuation, telle que:

$$W(R) = \Pi(R) / (2\Pi_{\text{pri}}(R)) \quad (3.2.21)$$

et

$$\Pi_{\text{pri}} = I_0 u_0 c \exp(j\omega t - ik_1 r_0) / (-4\pi j k_1 r_0) \quad (3.2.22)$$

L'équation (3.2.17) peut être réécrite en termes de la fonction d'atténuation $W(R)$ comme suit [Johler, 1967]:

$$W(R) = \left[1 + (-jk_1/2\pi) \int_{S_0} W(Q) \exp[-jk_1(r_1+r_2-r_0)] \left[\chi + \left(1 + 1/(jk_1 r_2) \frac{\partial r_2}{\partial n} \right) r_0 / (r_1 r_2) \right] dA \right] F \quad (3.2.23)$$

où:

$$F = \begin{cases} 1 & \text{si } Q \text{ est sur la surface,} \\ \frac{1}{2} & \text{si } Q \text{ est au-dessus de la surface} \end{cases} \quad (3.2.24)$$

De plus, il a été trouvé souhaitable de projeter la surface d'intégration S_0 sur la surface de référence (N.M.M.) S_0^1 , pour les besoins d'intégration.

Utilisant la notation avec trait pour identifier les quantités projetées, nous avons alors [Johler,1977]:

$$r'_0 = x = a\theta \quad (3.2.25)$$

$$r'_1 = a\theta_s = s \quad (3.2.26)$$

$$r'_2 = a(\theta - \theta_s) = x - s \quad (3.2.27)$$

où seules les distances selon les grands cercles sont données car pour le calcul du problème en deux dimensions les autres distances ont un effet négligeable [Johler, 1967]. Les transformations suivantes sont également requises:

$$r'_2 + r'_1 = r_0 \cosh u \quad (3.2.28)$$

$$r'_2 - r'_1 = r_0 \cos v \quad (3.2.29)$$

$$dA = r'_1 r'_2 du dv \quad (3.2.30)$$

Nous avons alors:

$$W(R) = \left[1 + (-jk_1/2\pi) \int_{S_0} W(Q') \exp[-jk_1(r'_1 + r'_2 - r'_0)] \right. \\ \left. \times F(Q') r'_0/(r'_1 r'_2) dA' \right] F \quad (3.2.31)$$

ou en tenant compte des transformations à (3.2.28) à (3.2.30):

$$W(R) = \left[1 + (-jk_1/(2\pi)) \int_{-\infty}^{\infty} \exp[-jk_1 r_0 (\cosh u - 1)] du \right. \\ \left. \cdot \int_0^{\pi} W(Q') \exp\{-j k_1 [(r_1 - r'_1) + (r_2 - r'_2) - (r_0 - r'_0)]\} \right. \\ \left. [\chi + (1 + 1/(jk_1 r_2)) \partial r_2 / \partial n] PdV \right] F \quad (3.2.32)$$

où le facteur de projection P est donné par:

$$P = \frac{s(x-s)}{r_1 r_2} \frac{r_0}{x} \frac{dA}{dA'} \quad (3.2.33)$$

Les limites de variation du domaine de u pour cette dernière intégrale sont évidemment $-\infty \leq u \leq \infty$ et pour le domaine de V, $0 \leq V \leq \pi$. Le facteur de projection approche l'unité lorsque la distance de E à R devient petite $P = 1$.

L'intégrale ayant les bornes $-\infty$ à ∞ dans le domaine de u peut être éliminée en notant que la phase du facteur exponentiel varie rapidement selon u partout excepté à $u = u_0 = 0$. Sous de telles conditions, la contribution principale de l'intégrale vient seulement lorsque la phase est stationnaire. Ce principe bien connu se nomme "principe de Kelvin" [Johler, 1977]:

$$\int_{-\infty}^{\infty} F(u) \exp[-jk_1 r f(u)] du \approx F(u_0) \exp[-jk_1 r f(u) - j\pi/4] \left[\frac{2\pi}{k_1 r f''(u_0)} \right]^{1/2} \quad (3.2.34)$$

$$\begin{aligned} f'(u) &= 0, \quad u = u_0 \\ f(u) &= \cosh u - 1, \quad f(u_0) = 0 \\ f'(u) &= \sin u = 0, \quad u = u_0, \\ f''(u) &= \cosh u = 1, \quad u = u_0. \end{aligned} \quad (3.2.35)$$

et nous avons alors:

$$F(u_0) \exp(-j\pi/4) \{2\pi/(k_1 x)\}^{1/2} \quad (3.2.36)$$

tel que:

$$W(x) = 1 - g(x) \int_0^x W(s) F(x,s) ds \quad (3.2.37)$$

$$F(x,s) = \left[\eta + \left(1 + \frac{1}{jk_1 r_2} \right) \frac{\partial r_2}{\partial n} \right] \sqrt{s(x-s)/x} \left(\frac{r_0}{r_1 r_2} \right) e^{-jk_1 r}$$

$$g(x) = e^{i\pi/4} \left(\frac{r_0}{x} \right) \sqrt{k_1/2\pi}$$
(3.2.38)

où:

$$r = r_1 + r_2 - r_0$$
(3.2.39)

C'est une intégrale de Volterra pour laquelle il est nécessaire d'utiliser une méthode de l'analyse numérique afin d'en donner une solution.

Les implications physiques de cette dernière forme sont:

- (1) Les ondes réfléchies de retour vers l'émetteur sont ignorées et la surface doit être continue et avoir une pente inférieure à 1.
- (2) Les variations de la surface perpendiculaire au parcours de propagation doivent être petites.

3.3 Solution numérique de l'équation intégrale

Dans la théorie complète de propagation de l'onde de sol Loran-C, apparaît un facteur d'atténuation W qui est solution de l'équation intégrale suivante [Johler, 1967, 1977]:

$$W(x) = 1 - g(x) \int_0^x W(s) f(s,x) ds$$
(3.3.1)

D'une façon générale:

$$r_0 = \left[h^2(x) + 2a(a+h(x)) \left(1 - \cos \frac{x}{a} \right) \right]^{1/2}$$
(3.3.2)

$$r_1 = \left[h(s)^2 + 2a(a+h(s)) \left(1 - \cos \frac{s}{a} \right) \right]^{1/2}$$
(3.3.3)

$$r_2 = \left[(h(x) - h(s))^2 + 2(a+h(x)) (a+h(s)) \left(1 - \cos \frac{(x-s)}{a} \right) \right]^{1/2}$$
(3.3.4)

L'approche usuelle pour la résolution d'une intégrale de Volterra, telle que l'équation (3.3.1), est la suivante:

Supposons que la fonction W soit connue aux points x_0, x_1, \dots, x_{n-1} . Nous avons alors:

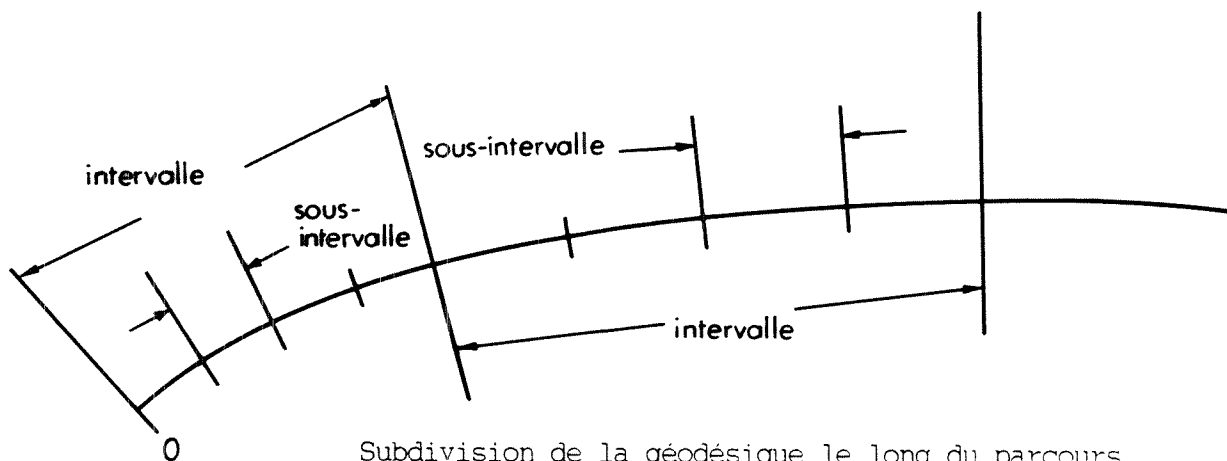
$$W(x_n) = 1 - g(x_n) \int_0^{x_n} f(s, x_n) W(s) ds. \quad (3.3.5)$$

L'évaluation de cette intégrale peut s'effectuer par une quadrature de la forme:

$$I \cong \sum_{i=1}^m \omega_i f(s_i, x_n) W(s_i) \quad (3.3.6)$$

Puisque W est supposé être connu aux points x_0, x_1, \dots, x_{n-1} , nous pouvons supposer également que les noeuds s_i correspondent aux points x_0, \dots, x_n . L'équation (3.3.5) devient alors, en utilisant l'équation (3.3.6), une équation linéaire qui permet la détermination de $W(x_n)$. Nous pouvons recommencer le processus et évaluer $W(x_{n+1})$ connaissant W aux points x_0, x_1, \dots, x_n .

En pratique, nous pouvons utiliser l'approche décrite ci-haut et diviser l'intervalle de base en j_0 segments qui eux-mêmes sont subdivisés en sous-intervalles de longueur égale, telle que:



Subdivision de la géodésique le long du parcours

Figure 7.

Il est à remarquer que les sous-intervalles ne sont pas nécessairement égaux d'un segment à l'autre. Il serait évidemment plus simple de prendre des sous-intervalles tous égaux, mais l'expérience montre que la validité de l'équation (3.3.6) dépend beaucoup de la distance qui sépare les points. Ainsi, dans un relief très accidenté, ces points devraient être très rapprochés (jusqu'à 100 m ou 200 m), de même que dans un milieu où la conductivité σ est très basse. Cependant, dans un relief plus faible (exemple: sur l'eau), nous pouvons permettre un espacement plus prononcé entre les points car la fonction $W y$ est beaucoup plus régulière. Comme le temps de calcul est relativement long et varie avec le carré du nombre de sous-intervalles, ces considérations ne sont pas à négliger.

La nature particulière du noyau $f(s,x)$ dans l'équation (3.3.1) amène une légère modification à l'approche précédemment décrite. En effet, l'intégrale:

$$\int_0^{x_p} W(s) f(s, x_p) ds$$

est impropre aux deux bornes; de sorte qu'on ne peut utiliser une méthode de quadrature du type de l'équation (3.3.6) qui utiliserait les noeuds x_0 ou x_n , car $f(s, x_n)$ tend vers l'infini en ces points. Nous devons donc séparer l'intégrale en 3 termes:

$$\int_0^{x_p} (\cdot) ds = \int_0^{x_4} (\cdot) ds + \int_{x_4}^{x_n} (\cdot) ds + \int_{x_n}^{x_p} (\cdot) ds \quad (3.3.7)$$

Si maintenant i_1, i_2, \dots, i_{j_0} sont les indices dénotant les changements du pas d'intégration et si $i_j \leq p \leq i_{j+1}$, nous pouvons écrire:

$$\int_{x_4}^{x_p} (\cdot) ds = \int_{x_4}^{x_{i_1}} (\cdot) ds + \int_{x_{i_1}}^{x_{i_2}} (\cdot) ds + \dots + \int_{x_{i_j}}^{x_p} (\cdot) ds \quad (3.3.8)$$

Chaque intégrale du membre de droite peut alors être calculée par la règle de Simpson qui, rappelons-le, s'exprime comme suit:

Si Y_0, Y_1, \dots, Y_{2m} sont également espacés et $h = Y_k - Y_{k-1}$,

$$\int_{Y_0}^{Y_{2m}} F(t) dt \cong \frac{h}{3} \left[F(Y_0) + F(Y_{2m}) + 2 \sum_{j=1}^{m-1} F(Y_{2j}) + 4 \sum_{j=1}^m F(Y_{2j-1}) \right] \quad (3.3.9)$$

Il reste maintenant à calculer les intégrales d'extrémités:

$$I_1 = \int_0^{x_4} W(s) f(s, x_n) ds \quad \text{et} \quad I_2 = \int_{x_n}^{x_p} W(s) f(s, x_p) ds. \quad (3.3.10)$$

Puisque $W(s) f(s, x_n)$ est de la forme $g(s)/\sqrt{s}$ où g est continu, l'intégrale impropre I_1 est de type $1/\sqrt{s}$ en R , et la singularité disparaît si nous effectuons le changement de variable $s = u^2$, $ds = 2u du$. Nous obtenons donc:

$$I_1 = 2 \int_0^{\sqrt{x_4}} W(u^2) f(u^2, x_p) u du \quad (3.3.11)$$

où l'intégrand est régulier sur $[0, \sqrt{x_4}]$. Nous pouvons alors intégrer cette dernière équation par une quadrature de Gauss-Legendre. Nous posons:

$$u = \sqrt{x_4} (t+1)/2, \quad du = \sqrt{x_4} dt/2$$

afin de ramener les bornes sur l'intervalle fondamentale $[-1, 1]$,

$$I_1 = (x_4/2) \int_{-1}^{+1} W\left(\frac{x_4}{4} (t+1)^2\right) f\left(\frac{x_4}{4} (t+1)^2, x_p\right) (t+1) dt \quad (3.3.12)$$

En utilisant la formule d'intégration de Gauss à k noeuds, nous avons:

$$I_1 \cong \frac{x_4}{2} \sum_{i=1}^k \omega_i W\left(\frac{x_4}{4} (t_i+1)^2\right) f\left(\frac{x_4}{4} (t_i+1)^2, x\right) (t_i + 1) \quad (3.3.13)$$

où les quantités t_i et ω_i sont respectivement les noeuds et les poids de Gauss.

Pour l'intégrale I_2 , la singularité est du type $1/\sqrt{x_n-s}$ en x_n et nous devons effectuer en premier lieu le changement de variable $x_n-s = u^2$, $ds = -2udu$,

$$I_2 = \int_0^{\sqrt{x_n-x_p}} W(x_n-u^2) f(x_n-u^2, x_n) u du \quad (3.3.14)$$

Puis, en posant $u = \sqrt{x_n-x_p} (t+1)/2$, $du = (\sqrt{x_n-x_p}) dt/2$,

$$I_2 = \frac{x_n-x_p}{2} \int_1^{\sqrt{x_n-x_p}} W\left(x_n - \left(\frac{x_n-x_p}{4} (t+1)^2\right) x \right. \\ \left. f\left(x_n - \left(\frac{x_n-x_p}{4} (t+1)^2, x_n\right) (t+1) dt \right) \quad (3.3.15)$$

$$I_2 \cong \frac{x_n-x_p}{2} \sum_{i=1}^s \omega_i W\left(x_n - \left(\frac{x_n-x_p}{4} (t_i+1)^2\right) x \right. \\ \left. f\left(x_n - \left(\frac{x_n-x_p}{4} (t_i+1)^2, x_n\right) (t_i+1) \right) \quad (3.3.16)$$

Il est à remarquer que la fonction n'est connue qu'aux points x_0, x_1, \dots, x_{n-1} . Pour évaluer la fonction W aux points particuliers qui apparaissent aux équations (3.3.12) et (3.3.18), nous devons donc utiliser une formule d'interpolation.

Pour une fonction g et y_0, y_1, \dots, y_m , le polynôme de degré $\leq m$ qui interpole g aux points y_0, y_1, \dots, y_m (le polynôme de Lagrange) est donné par:

$$p(y) = \sum_{i=0}^m g(y_i) \ell_i(y) \quad (3.3.17)$$

où:

$$\ell_i(y) = \frac{\prod_{j \neq i} (y - y_j)}{\prod_{j \neq i} (y_i - y_j)} \quad i = 0, 1, \dots, m \quad (3.3.18)$$

3.4 Traitement du relief

Pour les calculs initiaux, afin d'illustrer l'effet d'une simple crête de montagne sur la propagation de l'onde de sol, nous pouvons utiliser la représentation mathématique d'une telle forme par une courbe gaussienne. Nous définissons alors [Johler, 1977]:

$$\Delta h(s) = Z(s) = H \exp\{-9 (s_0 - s)^2 / L\} \quad (3.4.1)$$

où s est la distance de l'émetteur, $s = s_0$ est la distance de l'émetteur au centre de la montagne, L est la largeur de celle-ci (en mètres) et H sa hauteur (en mètres). Les paramètres H , s_0 et L peuvent varier afin de modéliser des crêtes de différentes dimensions.

En général, la dérivée normale $\partial r_2 / \partial n$ de l'équation (3.2.38) tient compte de l'effet du terrain sur l'ensemble du parcours de propagation. Elle peut être calculée à partir de [réf.: Johler (1977)]:

$$\partial r_2 / \partial n = \vec{\nabla} r_2 \cdot \vec{n} \quad (3.4.2)$$

où, en utilisant les vecteurs unitaires \vec{n}_s et \vec{n}_z , nous avons:

$$\begin{aligned} \vec{n} = & -\Delta h^1(s) \{1 + [\Delta h^1(s)]^2\}^{-1/2} \vec{n}_s \\ & + \{1 + [\Delta h^1(s)]^2\}^{-1/2} \vec{n}_z \end{aligned} \quad (3.4.3)$$

en deux dimensions. La quantité $\Delta h^1(s) = -\partial z / \partial s$, soit la dérivée du terrain en deux dimensions. Ainsi,

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} r_2 \cdot \vec{n} = & \left[\vec{n}_s \frac{\partial r_2}{\partial s} + \vec{n}_z \partial r_2 / \partial \Delta h(s) \right] \cdot [\Delta h^1(s) \vec{n}_s + \vec{n}_z] \\ & + \{1 + [\Delta h^1(s)]^2\}^{-1/2} \end{aligned} \quad (3.4.4)$$

$$\frac{\partial r_2}{\partial s} \cong - \left(\frac{x-s}{r_2} \right) \quad (3.4.5)$$

$$\frac{\partial r_2}{\partial h(s)} \cong \frac{\Delta h(x) - \Delta h(s)}{r_2} \quad (3.4.6)$$

ou:

$$\frac{\partial r_2}{\partial n} = \{ \Delta h^1(s) - (\Delta h(x) - \Delta h(s)) / (x-s) \} \left[\frac{x-s}{r_2} \right] \left[1 + [\Delta h^1(s)]^2 \right]^{-1/2} \quad (3.4.7)$$

Ceci peut être accompli d'une façon plus précise par [Johler, 1977]:

$$\begin{aligned} r_2^2 = & [a + \Delta h(x)]^2 + [a + \Delta h(s)]^2 - 2[a + \Delta h(x)] x \\ & [a + \Delta h(s)] \cos \left(\frac{x-s}{a} \right) \end{aligned} \quad (3.4.8)$$

qui peut être réécrite en insérant l'altitude de l'observateur, h_r par:

$$r_2^2 = 2[a + \Delta h(x) + h_r] [a + \Delta h(s)] \left\{ 1 - \cos\left(\frac{x-s}{a}\right) \right\} \times$$

$$[\Delta h(x) + h_r - \Delta h(s)]^2$$
(3.4.9)

Par conséquent:

$$\frac{\partial r_2}{\partial n} = \frac{1}{r_2} \left\{ a \left[1 - \cos\left(\frac{x-s}{a}\right) \right] - [\Delta h(x) + h_r] \cos\left(\frac{x-s}{a}\right) \right.$$

$$+ \Delta h(s) - a \left[1 + \frac{\Delta h(x) + h_r}{a} \right] \left[1 + \frac{\Delta h(s)}{a} \right]$$

$$\left. \sin\left(\frac{x-s}{a}\right) \left[\frac{\partial s}{\partial n} \right] \left[\frac{\partial}{\partial n} \Delta h(s) \right]^{-1} \right\} \left\{ \frac{\partial}{\partial n} \Delta h(s) \right\}$$
(3.4.10)

A la figure 6,

$$\frac{\partial s}{\partial n} = \cos[\pi/2 - \beta] = \sin\beta \cong -\Delta h^1(s) \{1 + [\Delta h^1(s)]^2\}^{1/2}$$
(3.4.11)

$$\frac{\partial \Delta h(s)}{\partial n} = \left\{ 1 + \left(\frac{\Delta h^1(s)}{1 + \frac{\Delta h(s)}{a}} \right)^2 \right\}^{-1/2} \cong [1 + [\Delta h^1(s)]^2]^{-1/2}$$
(3.4.12)

Nous trouvons finalement:

$$\frac{\partial r_2}{\partial n} = \left\{ a \left[1 - \cos\left(\frac{x-s}{a}\right) \right] + \Delta h(s) - [\Delta h(x) + h_r] \cos\left(\frac{x-s}{a}\right) \right.$$

$$+ a \left[\left(1 + \frac{\Delta h(x) + h_r}{a} \right) / \left(1 + \frac{\Delta h(s)}{a} \right) \right] \Delta h^1(s) \sin\left(\frac{x-s}{a}\right) \left. \right\}$$

$$\left\{ r_2 [1 + (\Delta h^1(s)/(1 + \Delta h(s)/a))^2] \right\}^{1/2}$$
(3.4.13)

Pour de faibles valeurs de $x-s$, nous avons:

$$1 + \Delta h(s)/a \approx 1$$
(3.4.14)

$$\cos\left(\frac{x-s}{a}\right) \approx 1$$
(3.4.15)

$$\sin\left(\frac{x-s}{a}\right) \cong \frac{x-s}{a}$$
(3.4.16)

3.5 Détermination de la correction secondaire de phase

Deux champs sont utilisés par le système Loran-C dans son mode de propagation magnétique transverse (TM). Ceux-ci sont, utilisant le système de coordonnées sphériques (r, θ, φ) , le champ électrique E_r , détecté par une antenne verticale de type "whip" et le champ H_φ détecté par une antenne de type "loop".

Ces champs sont calculés à partir des équations de Maxwell comme suit [Johler, 1976]:

$$E_r = F_{ie} WC \quad (3.4.1)$$

$$H_\varphi = F_{im} WC \quad (3.4.2)$$

où:

$$W = \frac{\pi}{2\pi} \text{pri}$$

$$C = I\ell\mu_0 c / 4\pi \quad (3.4.3)$$

La quantité $I\ell$ (ampère/mètre) représente le moment de courant de l'antenne qui est présumé être un dipôle de distribution de courant uniforme sur sa longueur. Les paramètres F_i , (F_{ie} et F_{im}) dépendent de la nature de l'antenne réceptrice et représentent le champ d'induction de celle-ci. A de grandes distances de l'antenne émettrice:

$$F_{ie} = 1 \quad \text{et} \quad F_{im} = (z_0)^{-1} \quad (3.4.4)$$

Autrement,

$$\begin{aligned} F_{ie} = & \{ [D^{-1}(-2 \cos\theta) + D^{-3}(3 aa^1 \sin^2\theta)] \\ & + j[D^{-2}(k_1 aa^1 \sin^2\theta + 2 k_1^{-1} \cos\theta) \\ & + D^{-4}(-3aa^1 k_1^{-1} \sin^2\theta)] \} (jk)^{-1} \end{aligned} \quad (3.4.5)$$

et

$$F_{im} = (u_0cd)^{-1} (k_1 a^1 \sin\theta) [1 + (jk_1 D)^{-1}] \quad (3.4.6)$$

où:

$$\begin{aligned}
 a' &= a + h_r \\
 D^2 &= (a')^2 + a^2 - 2aa' \cos\theta \\
 \theta &= D/a \\
 a &= \text{rayon terrestre} \\
 h_r &= \text{altitude de l'observateur au-dessus de la sphère terrestre.}
 \end{aligned}
 \tag{3.4.7}$$

Lorsque la distance d de l'émetteur au point considéré devient petite, et en assumant alors que $h_r = 0$, nous avons dans ce cas:

$$\begin{aligned}
 \cos\theta &\approx 1 \\
 \sin\theta &\approx d/a \\
 D &\approx d
 \end{aligned}
 \tag{3.4.8}$$

et

$$F_{ie} = 1 + (jk_1d)^{-1} + (jk_1d)^{-2}
 \tag{3.4.9}$$

$$F_{im} = Z_0^{-1} [1 + (jk_1d)^{-1}]
 \tag{3.4.10}$$

où:

$$Z_0 = \mu_0 c \approx 377 \text{ ohms, soit l'impédance de l'espace vide.}$$

Enfin, la quantité W , calculée précédemment, nous permet de déterminer la correction secondaire de phase comme suit:

$$t_c = 10^6 \arg(WF_i) / \omega
 \tag{3.4.11}$$

Dans le cas qui nous intéresse, nous considérons que l'émetteur est un dipôle qui est sensible au champ électrique vertical. On a donc:

$$t_c = 10^6 \arg(W F_{ie}) / \omega
 \tag{3.4.12}$$

RÉFÉRENCES

- ABRAMOWITZ, M. et I. STEGUN. *Handbook of Mathematical functions*. NBS AMS 55 (U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.20402) 1965.
- BERRY, L. *Computation of Hankel Functions*. NBS 216, 1964.
- BREMMER, H. *Terrestrial Radiowaves*. Elsevier Publ. Co. 1949, New York.
- FEINBERG, E. *On the Propagation of Radio Waves Along an Imperfect Surface*. J.Phys. USSR, 8, 317-330, 9, 1-6, 10, 410-418, 1944,1946.
- HOWE, Hebert. *Note on the Solution of Riccati's Differential Equation*. NBS, Vol. 64B, No 2, April-June 1960.
- HUFFORD, G.A. *An Integral Equation Approach to the Problem of Wave Propagation over an Irregular Surface*. Quart. Appl, Math 9, p. 391, 1952.
- JEFFREYS, H. et B. JEFFREYS. *Methods of Mathematical Physics*. 1956.
- JOHLER, J.R., W.J. KELLER and L.C. WALTERS. *Phase of the Low Radio Frequency Ground Wave*. National Bureau of Standard Circular 573, juin 1956.
- JOHLER, J.R. et L.A. BERRY. *Loran-D Phase Corrections Over Inhomogeneous, Irregular Terrain*. ESSA Technical Report IER 59 - ITSA 56, 1967.
- JOHLER, J.R. *Loran Radio Navigation Over Irregular, Inhomogeneous Ground with Effective Ground Impedance Maps*. ITS, Research and Engineering Report 22, 1971.
- JOHLER, J.R. *Loran-C Propagation Error Corrections Over Non Homogeneous Irregular Ground Using the Integral Equation Technique*. CRPL; Report 77-9, 1977.

- JOHLER, J.R. *Geophysical and Geological Data Base Evaluation for Loran-C Ground Wave Propagation Medium*. CRPLi Report 78-9, 1978.
- LEONTOVICH, M.A. *On a Method of Solving the Problem of Electromagnetic Waves Near the Surface of the Earth*. Bull. de l'Acad. des Sci. de l'URSS, Série Physique, 8, 16-22, 1944.
- LEONTOVICH, M.A. et V. FOCK. *Solution of the Problem of Electromagnetic Waves Along the Earth's Surface by the Method of Parabolic Equations*. J. Phys. USSR, 10, 13-24.
- MACDONALD, H.M. *The Bending of Electric Waves Round a Conducting obstacle*. Proc. Roy. Soc., 71, 251, 1903.
- NORTON, K.A. *Physical Reality of Space and Surface Waves in the Radiation Field of Radio Antennas*. Proc. Inst. Radio Engrs. 25, 1192, 1937.
- NORTON, K.A. *The Propagation of Radio Waves Over the Surface of the Earth and in the Upper Atmosphere II*. Proc. Inst. Radio Engrs. 25, 1203, 1937.
- SOMMERFELD, A. *Ueber die Ausbreitung der Wellen in der Drahtlosen Telegraphie*. Ann. Phys. Lpz. (4), 28, 665, 1909 et 81, 1135, 1936.
- VAN DER POL, B. et H. BREMMER. *Diffraction of Electromagnetic Waves from an Electrical Point Source Round a Finitely Conducting Sphere*. Phil. Mag. Ser. (7), 24, 825 (1937); 25, p. 817, 1939.
- WATSON, G.N. *The Transmission of Electric Waves Around the Earth*. Proc. Roy. Soc. A95, 83, 1918.
- WATSON, G.N. *A Treatise on the Theory of Bessel Functions*. 1958.

PARTIE II

ÉVALUATION DU DÉPHASAGE
SECONDAIRE DES ONDES LORAN-C
RÉGION DU GOLFE ST-LAURENT

MAS #UP-L-299

Rapport de recherche
présenté à

PAUL BELLEMARRE
PÊCHES ET OCÉANS
SERVICE HYDROGRAPHIQUE DU CANADA

par

DR JEAN-GUY LECLERC
DÉPARTEMENT DES SCIENCES GÉODÉSIQUES
ET DE TÉLÉDÉTECTION
PAVILLON CASALT, UNIVERSITÉ LAVAL

Avril 1988

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE 0. INTRODUCTION	4
CHAPITRE 1. THÉORIE CLASSIQUE programmes non utilisés dans DEPHASE	6
1.1 Programme "PLATEDP"	6
1.2 Sous-programme "subroutine ERF (Z, ω)"	7
1.3 Programme "DSPHER"	8
1.4 Sous-programme "FONCTION FS(H,J)"	11
1.5 Sous-programme "SUBROUTINE HAENKEL (IK,CH)"	11
1.6 Sous-programme "SUBROUTINE TAUS (J, DELTA, REP, ID)"	12
1.7 Programme BISECT	13
1.8 Sous-programme "FONCTION COMPLEX F"	14
1.9 Programme AIRY1	15
1.10 Programme AIRY2	15
CHAPITRE 2. THÉORIE COMPLÈTE	17
2.1 Programme "PRINCIPAL"	17
2.1.1 Sous-programme INITCONST	20
2.1.2 Sous-programme INPUT	20
2.1.3 Sous-programme BANQUE	20
2.1.4 Sous-programme IMPEDFI	20
2.2 Sous-programme "SUBROUTINE INCREMENTATION"	21
2.3 Sous-programme "SUBROUTINE SODANO-INVERSE"	22
2.3a "SUBROUTINE QUADRANT12"	23
2.4 Sous-programme "SUBROUTINE SODANO-DIRECT"	24
2.5 Sous-programme "SUBROUTINE LAMBERT"	25
2.5a Sous-programme "SUBROUTINE LATISOMET"	26
2.6 Sous-programme "SUBROUTINE MERCATOR"	27
2.7 Sous-programme "SUBROUTINE ROTATION"	27
2.8 Sous-programme "SUBROUTINE HAUTEUR"	28
2.9 Sous-programmes permettant la résolution de systèmes d'équations linéaires	29
2.9.1 Sous-programme "SUBROUTINE INVERSE"	30
2.9.2 Sous-programme "SUBROUTINE FACTOR"	30
2.9.3 Sous-programme "SUBROUTINE SUBST"	31
2.9.4 Sous-programme "SUBROUTINE INITIAL"	32
2.9.5 Sous-programme "SUBROUTINE MULTI"	32
2.10 Sous-programme "SUBROUTINE NUMERIALT"	33
2.11 Sous-programme "SUBROUTINE DIGITA"	33
2.12 Sous-programme "SUBROUTINE GEOLEC"	37
2.13 Sous-programme "SUBROUTINE EQLNCOMPLEX"	38
2.14 Sous-programme "SUBROUTINE IMPED"	39
2.15 Sous-programme "SUBROUTINE DMS-RAD"	40
2.16 Sous-programme permettant le calcul de la fonction d'atténuation	40

2.16.1	Sous-programme	"SUBROUTINE EQINTEG"	41
2.16.2	Sous-programme	"SUBROUTINE PLATE"	41
2.16.3	Sous-programme	"SUBROUTINE ERFC"	42
2.16.4	Sous-programme	"FUNCTION HMCOS(TETA)"	43
2.16.5	Sous-programme	"SUBROUTINE TRIANG"	43
2.16.6	Sous-programme	"FUNC"	44
2.16.7	Sous-programme	LAGRANGE	44
2.16.8	Sous-programme	GAUSSINIT	45

CHAPITRE 0.

INTRODUCTION

Cette partie du rapport est une présentation des programmes et sous-programmes conçus en accord avec la théorie sur la prédiction des ondes LORAN-C présentée dans la partie théorique.

La première partie porte sur la théorie classique applicable au cas où la terre est considérée de nature homogène et régulière, c'est-à-dire caractérisée de constantes électriques uniformes sur toute sa surface et ne comportant aucune irrégularité de terrain. Les résultats combinés des programmes pour la terre plate (PLATEDP) et pour la terre sphérique (DSPHER) ont comme fonction d'établir des courbes de référence (amplitude et phase) aux courbes obtenues par la solution complète. Le programme PLATEDP sert également comme sous-programme au problème intégral (INTEGRATION) afin d'initialiser le processus de calcul séquentiel de la phase et de l'amplitude des ondes LORAN-C.

La deuxième partie du rapport porte sur la théorie complète pour laquelle la terre est considérée non homogène et irrégulière. Le modèle choisi consiste en l'utilisation de trois couches géo-électriques à partir desquelles le paramètre impédance sera déterminé en chacun des points prédéterminés le long d'un parcours de propagation du signal LORAN-C. L'information altimétrique sera également requise en ces points. La conception du programme et des sous-programmes tient compte de la particularité du présent cas. Ainsi, étant donné l'utilisation de bandes de numérisation afin de démontrer la viabilité d'une solution analytique telle que celle de Hufford (1952), les algorithmes permettant la création des banques de données altimétriques et géo-électriques sont indépendants de ceux reliés à la solution proprement dite du problème intégral.

L'application de la solution proposée à une utilisation généralisée ne nécessitera donc que la création, de nouveau, de ces banques de données.

CHAPITRE 1THÉORIE CLASSIQUE1.1 Programme "PLATEDP"

Ce programme a pour but de calculer le facteur secondaire, $F(\text{FAC})$, la correction secondaire de phase φ_c (PHI), et son équivalent en microsecondes, t_c (TC), au moyen d'un modèle de propagation de l'onde se sol où on considère la terre plate et les paramètres géoélectriques constants.

Les calculs sont tous effectués en double précision en FORTRAN 77.

Paramètres d'entrée

EPS1 = permittivité de l'air = $\epsilon_1 = 1.000676$ farads/mètre

EPS2 = constante diélectrique relative à la terre = ϵ_2

$\epsilon_2 = 15$ (sol)

$\epsilon_2 = 80$ (eau)

CMU0 = perméabilité de l'espace libre = $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ henry/m

OMEGA = fréquence angulaire = $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 100 \times 10^3$ Hz

SIGMA = conductivité du milieu = σ

$\sigma = 0,0001$ (sol)

à $\sigma = 0,005$ (eau)

c = vitesse de la lumière dans le vide = c

$c = 2.99792458 \times 10^8$ m/s

DIST = vecteur des distances, d, pour lesquelles les paramètres de sortie sont à calculer (en mètres).

Constantes calculées

CK1 = constante de propagation de l'air = k_1

$$k_1 = \omega/c \sqrt{\epsilon_1}$$

CK2 = constante de propagation de la terre = k_2

$$k_2 = (\omega/c) (\epsilon_2 + j\sigma\mu_0 c^2/\omega)^{1/2}$$

RHO1 = distance numérique de Sommerfeld = ρ_1

$$\rho_1 = (j k_1^3 / 2k_2^2) (1 - k_1^2/k_2^2)d$$

Paramètres de sortie

FAC = facteur secondaire = F

$$F = Y(\rho_1) f(\sigma_1 \epsilon) - \frac{1}{j(k_1 d)} + \frac{1}{(jk_1 d)^2}$$

PHI = phase du facteur secondaire = $\varphi_C = \arg F$

TC = correction secondaire en microsecondes = t_C

$$t_C = (\varphi_C / \omega) 10^6$$

1.2 Sous-programme "subroutine ERF (Z, ω)"

Ce sous-programme calcule la fonction $W(Z)$ qui est reliée à la fonction complémentaire d'erreur erfc par la formule:

$$W(Z) = \exp(-Z^2) \operatorname{erfc}(-jZ)$$

Paramètre d'entrée

Z = argument de la fonction $W = Z$

Paramètre de sortie

WW = fonction W = W

Puisque, par hypothèse, ce modèle de propagation considère que la terre est plate, celui-ci n'est valide que pour des distances relativement rapprochées de la source. Par conséquent, il convient d'utiliser les résultats de la théorie de la terre-plate pour les courtes distances et la série de résidus (théorie de la terre-sphérique) pour les longues distances. D'une façon grossière, nous pouvons utiliser l'inégalité suivante:

Courtes distances		Longues distances
théorie de la terre-plate	< $5 \lambda^{1/3}$ km < *(72 km)	Théorie de la terre-sphérique

où λ est la longueur d'onde en km. Pour le système LORAN-C(*), $5\lambda^{1/3}$ km \approx 72 km [Réf.: Samaddar (1979)].

1.3 Programme "DSPHER"

Ce programme calcule le facteur secondaire, F(SEC), la correction secondaire de phase, φ_c (PHI), et son équivalent en microsecondes, t_c (TC), en supposant des paramètres géoélectriques constants et en utilisant un modèle de propagation de l'onde de sol le long de la terre considérée sphérique. Les calculs sont tous effectués en double précision avec le langage FORTRAN 77.

Paramètres d'entrée

EPS1 = permittivité de l'air = $\epsilon_1 = 1.000676$ (F/m)

EPS2 = constante diélectrique relative à la terre = ϵ_2

$\epsilon_2 = 15$ (sol)

$\epsilon_2 = 80$ (eau)

RAY = rayon de la terre (sphérique) en mètres = a

a = 6.36739×10^6 m

MU0 = perméabilité de l'espace libre = $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m

OMEGA = fréquence angulaire = $\omega = 2\pi f = 2\pi \times 100 \times 10^3$ KHz

SIGMA = conductivité du milieu = σ

$\sigma = 0,0001$ (sol)

à $\sigma = 0,005$ (eau)

c = vitesse de la lumière dans le vide = C

C = 2.99792458×10^8 m/s

ALPHA = facteur de variation verticale de la permittivité = α

H1 = hauteur de l'émetteur (m) = h_1

H2 = hauteur du récepteur (m) = h_2

DIS = vecteur contenant les distances pour lesquelles nous voulons calculer la correction de phase (en mètres) = d

TAU0 = contient les normes de tau indice "s" pour delta = 0 et s = 0,1, ..., 70 = $|\tau_{s,0}|$

TAUINF = contient les normes de tau indice "s" pour delta = ∞ et s = 0,1, ..., 70 = $|\tau_{s,\infty}|$

Constantes calculées

CK1 = constante de propagation de l'air = k_1

$k_1 = \omega/c \sqrt{\epsilon_1}$

CK2 = constante de propagation de la terre = k_2

$k_2 = (\omega/c) (\epsilon_2 + j\sigma\mu_0 c^2/\omega)^{1/2}$

DELTA = paramètre de conductivité et de permittivité = δ_e

$$\delta_e = \frac{j(k_2^2/k_1^2)\alpha^{1/3}}{(k_1 a)^{1/3} [(k_2^2/k_1^2) - 1]^{1/2}}$$

TAU = contient les valeurs de tau indice "s" pour le delta (δ_e) calculé, pour s = 0,1, ..., 70 = τ_s

Paramètres de sortie

SEC = facteur secondaire = F

$$F = F_r = [2\pi\alpha^{2/3}(k_1a)^{1/3}(d/a)]^{1/2} \sum_{s=0}^{\infty} f_s(h_1)f_s(h_2)/[2\tau_s - 1/\delta_e^2] \\ \times \exp\{j[(k_1a)^{1/3} \tau_s \alpha^{2/3}(d/a) + \frac{\alpha d}{2a} + \pi/4]\}$$

$$s = 0, 1, 2, \dots$$

PHI = correction de phase ou phase du facteur secondaire = $\varphi_c = \arg Fr.$

TC = équivalent de la correction en microsecondes = t_c

L = nombre de termes sommés dans la série de résidus = max "s" = 70

Algorithme

Le programme DSPHER suit l'algorithme suivant:

1. Lire les paramètres physiques, le vecteur des distances et les vecteurs contenant $|\tau_{s,0}|$, $|\tau_{s,\infty}|$ pour $s = 0, 1, \dots, 70$.
2. Calculer les constantes k_1 , k_2 et δ_e .
3. Poser $s = 0$, LMAX = 70.
 - 3.1 Calculer τ_s
 - 3.2
 - 3.2.1 Si τ_s ne converge pas, poser LMAX = $s-1$, indiquer l'impossibilité et aller à 4.
 - 3.2.2 Si $s = 70$, aller à 4.
 - 3.2.3 Sinon, poser $s = s+1$ et aller à 3.1.
4. Poser $s = 0$, somme = 0.
 - 4.1 Calculer le terme d'indice "s", τ_s .
 - 4.2 Somme = somme + τ_s .
 - 4.3
 - 4.3.1 Si $|\tau_s/\text{somme}| < 1 \times 10^{-6}$, aller à 5.
 - 4.3.2 Si $s < \text{LMAX}(70)$, poser $s = s+1$ et aller à 4.1.
 - 4.3.3 Sinon aller à 5.
5. Calculer le facteur secondaire, F.

6. Calculer φ_c , t_c .
7. Imprimer les résultats.
8. Fin.

1.4 Sous-programme "FONCTION FS(H,J)"

Cette fonction calcule le facteur de correction dû à la hauteur de l'émetteur et du récepteur, pour $h = H$ et $S = J$,

$$U = (k_1 a)^{2/3} 2h \alpha^{1/3} / a - 2\tau_s$$

$$f_s(h) = [U/(-2\tau_s)]^{1/2} H_{1/3}^{(1)} \{U^{3/2}/3\} / H_{1/3}^{(1)} \{(-2\tau_s)^{3/2}/3\}$$

Le calcul des fonctions de Haenkel se fait au moyen du sous-programme suivant.

1.5 Sous-programme "SUBROUTINE HAENKEL (IK,CH)"

Ce sous-programme calcule la fonction de Haenkel d'espèce IK, d'argument CZ, d'ordre CNU et la quantité CH représente la valeur de cette fonction. La méthode utilisée est celle décrite à la section 2.2.4.1 du rapport théorique.

Paramètres d'entrée

- IK = espèce de la fonction de Haenkel = ν
 CZ = argument de la fonction de Haenkel = (Z)
 CNU = ordre de la fonction de Haenkel = (1) ou (2)

Paramètres de sortie

- CALINT = résultat de l'intégration numérique
 fonction de première espèce: CAL1
 fonction de deuxième espèce: CAL2
 CH = résultat à la sortie
 CH = $H_{\nu}^{(1),(2)}(Z)$.

1.6 Sous-programme "SUBROUTINE TAUS (J, DELTA, REP, ID)"

Pour $\delta_e = \text{DELTA}$, $S = J$, ce sous-programme calcule la racine de l'équation différentielle de Riccati, τ_s . La méthodologie est celle indiquée à la section (2.2.4.2), c'est-à-dire qu'on essaie d'abord un développement croissant (2.2.62), (2.2.63) puis un développement décroissant si nécessaire, (2.2.64), (2.2.65). Si aucun des développements ne convergent, nous notons alors $\text{ID} = 2$, pour indiquer que le calcul s'effectue trop près du cercle de convergence. La réponse τ_s est retournée au programme principal DSPHER dans la variable REP.

Paramètres d'entrée

DELTA = Paramètre de conductivité et de permittivité = δ_e

J = indice de TAU = S

Paramètres de sortie

REP = valeur calculée de tau indice j = τ_j

ID = indicateur de convergence

Si ID = 2, alors on ne peut calculer REP.

DESCRIPTION DES PROGRAMMES ET SOUS-PROGRAMMES DONT LES RÉSULTATS
CONSTITUENT LES PARAMÈTRES D'ENTRÉE TAU0 ET TAUINF AU PROGRAMME DSPHER

1.7 Programme BISECT

Ce programme a comme fonction la détermination des zéros de l'équation différentielle de Riccati par la méthode de bisection à partir de l'équation:

$$H_{1/3}^{(1)}[1/3(-2\tau_s)^{3/2}] = 0.$$

Cette méthode est applicable au cas où $S \leq 4$.

Paramètres d'entrée

NMAX = nombre maximum d'itérations = 50
 TOL = tolérance ou précision du calcul = 1×10^{-6}
 PREC = valeur du zéro réel = 1×10^{-6}
 EPS = pas d'incrément pour la recherche des sous-intervalles = 0.1
 NMR = nombre maximum de racines = 4
 B1, B2 = bornes des sous-intervalles
 BM = bornes milieux des sous-intervalles

Paramètres de sortie

BM = racine de l'équation = $|\tau_{s,0}|$ ou $|\tau_{s,\infty}|$

La méthode de bisection est utilisée dans la recherche des sous-intervalles. Ainsi, pour une fonction continue donnée, $f(x)$, cette méthode trouve une solution de $f(x) = 0$ dans un intervalle $[a,b]$ pour lequel $f(a)$ et $f(b)$ sont de signes contraires. Les résultats obtenus de ce programme et des programmes AIRY1 et AIRY2 constitueront les paramètres d'entrée TAU0 ($|\tau_{s,0}|$, $s = 0,70$) et TAUINF ($|\tau_{s,\infty}|$, $s = 0,70$) pour le programme DSPHER.

1.8 Sous-programme "FONCTION COMPLEX F"

Cette fonction permet au programme BISECT l'obtention de la fonction de Haenkel suivante:

$$H_{1/3}^{(1)} [1/3(-2\tau_s)^{3/2}]$$

en appelant la sous-routine Haenkel.

Paramètre d'entrée

X = bornes des sous-intervalles = B₁, B₂., B_M

Paramètre de sortie

F(X) = résultat de la fonction de Haenkel.

Algorithme de la méthode de bisection ou de dichotomie

- Étape 1. Si $f(b_1) \cdot f(b_2) > 0$
 Alors imprimer "il n'y a pas de changement de signe" et aller à 9.
- Étape 2. Poser ICOMPT = 0.
- Étape 3. Tant que ICOMPT \leq NMAX faire les étapes 4 à 7.
- Étape 4. Poser BM = $(B_1 + B_2)/2$.
- Étape 5. Si $f(BM) = 0$ ou $(b_2 - b_1)/2 \leq \text{tol}$
 alors imprimer BM
 Fin
 sinon continuer
- Étape 6. Poser n = n+1.
- Étape 7. Si $f(b_1) \cdot f(b_2) > 0$,
 alors poser $b_1 = bM$
 autrement $b_2 = bM$
- Étape 8. Imprimer "Après NMAX itération. L'approximation obtenue est bM"
- Étape 9. Fin.

1.9 Programme AIRY1

Ce programme a pour but la détermination des zéros de l'équation différentielle de Riccati par une fonction d'Airy pour le cas où $\delta_e = 0$. Le calcul de $|\tau_{s,0}|$ est alors accompli à partir de l'équation:

$$Z_S \cong \frac{Y_1^{2/3}}{2^{1/3}} \left[1 + \frac{5}{48} Y_1^{-2} - \frac{5}{36} Y_1^{-4} + \dots \right]$$

où

$$Y_1 = \frac{3\pi}{8} (4S + 3)$$

$$S > 4$$

Paramètre d'entrée

NB = nombre de racines.

Paramètres de sortie

T = racine T d'indice s,0 = $|\tau_{s,0}|$

Les résultats de ce programme constitueront des paramètres d'entrées TAU0 ($|\tau_{s,0}|$, s = 5,70) pour le programme DSPHER.

1.10 Programme AIRY2

Ce programme a pour but la détermination des zéros de l'équation différentielle de Riccati par une fonction d'Airy pour le cas où $\delta_e = \infty$. Le calcul de $|\tau_{s,\infty}|$ est accompli à partir de l'équation:

$$Z_S = \frac{Y_2^{2/3}}{2^{1/3}} \left[1 - \frac{7}{48} Y_2^{-2} + \frac{35}{288} Y_2^{-4} - \dots \right]$$

où

$$Y_2 = \frac{3\pi}{8} (4S + 1)$$

$$S > 4$$

Paramètre d'entrée

NB = nombre de racines

Paramètres de sortie

T = racine T d'indice s, infini = $|\tau_{s,\infty}|$.

Les résultats de ce programme constitueront des paramètres d'entrée TAUINF ($|\tau_{s,\infty}|$, s = 5,70) pour le programme DSPHER.

CHAPITRE 2

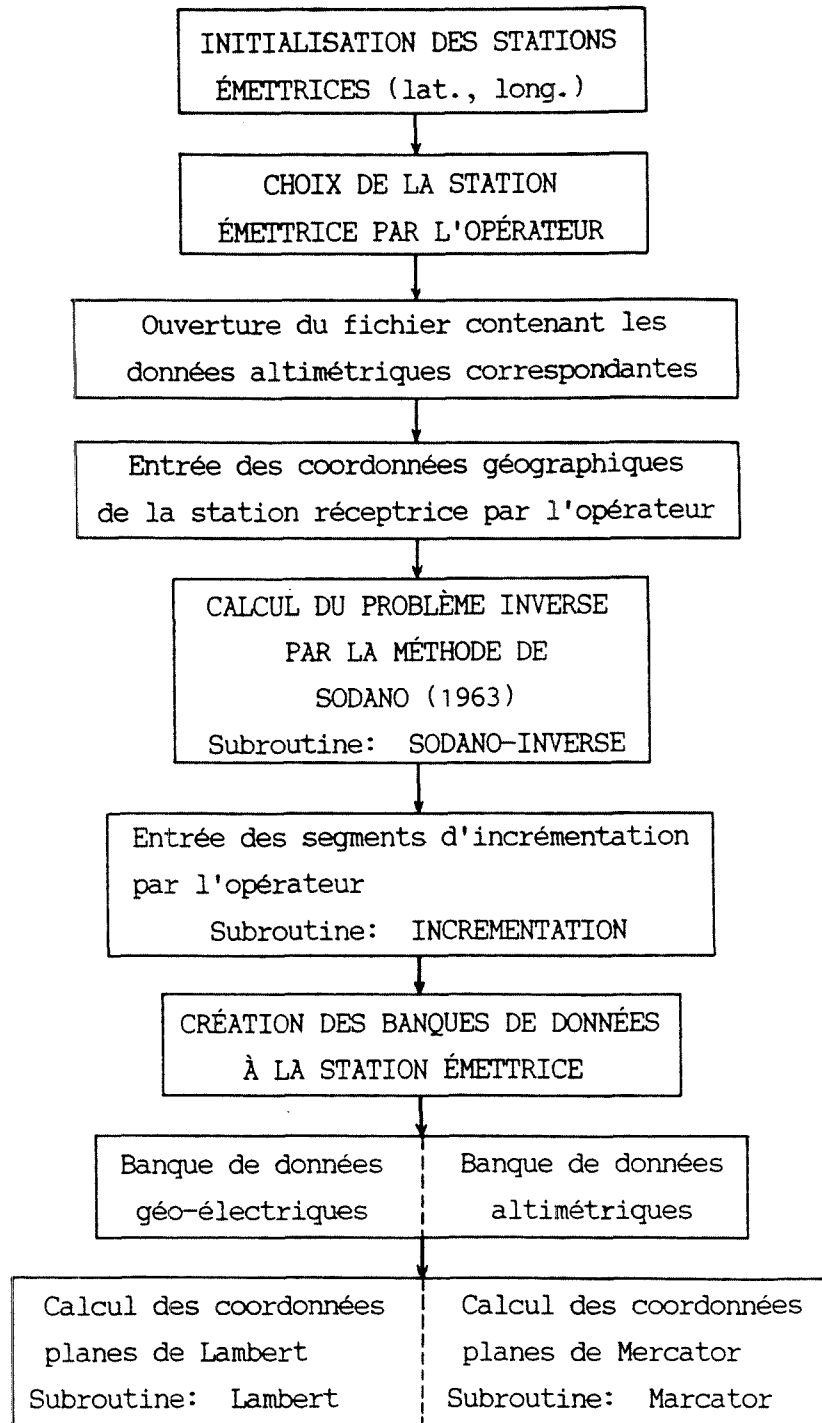
THÉORIE COMPLÈTE

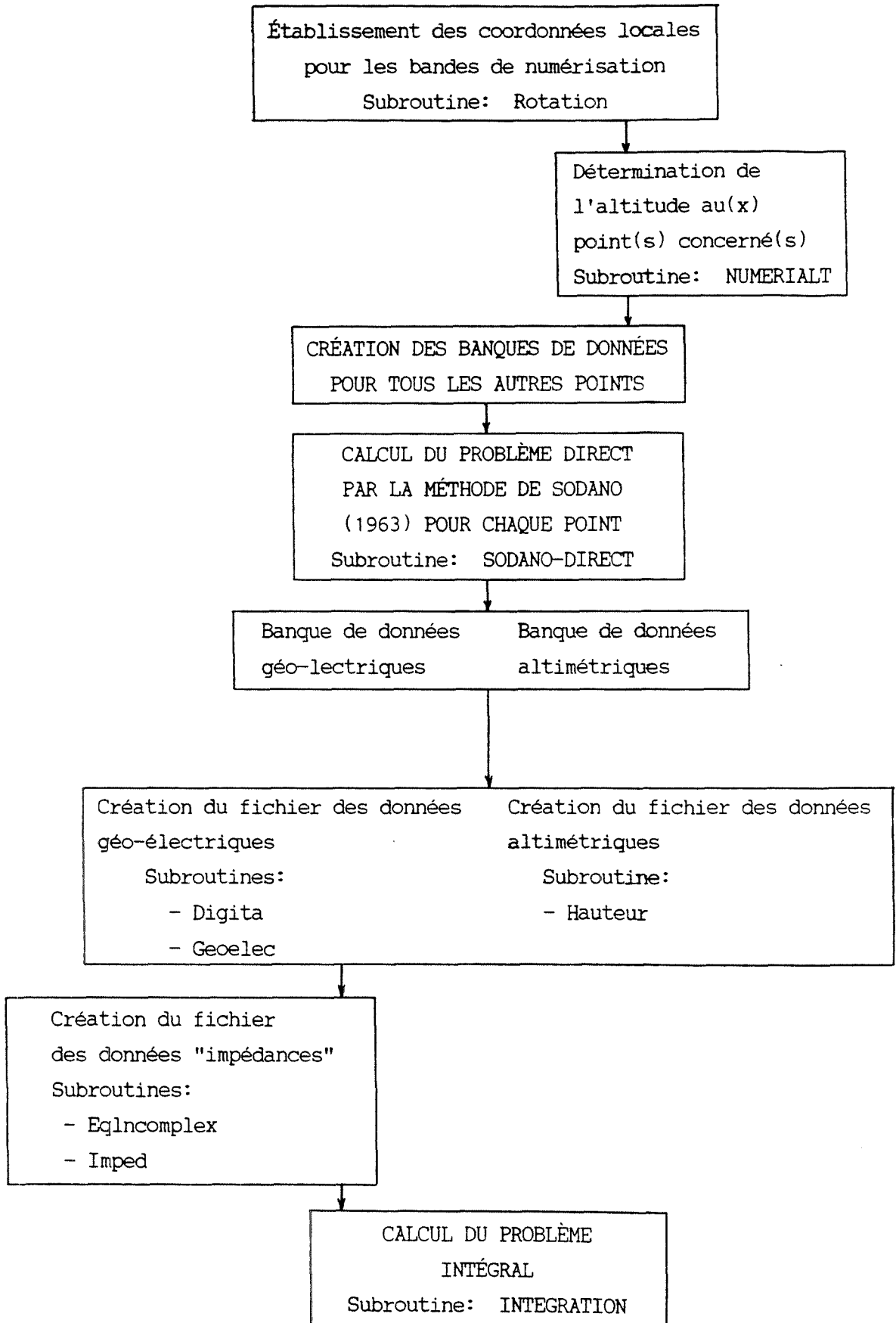
2.1 Programme "PRINCIPAL"

Ce programme sert de base au calcul de la phase et de l'amplitude du signal LORAN-C lors de sa propagation au-dessus de la surface terrestre dans les bandes de numérisation déjà citées. Il fait appel ainsi à de multiples sous-programmes permettant:

- la création des banques de données altimétriques,
- la création des banques de données d'impédances,
- le calcul de la phase et de l'amplitude du signal LORAN-C à un point donné.

Chacune de ces tâches s'effectuent séquentiellement. L'algorithme décrivant celles-ci est présenté ci-après.





2.1.1 Sous-programme INITCONST

Programme qui définit les constantes principales utilisées dans le programme déphase.

Ces constantes sont les demi-axes de l'ellipsoïde, la valeur pi (π), l'excentricité et l'aplatissement, la permittivité de l'air et la constante de propagation dans l'air.

2.1.2 Sous-programme INPUT

Ce programme lit sur écran les données principales utilisées dans DEPHASE. Les coordonnées de deux récepteurs (CARIBOU et FOX HARBOUR) sont déjà incluses. On lit les coordonnées géodésiques des récepteurs et la distance entre le récepteur et l'un des émetteurs, choisi par l'utilisateur, est déterminée. On demande par la suite à l'utilisateur de définir le vecteur d'incrémentation pour l'intégration du facteur secondaire.

2.1.3 Sous-programme BANQUE

A partir des facteurs de base des deux corridors principaux, ce programme détermine les altitudes et les impédances en chaque point de la ligne choisie par l'utilisateur. Ces fichiers sont ensuite utilisés par le programme INTEGRATION.

2.1.4 Sous-programme IMPEDFI

Ce sous-programme est appelé par BANQUE et permet la création du fichier des impédances de la ligne choisie par l'utilisateur.

2.2 Sous-programme "SUBROUTINE INCREMENTATION"

Ce sous-programme a pour but d'obtenir l'ensemble des segments d'incrémentation utilisés pour l'exécution du sous-programme EQINTEG à partir de la distance totale séparant la station émettrice de la station réceptrice. En chacun des points décrits par ces segments, l'information géo-électrique et altimétrique sera requise.

Le choix des segments d'incrémentation revient à l'opérateur à partir de son analyse sur les difficultés présentées par les données altimétriques et d'impédance retrouvées le long du parcours de propagation de l'onde de sol LORAN-C. Ainsi, dans un relief très accidenté, les incréments devront être réduits de même que dans un milieu où la conductivité efficace sera très basse. Cependant, dans un relief plus lisse, les incréments pourront être plus grands car la fonction d'atténuation W sera alors beaucoup plus régulière. En fait, c'est par l'expérimentation que l'opérateur pourra effectuer efficacement le lien entre les informations géo-physiques et le modèle de prédiction des ondes de sol.

Les segments d'incrémentation désirés par l'opérateur seront contenus dans un vecteur "VEC" qui aura un format du type suivant:

$$\text{VEC} = \begin{bmatrix} 5 \\ 75.0 \\ 200.0 \\ 50.0 \\ 100.0 \end{bmatrix}$$

où le premier élément indique le nombre total d'éléments du vecteur et les éléments pairs représentent le nombre de fois (ex.: 75) que devra être requis l'incrément décrit par l'élément impair ($n+1$ pour $n>1$).

(ex.: 200.0 m)

Paramètre d'entrée

DISTANCE: distance totale entre la station émettrice concernée et la station réceptrice choisie.

N.B.: Cette distance représente également la distance totale à couvrir par l'ensemble des segments d'incrémentation afin de prédire le signal LORAN au lieu prévu.

Paramètre de sortie

VEC: vecteur des segments d'incrémentation.

2.3 Sous-programme "SUBROUTINE SODANO-INVERSE"

Ce sous-programme effectue le problème géodésique inverse selon la solution non itérative de E.M. Sodano (1963).

Paramètres d'entrée

LAT1 : latitude géodésique du premier point = φ_1 .
 LONG1: longitude géodésique du premier point = λ_1 .
 LAT2 : latitude géodésique du deuxième point = φ_2 .
 LONG2: longitude géodésique du deuxième point = λ_2 .

Paramètres de sortie

S : distance géodésique entre le point 1 et 2 = s .
 AZ12: azimut géodésique de 1 vers 2 = α_{1-2} .

Ce sous-programme utilise plusieurs fonctions dont le rôle est le calcul d'une quantité nécessaire à la réalisation de SODANO-INVERSE. En référence à E.M. Sodano (1963), voici la corrélation entre ces fonctions et les quantités impliquées.

FONCTION CAL-L = L (appendice I)
 FONCTION CAL-BETA = β (appendice I)
 FONCTION CAL-A = a (appendice I)
 FONCTION CAL-B = b (appendice I)
 FONCTION CAL-COSPHI = $\cos\varphi$ (appendice I)
 FONCTION CAL-BT2-BT1 = $\beta_2-\beta_1$ (appendice III)
 FONCTION CAL-SINPHI = $\sin\varphi$ (appendice III)
 FONCTION CAL-PHIMIN = φ minimum (appendice I)
 FONCTION CAL-C = C (appendice I)
 FONCTION CAL-M = m (appendice I)
 FONCTION CAL-S = S (appendice I)
 FONCTION CAL-LAMBDA = λ (appendice V)
 FONCTION CAL-AZ12 = α_{1-2} (appendice I)
 FONCTION CAL-AZ21 = α_{2-1} (appendice I)

Enfin le sous-programme QUADRANT12 a comme but de calculer, dans le bon quadrant, les azimuts α_{1-2} et α_{2-1} .

2.3a "SUBROUTINE QUADRANT12"

Paramètres d'entrée

LONG : longitude géodésique du premier point = λ_1 .
 LONG2: longitude géodésique du deuxième point = λ_2 .
 PI : constante $\pi = 3.14159\dots$
 α_{1-2} : azimut de 1 vers 2 à corriger.
 α_{2-1} : azimut de 2 vers 1 à corriger.

Paramètres de sortie

α_{1-2} : azimut de 1 vers 2 corrigé.
 α_{2-1} : azimut de 2 vers 1 corrigé.

2.4 Sous-programme "SUBROUTINE SODANO-DIRECT"

Ce sous-programme effectue le problème géodésique direct selon la solution non itérative de E.M. Sodano (1963).

Paramètres d'entrée

LAT1 : latitude géodésique du premier point = φ_1 .
LONG1: longitude géodésique du premier point = λ_1 .
AZ: azimut géodésique de 1 vers 2 = α_{1-2} .
DIST: distance géodésique entre les points 1 et 2 = s .

Paramètres de sortie

LAT2 : latitude géodésique du deuxième point = φ_2 .
LONG2: longitude géodésique du deuxième point = λ_2 .

Le sous-programme SODANO-DIRECT utilise plusieurs fonctions qui calculent les quantités nécessaires à son exécution. En référence à E.M. Sodano (1963), voici la corrélation entre ces fonctions et les quantités impliquées.

FONCTION CAL-BETA = β (appendice II)
 FONCTION FUN-BETA0 = β_0 (appendice II)
 FONCTION FUN-G = g (appendice II)
 FONCTION FUN-MI = m_1 (appendice II)
 FONCTION FUN-PHI-S = φ_S (appendice II)
 FONCTION FUN-A1 = a_1 (appendice II)
 FONCTION FUN-PHI-0 = φ_0 (appendice II)
 FONCTION FUN-COSBETA2 = $\cos\beta_2$ (appendice II)
 FONCTION FUN-BETA2 = β_2 (appendice II)
 FONCTION FUN-LAT2 = β (appendice II)
 FONCTION FUN-ALPHA21 = α_{2-1} (appendice II)
 FONCTION FUN-AZ21 = correction de α_{2-1} (appendice II)
 FONCTION FUN-LAMBDA = λ (appendice II)
 FONCTION FUN-LAMB = correction de λ (appendice II)
 FONCTION FUN-BT2BT1 = $\beta_2 - \beta_1$ (appendice III)
 FONCTION FUN-LATITUDE = B (appendice III)
 FONCTION FUN-L = L (appendice II)

2.5 Sous-programme "SUBROUTINE LAMBERT"

Le présent sous-programme a pour but de calculer le problème direct pour la projection conique conforme de Lambert sur l'ellipsoïde. Ainsi, à partir des coordonnées géodésiques d'un point, les coordonnées planes de Lambert sont calculées. Il est à noter que l'on doit introduire différentes sécantes de projection suivant les bandes de numérisation impliquées. Pour les bandes originant de la station émettrice Caribou, les sécantes de projections sont les parallèles de latitudes: LAT1 = 44°40' et LAT2 = 47°20'. Pour celles ayant origine à la station émettrice FOX-HARBOUR, nous avons LAT1 = 48°40' et LAT2 = 51°20'.

Paramètres d'entrée

LAT : latitude géodésique du point considéré.

LONG: longitude géodésique du point considéré.

STAT: Identification de la station émettrice.

STAT = 1 = CARIBOU, autrement STAT = FOX HARBOUR.

Paramètres de sortie

X: coordonnée "x" plane de Lambert du point.

Y: coordonnée "y" plane de Lambert du point.

2.5a Sous programme "SUBROUTINE LATISOMET"

Ce sous-programme est utilisé dans le sous-programme LAMBERT afin de calculer la latitude isométrique "Q" correspondant à une latitude géodésique (PHI).

Paramètres d'entrée

E: excentricité de l'ellipsoïde de Clarke:

$$E = e = \sqrt{2f-f^2}$$

où f = facteur d'aplatissement de l'ellipsoïde.

PHI: latitude géodésique = φ .

Paramètres de sortie

Q = latitude isométrique = q.

2.6 Sous-programme "SUBROUTINE MERCATOR"

Le sous-programme MERCATOR a pour but de transformer les coordonnées géodésiques d'un point en coordonnées rectangulaires planes U.T.M. Il est à noter que l'on doit tenir compte des différents fuseaux caractérisant la projection Mercator Transverse, soit aux longitudes: 66°00' et 60°00', pour les présentes bandes de numérisation [Service de la Géodésie].

Paramètres d'entrée

LAT : latitude géodésique du point considéré.
LONG: longitude géodésique du point considéré.

Paramètres de sortie

X: coordonnée "x" plane de Mercator Transverse du point.
Y: coordonnée "y" plane de Mercator Transverse du point.

2.7 Sous-programme "SUBROUTINE ROTATION"

Le sous-programme ROTATION a comme fonction d'établir la corrélation entre les systèmes de coordonnées décrivant les bandes de numérisation pour les banques de données altimétriques (système Mercator Transverse) et géoélectriques (système Lambert) et les systèmes de coordonnées locales à partir desquels l'information nécessaire à l'exploitation de la solution intégrale a été tirée. Cette corrélation consiste en réalité en une transformation des données suivant une rotation et une translation.

Il est à noter qu'à cause de l'étendue des bandes de numérisation, il doit être tenu compte des différents fuseaux (système Mercator Transverse) ou des différentes sécantes de projection (système Lambert) dans la transformation des coordonnées.

Paramètres d'entrée

TEST: indicatif dénotant soit le système de coordonnées Mercator Transverse (TEST = 0) ou le système de Lambert (TEST = 1).

XI: composante "x" du système de coordonnées à transformer (en mètre).

YI: composante "y" du système de coordonnées à transformer (en mètre).

ITEST: indicatif dénotant soit la station émettrice CARIBOU (ITEST = 1) ou la station FOX-HARBOUR (ITEST = 2).

LONG: longitude géodésique du point à transformer.

Paramètres de sortie

XKM: composante "x" du système de coordonnées locales (en kilomètre) ou transformé (en km).

YKM: composante "y" du système de coordonnées locales (en kilomètre) ou transformé (en km).

2.8 Sous-programme "SUBROUTINE HAUTEUR"

Ce sous-programme a pour but de modéliser l'altitude Z du sol le long du parcours de propagation de l'onde LORAN-C par une équation du deuxième degré:

$$Z = C_{11}(\text{distance})^2 + C_{21}(\text{distance}) + C_{31}$$

où distance = x , en vue d'en tirer l'information nécessaire au calcul des quantités $\partial r_2 / \partial n$ et $\cos\psi$. Cette modélisation de l'altitude Z se fera en utilisant la compensation par moindres carrés sans contrainte et portera sur de courts segments successifs de la distance totale à couvrir. Ainsi, d'une façon pratique, cette procédure sera accomplie pour chaque groupe successif d'environ 15 points pour lesquels l'information altimétrique est requise à l'exploitation de la solution intégrale.

Paramètres d'entrée

INT: borne inférieure du segment considéré.

FIN: borne supérieure du segment considéré.

HZ : matrice des altitudes pour la bande de numérisation impliquée.

N : nombre total d'éléments.

Paramètre de sortie

C: vecteur des coefficients estimés par moindres carrés.

2.9 Sous-programmes permettant la résolution de systèmes d'équations linéaires

L'ensemble des sous-programmes décrits ci-dessous ont comme fonction de permettre la solution d'un système d'équations linéaires à matrice symétrique (définie positive) et non singulière par la méthode de Cholesky, du type:

$$AX = C$$

Nous y retrouvons ainsi les sous-programmes INVERSE, FACTOR, SUBST, INITIAL et MULT.

2.9.1 Sous-programme "SUBROUTINE INVERSE"

Le sous-programme INVERSE permet l'inversion d'une matrice non singulière et symétrique par la méthode de Cholesky.

Paramètres d'entrée

A: matrice à inverser.
N: ordre de la matrice.

Paramètre de sortie

AINV: inverse de la matrice A.

Pour la réalisation complète de ce sous-programme, deux autres sous-programmes sont appelés soit "SUBROUTINE FACTOR" et "SUBROUTINE SUBST".

2.9.2 Sous-programme "SUBROUTINE FACTOR"

Ce programme effectue la factorisation (LU) d'une matrice.

Paramètre d'entrée

ω : matrice d'ordre N contenant la matrice A d'ordre N à factoriser.

Paramètres de sortie

ω : matrice de dimension (N,N) contenant la factorisation LU de PxA pour une matrice de permutation P spécifiée par IPIVOT.

IPIVOT: vecteur entier de longueur N indiquant que la ligne IPIVOT (k) a été utilisée pour éliminer X(k), $k = 1, \dots, N$.

IFLAG: Un entier dont la valeur égale:

- 1, s'il y a eu un nombre pair de permutations de lignes;
- 1, s'il y a eu un nombre impair de permutations de lignes;
- 0, si un ou plusieurs éléments de la matrice triangulaire supérieure est zéro.

Il est à remarquer que l'on écrit:

$$\text{DET A} = \text{IFLAG} \times \omega(1,1) \times \dots \times \omega(N,N)$$

Si IFLAG = 0, alors la matrice est singulière, sinon on peut résoudre le système $AX = B$.

2.9.3 Sous-programme "SUBROUTINE SUBST"

Le sous-programme SUBST (SUBSTITUTION) permet la descente et remontée triangulaire afin de résoudre les deux systèmes triangulaires impliquées.

Paramètre d'entrée

ω : matrice d'ordre N contenant la factorisation LU de PXA.

IPIVOT: vecteur entier de longueur N indiquant que la ligne IPIVOT (k) a été utilisée pour éliminer X(k), $k = 1, \dots, N$.

IFLAG: entier indiquant les permutations de lignes ou des éléments nuls de la matrice triangulaire.

N: ordre de la matrice.

Paramètre de sortie

WINU : l'inverse de ω .

2.9.4 Sous-programme "SUBROUTINE INITIAL"

Ce sous-programme a pour but d'initialiser une matrice par un certain scalaire afin de permettre un traitement plus simple de celle-ci dans différentes opérations.

Paramètres d'entrée

SCAL: valeur d'initialisation.

(N,M): dimension de la matrice à initialiser.

Paramètre de sortie

A: matrice à initialiser.

2.9.5 Sous-programme "SUBROUTINE MULT"

Le sous-programme MULT effectue la multiplication de deux matrices, comme suit:

$$A \times B = C$$

Paramètres d'entrée

A: matrice de dimension (N,M) à multiplier.

N: nombre de rangées de la matrice A.

M: nombre de colonnes de la matrice A ou de rangées de la matrice B.

B: matrice de dimension (M,L) à multiplier

L: nombre de colonnes de la matrice B.

Paramètre de sortie

C = A x B, matrice résultante de dimension (N,L).

2.10 Sous-programme "SUBROUTINE NUMERIALT"

Le sous-programme NUMERIALT a pour but la détermination de l'altitude d'un point (datum NMM) à l'aide d'une moyenne pondérée selon l'inverse de la distance.

Pour chacune des bandes considérées, un quadrillage de 1.5 km par 1.5 km a été construit sur une projection de Mercator Transverse à l'échelle de 1:250 000. En chacun des noeuds du quadrillage, l'information altimétrique a été tirée pour ainsi former une banque de données altimétriques. L'altitude désirée de tout point situé le long d'un certain parcours entre une station émettrice et le lieu de réception est obtenue en effectuant une moyenne pondérée selon l'inverse de la distance avec les quatre points du quadrillage l'entourant.

Paramètres d'entrée

XR = coordonnée locale "x" du point considéré.

YR = coordonnée locale "y" du point considéré.

COMMON: INFO-ALTI: banque de données altimétriques.

Paramètre de sortie

ALTR = altitude du point = $h(s)$

Il est à noter que les coordonnées locales des points dont l'altitude est désirée proviennent successivement des sous-programmes MERCATOR et ROTATION.

2.11 Sous-programme "SUBROUTINE DIGITA"

Le sous-programme DIGITA a été conçu pour la numérisation de l'information géo-électrique nécessaire à l'exploitation de la solution intégrale. Son application est limitée au type de numérisation choisie pour les présentes fins, c'est-à-dire selon des bandes ou corridors joignant les stations émettrices CARIBOU et FOX-HARBOUR au secteur de test (ILE D'ANTICOSTI).

La banque de données contenant l'information géo-électrique pour les différentes couches géologiques (pédologie, géologie de surface, géologie de sous-surface) est constituée de fichiers de type $F_i.DAT$ ($i = 1,6$).

FICHIERS $F_i.DAT$

Un fichier de type $F_i.DAT$ est une base de données correspondant à une bande rectangulaire de 7 géodésiques également espacées d'une distance de trois kilomètres. Il est construit de façon à permettre une numérisation à l'aide d'une procédure de localisation par bornes ou limites entre deux régions géologiques différentes. Ainsi, on compte trois fichiers de ce type par bande étant donné la présence des trois couches. En considérant que le noeud inférieur gauche de la bande est l'origine du système de coordonnées locales, l'information est recueillie le long de chacune des géodésiques en notant la coordonnée "x" des bornes ou limites. Il n'est pas nécessaire de stocker les ordonnées des bornes puisque ce paramètre est implicitement connu par la colonne correspondante du fichier. Le fichier contient donc 7 colonnes identifiées aux 7 géodésiques et contenant la coordonnée x pour chaque borne, annexées à 7 autres colonnes dans lesquelles le code "couleur" est stocké. La couleur associée à une borne est celle de la région comprise entre la borne considérée et la précédente. L'ensemble des couleurs représentent les diverses familles géologiques auxquelles correspond certaines propriétés géo-électriques et sont codées afin de permettre de telles associations.

Code (couleur)	Famille géologique
01	Eau
02	Roc
03	Fibrisol
04	Gleysol
05	Brunisol dystrique
06	Luvisol gris
07	Podzol humo-ferrique
08	Granite
09	Anorthosite
10	Basalte
11	Granulite
12	Gneiss
13	Grabbro
14	Marbre
15	Quartzite
16	Dolomie
17	Calcaire
18	Shale
19	Grès
20	Till à bloc
21	Till
22	Marins
23	Fluvio-glaciaire

[Pouliot et al., 1986].

FICHIERS CG2.DAT

L'information nécessaire à l'exploitation de la solution intégrale le long d'un certain parcours entre la station émettrice et le lieu de réception du signal est tirée des fichiers de type F_i.DAT à partir des points connus en coordonnées locales provenant des sous-programmes ROTATION et LAMBERT. Le

tableau de ces points, pour lesquels l'information codée est requise, est contenu dans des fichiers de type CG2.DAT. La recherche dans les fichiers Fi.DAT s'effectue en ramenant les coordonnées "y" des fichiers CG2.DAT sur la géodésique la plus près et en déterminant pour les coordonnées "x" le code d'information géologique correspondant. Une telle procédure est jugée adéquate étant donné la précision de l'information contenue sur la projection de Lambert à l'échelle de 1:1 000 000.

FICHIERS CG3.DAT

Les résultats de la détermination du code couleur pour les points contenus dans CG2.DAT, en localisation pour chacun de ceux-ci la plus petite borne supérieure et la couleur correspondante (F_i .DAT), sont alors écrits dans des fichiers du type CG3.DAT.

Ainsi, on compte autant de fichiers de sortie CG3.DAT qu'il y a de bandes ou corridors de numérisation. De plus, puisque pour chacune des bandes trois couches géologiques sont considérées, la structure des fichiers CG3.DAT sera la suivante:

ex.: X, Y, CODE1, CODE2, CODE3

où X, Y = coordonnées locales du point considéré

CODE i ($i=1,3$) = code couleur associé à l'information géologique présente en ce point pour les couches:

i=1: géologie de sous-surface

i=2: géologie de surface

i=3: pédologie

Paramètres d'entrée

STATION: identification de la station émettrice impliquée

si STATION = 1: CARIBOU

STATION = 2: FOX-HARBOUR

Paramètres de sortie

CODAGE: matrice des codes identifiant les familles géologiques des différentes couches en un point donné.

L: nombre total de lignes de la matrice codage.

2.12 Sous-programme "SUBROUTINE GEOLEC"

Ce sous-programme a pour but d'établir la corrélation entre les codes couleur issus du sous-programme DIGITA et les constantes géo-électriques numériques nécessaires au calcul de l'impédance de surface du sol [Pouliot et al., 1986].

Paramètres d'entrée

CODAGE: matrice des codes identifiant les familles géologiques des différentes couches en un point donné:

ex.: X, Y, CODE1, CODE2, CODE3

où X, Y sont les coordonnées planes de LAMBERT du point en question et $CODE_i$ ($i=1,3$) sont les codes couleur correspondant à une famille géologique pour respectivement les couches "i" ($i=1,3$) en un point donné.

IL: nombre total de lignes de la matrice codage.

Paramètre de sortie

MAT: matrice des constantes géo-électriques associées aux différentes couches en un point donné

ex.: X, Y, σ_3 , ϵ_3 , ω_3 , σ_2 , ϵ_2 , ω_1 , σ_1 , ϵ_1

où X, Y = coordonnées planes de LAMBERT du point considéré,

$\sigma_i (i=1,3)$ = conductivité de la $i^{\text{ème}}$ couche géologique,

$\epsilon_i (i=1,3)$ = constante diélectrique de la $i^{\text{ème}}$ couche géologique,

$\omega_i (i=1,2)$ = profondeur des deux premières couches.

2.13 Sous-programme "SUBROUTINE EQLNCOMPLEX"

Ce sous-programme a comme fonction la résolution du système d'équations linéaires permettant le calcul de l'impédance de surface normalisée χ pour trois couches géo-électriques, tel que présenté à la section 3.2 de la partie théorique (3.2.5 à 3.2.11). Il est à noter que puisque les éléments composant les matrices en cause sont des nombres complexes, il a fallu créer des matrices hermitiennes afin de permettre la solution du système.

Paramètres d'entrée

GEO: matrice des constantes géo-électriques associées aux différentes couches en un point donné:

ex: $X, Y, \sigma_3, \epsilon_3, \omega_2, \sigma_2, \epsilon_2, \omega_1, \sigma_1, \epsilon_1$

où X, Y = coordonnées planes de LAMBERT du point considéré,

$\sigma_i (i=1,3)$ = conductivité de la $i^{\text{ème}}$ couche géologique,

$\epsilon_i (i=1,3)$ = constante diélectrique de la $i^{\text{ème}}$ couche géologique,

$\omega_i (i=1,2)$ = profondeur des deux premières couches.

HZ: matrice des altitudes pour la bande de numérisation impliquée.

N.B.: La seule composante de cette matrice qui sera utilisée pour le présent calcul est le cosinus de l'angle d'incidence de l'onde de sol LORAN-C avec l'horizon, $\cos\psi$.

I: compteur permettant la composition de la matrice contenant l'ensemble des impédances retrouvées le long d'un parcours de propagation.

Paramètre de sortie

CIMP: impédance complexe de surface du sol = χ (3.2.8)

$$\text{où } \chi = Z/Z_0 = [(1-T)(1+T)^{-1}]\cos\psi$$

2.14 Sous-programme "SUBROUTINE IMPED"

Ce sous-programme permet le calcul de l'impédance de surface de l'eau sans avoir recours au calcul selon les trois couches (EQLNCOMPLEX). Lorsque l'onde de sol LORAN-C se propage au-dessus de l'eau, la surface terrestre peut alors être considérée homogène et constituée d'une seule couche.

Paramètre d'entrée

I: compteur permettant d'intercaler les impédances de surface de l'eau dans l'ensemble des impédances retrouvées le long d'un parcours de propagation.

Paramètre de sortie

CIMP: impédance complexe de surface de l'eau = χ

$$\text{où } \chi = \begin{pmatrix} k_1 \\ k_2 \end{pmatrix} \left[1 - \frac{k_1^2}{k_2^2} \right]^{1/2}$$

$$k_1 = \omega\eta_1/c$$

$$k_2 = (\omega/c) (\epsilon_2 + j \sigma/(\omega\epsilon_0))^{1/2}$$

Pour l'eau salée, les valeurs choisies pour représenter respectivement la constante diélectrique et la conductivité, sont:

$$\epsilon_2 = 80.0$$

$$\sigma = 5.0$$

2.15 Sous-programme "SUBROUTINE DMS-RAD"

Ce sous-programme sert à convertir un angle exprimé en degré, minute, seconde (DDD.MMSS) en un angle exprimé en radians.

Paramètre d'entrée et de sortie

ANGLE: angle en DDD.MMSS ou radian.

2.16 Sous-programmes permettant le calcul de la fonction d'atténuation

Les sous-programmes suivants ont pour but de résoudre l'équation intégrale de Volterra suivante:

$$W(x) = 1 - g(x) \int_0^x W(s) f(s,x) ds$$

où $W(x)$ est la fonction d'atténuation à une position x donnée. L'ensemble des informations altimétriques et d'impédance relevé tout le long d'un parcours d'intégration sera requis afin de permettre l'application de la théorie intégrale ou complète. Le résultat final sera donc la fonction d'atténuation sous forme d'un nombre complexe et/ou représentée par son amplitude et sa phase.

Le calcul séquentiel de la fonction d'atténuation sera initialisé à l'aide des sous-programmes PLATE et ERFC qui correspondent respectivement au programme "PLATEDP" et au sous-programme "SUBROUTINE ERFC" de la théorie classique.

2.16.1 Sous-programme "SUBROUTINE EQINTEG"

Ce sous-programme sert de base au calcul de la fonction d'atténuation. Chacun des sous-programmes énumérés précédemment sera appelé afin de calculer les différents paramètres nécessaires à ce calcul.

Paramètres d'entrée

VEC: vecteur des segments d'incrémentation tel que présenté au sous-programme INCREMENTATION.

HZ: matrice des altitudes pour la bande de numérisation impliquée.

HZ(1,1): latitude du point considéré = φ .

HZ(1,2): longitude du point considéré = λ .

HZ(1,3): distance, en kilomètre(s), de la station émettrice impliquée au point considéré.

HZ(1,4): altitude, en kilomètre(s), au point considéré.

HZ(1,5): $\partial Z / \partial X$.

HZ(1,6): $\cos \psi$.

CIMP: vecteur des impédances normalisées de la surface terrestre de l'émetteur au point considéré = χ .

Paramètre de sortie

W: vecteur des valeurs de la fonction d'atténuation $W(x)$ sous la forme de l'argument et de la phase de la fonction.

2.16.2 Sous-programme "SUBROUTINE PLATE"

Ce sous-programme calcule le facteur secondaire, la correction secondaire de phase, φ_c , en supposant des paramètres géo-électriques constants et en utilisant un modèle de propagation le long de la terre plate.

Paramètres d'entrée

DEL: vecteur des impédances.

D : vecteur des distances, d, pour lesquels les paramètres de sortie sont à calculer.

CKI: constante de propagation de l'air.

Constantes calculées

RHOI: distance numérique de Sommerfeld.

Paramètres de sortie

FAC: facteur secondaire.

IND: nombre de termes sommés dans le calcul de la fonction complémentaire d'erreur.

L'application de ce sous-programme doit se faire pour les premiers kilomètres à partir de la station émettrice. Ainsi, si la topographie est uniforme près de la source, une distance maximale de 10 km peut être employée.

2.16.3 Sous-programme "SUBROUTINE ERFC"

Ce sous-programme calcule la fonction $W(Z)$ qui est reliée à la fonction complémentaire d'erreur erfc par la formule:

$$W(Z) = \exp(-Z^2) \operatorname{erfc}(-iZ)$$

Paramètre d'entrée

Z: argument de la fonction W.

Paramètre de sortie

WW: fonction $W = W$.

2.16.4 Sous-programme "FUNCTION HMCOS(TETA)"

Ce sous-programme calcule le paramètre:

$1 - \cos\theta$; si θ est petit, une série de Taylor sera utilisée.

2.16.5 Sous-programme "SUBROUTINE TRIANG"

Ce sous-programme a comme but de calculer les longueurs r_1 et r_2 par la loi des cosinus, où:

$$r_1 = \left[h(s)^2 + 2a(a+h(s)) \left(1 - \cos \frac{s}{a} \right) \right]^{1/2} \quad (3.3.5)$$

$$r_2 = \left[(h(x) - h(s))^2 + 2(a+h(x))(a+h(s)) \left(1 - \cos \left(\frac{x-s}{a} \right) \right) \right]^{1/2}$$

Paramètres d'entrée

x : distance totale entre la station émettrice et le point récepteur où la fonction d'atténuation est prédite = x.

a : distance de la station émettrice au point d'intégration q.

HX: altitude au-dessus du N.M.M. pour le point récepteur = h(x).

HS: altitude au-dessus du N.M.M. au point d'intégration Q = h(s).

Paramètre de sortie

R1: distance de la station émettrice au point d'intégration.

R2: distance du point d'intégration au point récepteur.

2.16.6 Sous-programme "FUNC"

Ce sous-programme calcule l'intégrand suivant:

$$F = f(s,x)$$

$$F = \exp[-jk_1(r_1+r_2-r_0)] [\eta+(1+(1/jk_1r_2)) \partial r_2/\partial n] \sqrt{x/(s(x-s))}$$

dans l'équation intégrale pour la fonction d'atténuation ω .

Paramètres d'entrée

x: vecteur des distances totales entre les stations émettrice et récepteur
= x.

S: vecteur des distances entre la station émettrice et le point d'intégration Q = S.

HX: vecteur des altitudes au-dessus du N.M.M. pour le point récepteur = h(x).

HS: vecteur des altitudes au-dessus du N.M.M. pour le point d'intégration Q = h(s).

HPS: vecteur des dérivées premières de l'altitude = $\partial r_2/\partial n$.

HPS2: vecteur des cosinus de l'angle d'incidence = $\cos\psi$.

DEL: vecteur des impédances au point d'intégration Q = χ .

Paramètres de sortie

F(X, S, HX, HS, HPS, HPS2, DEL): résultat de la fonction intégrand = f(s,x).

2.16.7 Sous-programme LAGRANGE

Ce programme calcule les poids de Lagrange pour l'interpolation des altitudes ou des impédances aux points d'intégration. Le degré du polynôme est fixé par l'utilisateur par la variable IDEG. Le degré du polynôme de Lagrange a été fixé à 5 pour les calculs réalisés dans le cadre de ce rapport.

2.16.8 Sous-programme GAUSSINIT

Ce programme initialise les noeuds et les poids de Gauss pour les degrés 6, 8, 16, 24 et 96. Ces variables sont ensuite utilisées dans le programme INTEGRATION où le degré d'interpolation est choisi en fonction du nombre de points disponibles.

PARTIE III

ÉVALUATION DU DÉPHASAGE
SECONDAIRE DES ONDES LORAN-C
RÉGION DU GOLFE ST-LAURENT

MAS #UP-L- 299

Rapport de recherche
présenté à

PAUL BELLEMARRE
PÊCHES ET OCÉANS
SERVICE HYDROGRAPHIQUE DU CANADA

par

Dr JEAN-GUY LECLERC
DÉPARTEMENT DES SCIENCES GÉODÉSIQUE
ET DE TÉLÉDÉTECTION
PAVILLON CASALT, UNIVERSITÉ LAVAL

Avril 1988

TABLE DES MATIÈRES

<u>INTRODUCTION</u>	4
1.0 DESCRIPTIONS GÉNÉRALES	5
1.1 Description de la région de calcul	5
1.2 Description des émetteurs	5
1.3 Description générale des données de base	6
1.4 Description des données numérisées	6
1.5 Description des points de calcul	8
2.0 LES RÉSULTATS	9
2.1 Méthode	9
2.2 Conditions de la simulation	9
2.3 Précision de la méthode	10
2.4 Discussion de résultats typiques	22
2.4.1 Ligne Fox Harbour au #5.....	22
2.4.2 Ligne Fox Harbour au #9	22
3.0 AMÉLIORATIONS DE LA MÉTHODE	23
3.1 Considérations générales	23
3.2 Une approche numérique au problème de la propagation	23
3.3 Nécessités de développer un modèle de propagation précis	24
4.0 CONCLUSIONS	25
ANNEXE 1. COPIE DU PROGRAMME DEPHASE	
ANNEXE 2. CARTES UTILISÉES	
ANNEXE 3. DISQUETTES DU PROGRAMME DEPHASE	
Figure 1. Intersection des corridors principaux	7
Figure 2. Déphasages en mètres calculés de Caribou	13
Figure 3. Déphasages en mètres calculés de Fox Harbour	14
Figure 4. Déphasage secondaire et profil altimétrique ligne FOX HARBOUR à #5	15
Figure 5. Déphasage secondaire détaillé et profil altimétrique ligne FOX HARBOUR à #5	16
Figure 6. Déphasage secondaire détaillé et profil altimétrique ligne FOX HARBOUR à #5 (partie Ile d'Anticosti)	17

Figure 7.	Déphasage secondaire détaillé et profil altimétrique ligne FOX HARBOUR à #5 (partie rive Nord)	18
Figure 8.	Déphasage secondaire et profil altimétrique ligne FOX HARBOUR à #9	19
Figure 9.	Déphasage secondaire détaillé et profil altimétrique ligne FOX HARBOUR à #9 (partie rive Nord)	20
Figure 10.	Déphasage secondaire détaillé et profil altimétrique ligne FOX HARBOUR #9 (partie Ile d'Anticosti)	21
Tableau 1.	Déphasage secondaire ondes Loran-C émetteur: CARIBOU	11
Tableau 2.	Déphasage secondaire ondes Loran-C émetteur: FOX HARBOUR	12

INTRODUCTION

Le programme que nous avons développé pour le calcul du déphasage secondaire des ondes Loran-C s'appelle DEPHASE. Nous avons développé ce programme en FORTRAN sur le VAX de l'Université Laval. Il ne fait appel à aucun élément ni énoncé qui seraient particuliers au système utilisé. Il peut donc être utilisé sur un autre ordinateur sans modification importante.

Les modèles mathématiques utilisés sont présentés dans les deux premières parties de ce rapport de recherche.

1.0 DESCRIPTIONS GÉNÉRALES

1.1 Description de la région de calcul

Les données s'appliquent essentiellement dans le golfe du St-Laurent et plus particulièrement pour la pointe est de l'Ile d'Antiscosti. Bien que le programme de calcul soit tout à fait général, seule cette région a été considérée pour les calculs. Plusieurs raisons ont motivé ce choix:

- 1- Une campagne d'observation des déphasages secondaires des ondes Loran-C a été réalisée à l'été 1986 par le Service Hydrographique du Canada permettant ainsi de comparer les valeurs prédites par le modèle mathématique et les valeurs réelles.
- 2- La difficulté de numériser toutes les données géoélectriques et altimétriques entre les émetteurs CARIBOU et FOX HARBOUR était trop importante et trop coûteuse dans le cadre de ce projet de recherche.

1.2 Description des émetteurs

Les émetteurs (ou stations maîtresses) utilisés sont les stations CARIBOU et FOX HARBOUR. Ils furent choisis en fonction de la disponibilité des données géoélectriques et de la région de propagation pour la pointe est de l'Ile d'Antiscoti.

1.3 Description générale des données de base

Une étude intensive nous a permis d'estimer les constantes géoélectriques pour la majeure partie de la surface de l'est du Canada, à l'exception de Terre-Neuve et d'une partie de la Gaspésie. Nous avons estimé les profondeurs et la valeur des constantes géoélectriques à l'aide des données décrites dans le premier rapport de recherche intitulé "*Évaluation des Constantes Géoélectriques pour la Prédiction du Déphasage Secondaire des Ondes Loran-C (Est du Canada)*". Les régions ayant des propriétés géoélectriques semblables pour les 3 couches supérieures de la surface terrestre ont été identifiées et tracées sur les cartes jointes au présent rapport. L'échelle utilisée est le 1:1 000 000.

1.4 Description des données numérisées

Les données numérisées sont comprises dans deux corridors de 18 km de large ayant comme origine FOX HARBOUR et CARIBOU. Ces corridors s'intersectent à la pointe est de l'Ile d'Anticosti, comme l'indique la figure 1.

Les ondes de surface Loran-C se propagent en partie au-dessus de l'eau et en partie au-dessus de la surface solide. Les altitudes ainsi que les constantes géoélectriques sont variables au-dessus de la surface terrestre.

La première partie du programme DEPHASE a pour but de former un fichier le long de la ligne de propagation, qui contient les altitudes et les impédances en certains points spécifiés par l'utilisateur. Ces valeurs sont tirées des fichiers de données des deux corridors principaux.

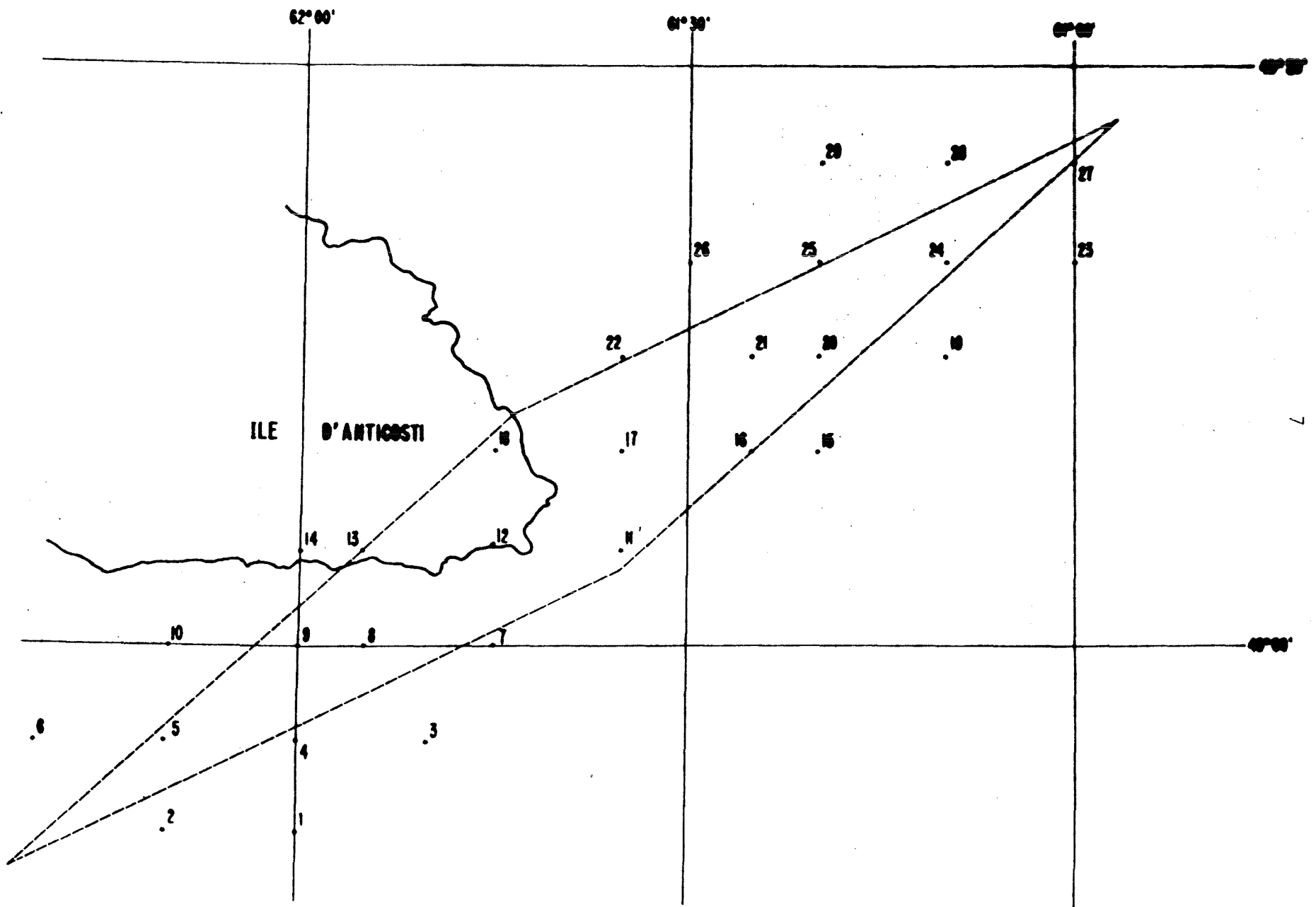


Figure 1. Intersection des corridors principaux

1.5 Description des points de calcul

Les points où les déphasages secondaires ont été évalués sont situés dans le parallélogramme formé par l'intersection des deux corridors principaux de propagation. Ils sont identifiés par leur latitude et longitude. Les points marqués d'un (*) sont communs aux deux émetteurs.

LISTE DES POINTS DE CALCUL

No:	Lat.	Lon.
1	48 50	62 00
2		62 10(*)
3	48 55	61 50
4		62 00
5		62 10(*)
6		62 20
7	49 00	61 45
8		61 55(*)
9		62 00
10		62 10
11	49 05	61 35(*)
12		61 45(*)
13		61 55(*)
14		62 00
15	49 10	61 20
16		61 25(*)
17		61 35(*)
18		61 45(*)
19	49 15	61 10
20		61 20
21		61 25(*)
22		61 35(*)
23	49 20	61°00"
24		61 10"(*)
25		61 20
26		61 30
27	49 25	61 00(*)
28		61 10
29		61 20

Ces points sont également indiqués à la figure 1.

2.0 LES RÉSULTATS

2.1 Méthode

La fonction d'atténuation $W(x)$ dont la formulation générale s'écrit:

$$W(x) = 1 - g(x) \int_0^x W(s) f(x,s) ds$$

a été évaluée numériquement pour chaque ligne ayant comme origine les émetteurs FOX HARBOUR et CARIBOU et les points (récepteurs) numérotés de 1 à 29.

Nous avons initialisé la fonction $W(x)$ avec la théorie de la terre plate pour les 5 premiers kilomètres de chaque ligne de propagation. L'intégrale est évaluée par une quadrature de Gauss.

Les lignes de propagation sont subdivisées en intervalles variant de 100 m sur la terre ferme à 10 km au-dessus de l'eau. Les points numérotés de 1 à 29 sont dans l'un ou l'autre des corridors de 18 km de large ayant comme origine les émetteurs FOX HARBOUR et CARIBOU. Nos banques de données actuelles ne permettent pas d'analyser la propagation des ondes Loran-C à l'extérieur des corridors que nous avons fixés.

2.2 Conditions de la simulation

La valeur des déphasages secondaires ne tient compte que des valeurs des constantes géoélectriques estimées et des altitudes le long du parcours de propagation. Les variations de température ainsi que la salinité de l'eau ne sont pas considérées. On ne tient pas compte des saisons, ce qui peut modifier grandement la valeur des constantes géoélectriques particulièrement dans la région du pergélisol.

2.3 Précision de la méthode

La précision des résultats dépend de la connaissance des impédances et du relief le long du parcours de propagation.

Il est relativement facile d'obtenir une précision assez grande pour les valeurs altimétriques. Cependant, les impédances que nous avons obtenues de l'analyse des variables géoélectriques peuvent être améliorées, ce qui ne peut qu'engendrer de meilleures valeurs pour l'évaluation du déphasage secondaire.

Il nous apparaît, à la suite de divers tests que nous avons effectués, que les variations d'impédance affectent moins les déphasages que les variations altimétriques. Une connaissance précise de l'altimétrie est une condition fondamentale pour l'évaluation des déphasages secondaires.

Il en est de même du choix des intervalles de calculs. Des variations rapides d'impédance ou d'altimétrie exigent une subdivision plus grande du parcours d'intégration pour tenir compte des caractéristiques fondamentales du parcours de propagation.

La présence d'îles ou d'ilots, alors que le parcours s'effectue au-dessus de l'eau, provoque des variations importantes dans la valeur du déphasage secondaire.

Le déphasage secondaire (ou ses variations) se fait sentir quelques kilomètres après une variation importante d'altitude ou d'impédance. Les fluctuations diminuent par la suite pour prendre une valeur s'approchant de la moyenne du déphasage secondaire le long du parcours.

Les résultats du déphasage secondaire, dans le quadrilatère formé par l'intersection des deux corridors de calcul, sont présentés aux tableaux 1 et 2. Les mêmes résultats sont présentés sous forme graphique aux figures 2 et 3.

DÉPHASAGE SECONDAIRE
ONDES LORAN-C
ÉMETTEUR: CARIBOU

	Récepteur		Distance km.	φ_C (μs)	φ_C (m)
	Lat.	Lon.			
5	48 55	62 10*	490.3	-0.015	-4.5
6	48 55	62 20	480.1	-0.008	-2.4
8	49 00	61 55*	510.3	-0.009	-2.7
10		62 10	494.0	-0.015	-4.5
11	49 05	61 35*	536.8	-0.009	-2.7
12		61 45*	526.6	-0.001	-0.3
13		61 55*	515.0	-0.038	-11.4
14		62 00	510.3	0.298	89.4
15	49 10	61 20	558.0	-0.007	-2.1
16		61 25*	552.5	0.009	+2.7
17		61 35*	540.9	0.017	5.1
18		61 45*	530.8	0.042	12.6
19	49 15	61 10	571.7	0.012	3.6
20		61 20	561.5	-0.005	1.5
21		61 25*	556.1	0.001	0.3
22		61 35*	544.6	0.018	5.4
23	49 20	61 00	587.3	0.008	2.4
24		61 10*	575.8	0.007	2.1
25		61 20	565.7	0.032	9.6
27	49 25	61 00*	591.5	0.028	8.4

(*) Points communs

Tableau 1.

DÉPHASAGE SECONDAIRE
ONDES LORAN-C
ÉMETTEUR: FOX HARBOUR

	Récepteur		Distance km.	φ_c (μs)	φ_c (m)
	Lat.	Lon.			
1	48 50	62 00	594.3	0.031	9.3
2		62 10	603.8	0.035	10.5
3	48 55	61 50	578.2	0.025	7.5
4		62 00	587.1	0.036	10.8
5		62 10*	596.6	0.048	14.4
7	49 00	61 45	568.2	0.026	7.8
8		61 55*	577.7	0.028	8.4
9		62 00	581.6	0.005	1.5
11	49 05	61 35*	552.8	0.024	7.2
12		61 45*	561.0	0.059	17.7
13		61 55*	570.6	0.022	6.6
16	49 10	61 25*	537.0	0.019	5.7
17		61.35*	546.4	0.020	6.0
18		61.45*	554.8	-0.090	-27.0
21	49 15	61.25*	531.5	0.012	3.6
22		61 35*	541.0	0.019	5.7
24	49 20	61 10*	512.5	0.014	5.2
26		61 30	530.3	0.024	7.2
27	49 25	61 00*	496.7	0.012	3.6
28		61 10	506.1	0.007	2.1
29		61 20	514.5	0.014	4.2

(*) Points communs

Tableau 2.

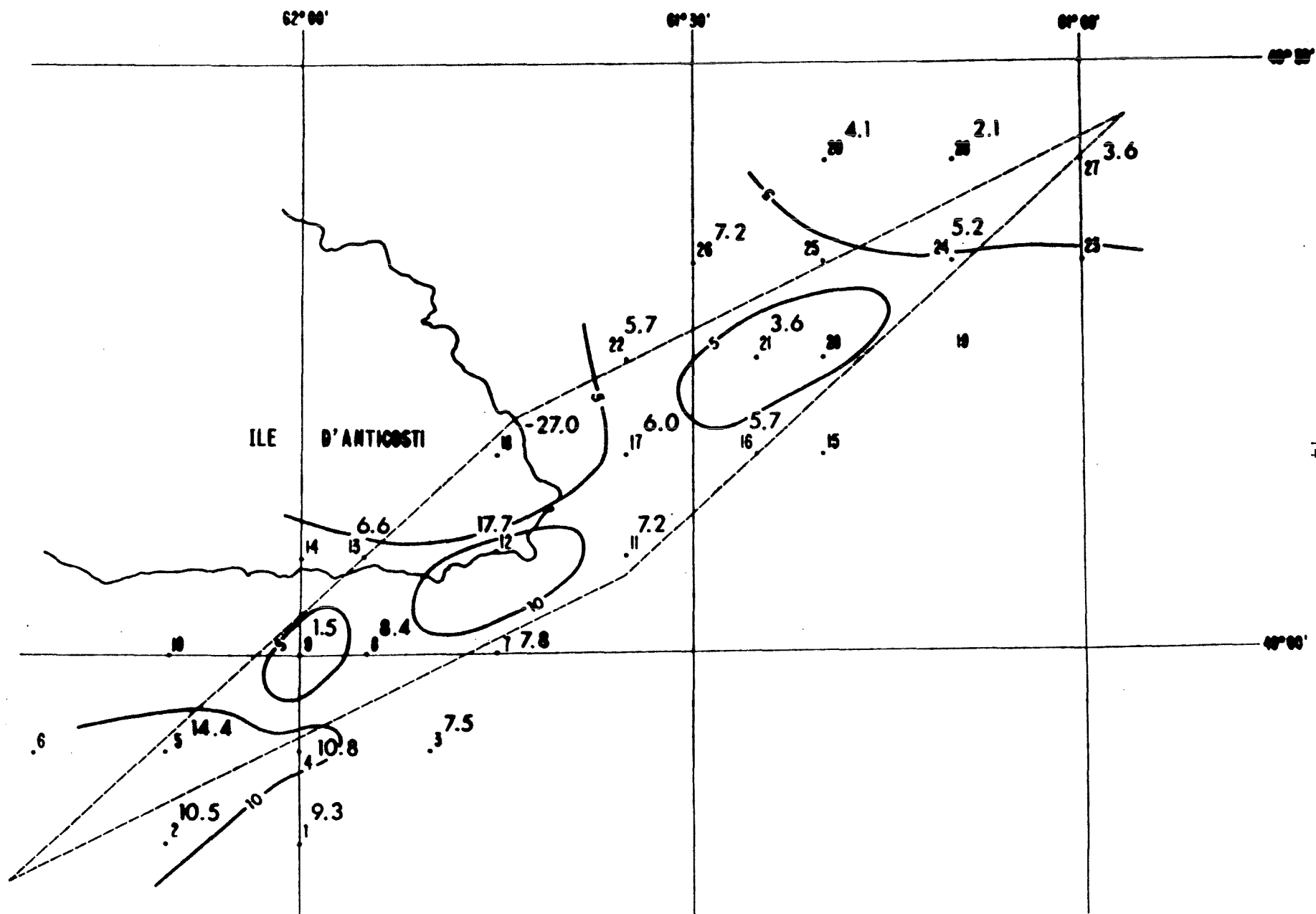


Figure 3. Déphasages en mètres
calculés de Fox Harbour

Figure 4. Déphasage secondaire
et profil altimétrique
ligne FOX HARBOUR à #5

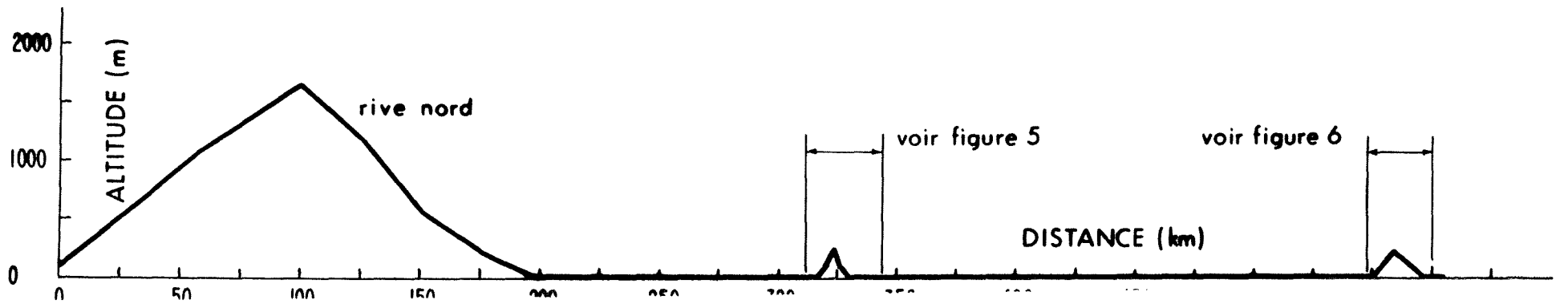
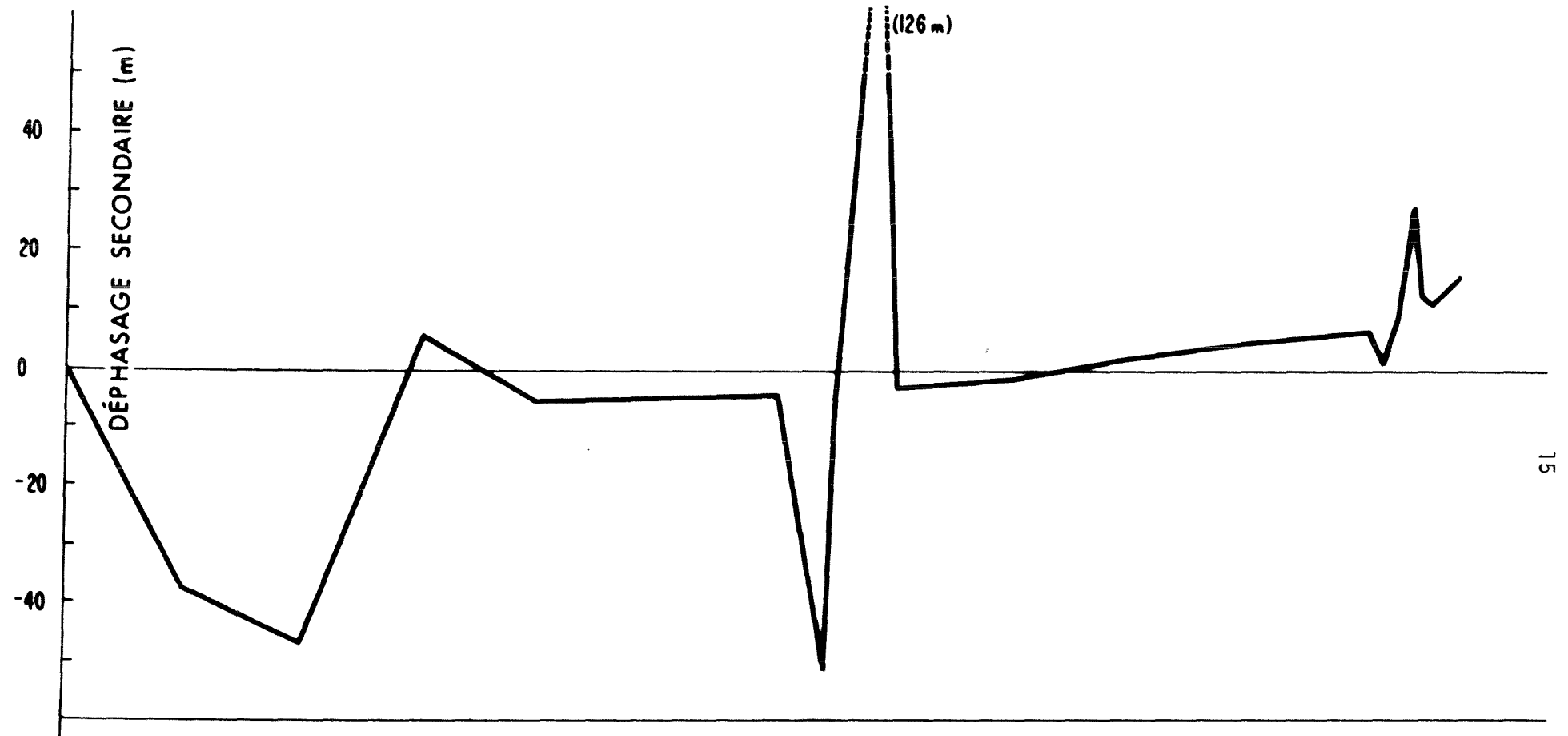


Figure 5. Déphasage secondaire détaillé
et profil altimétrique
ligne FOX HARBOUR à #5
(partie île)

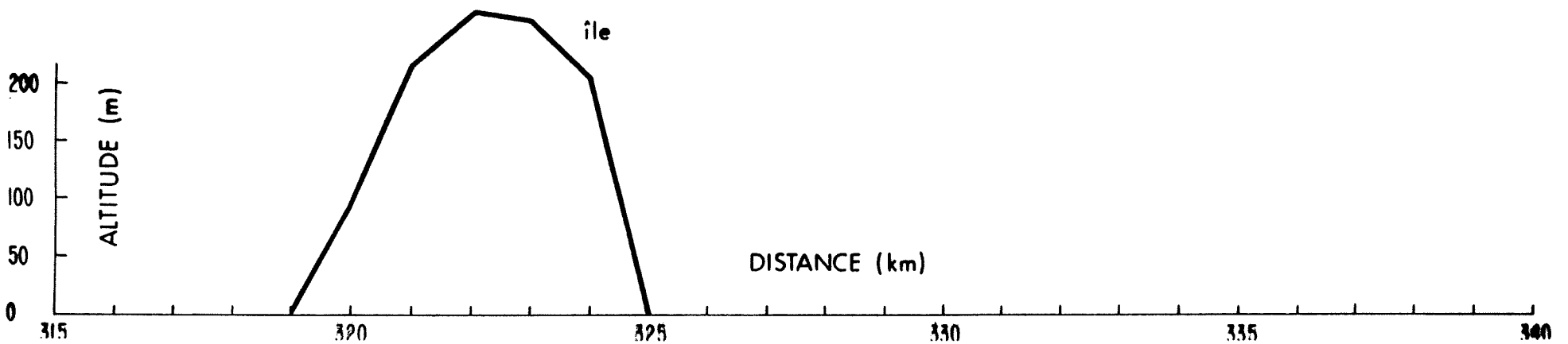
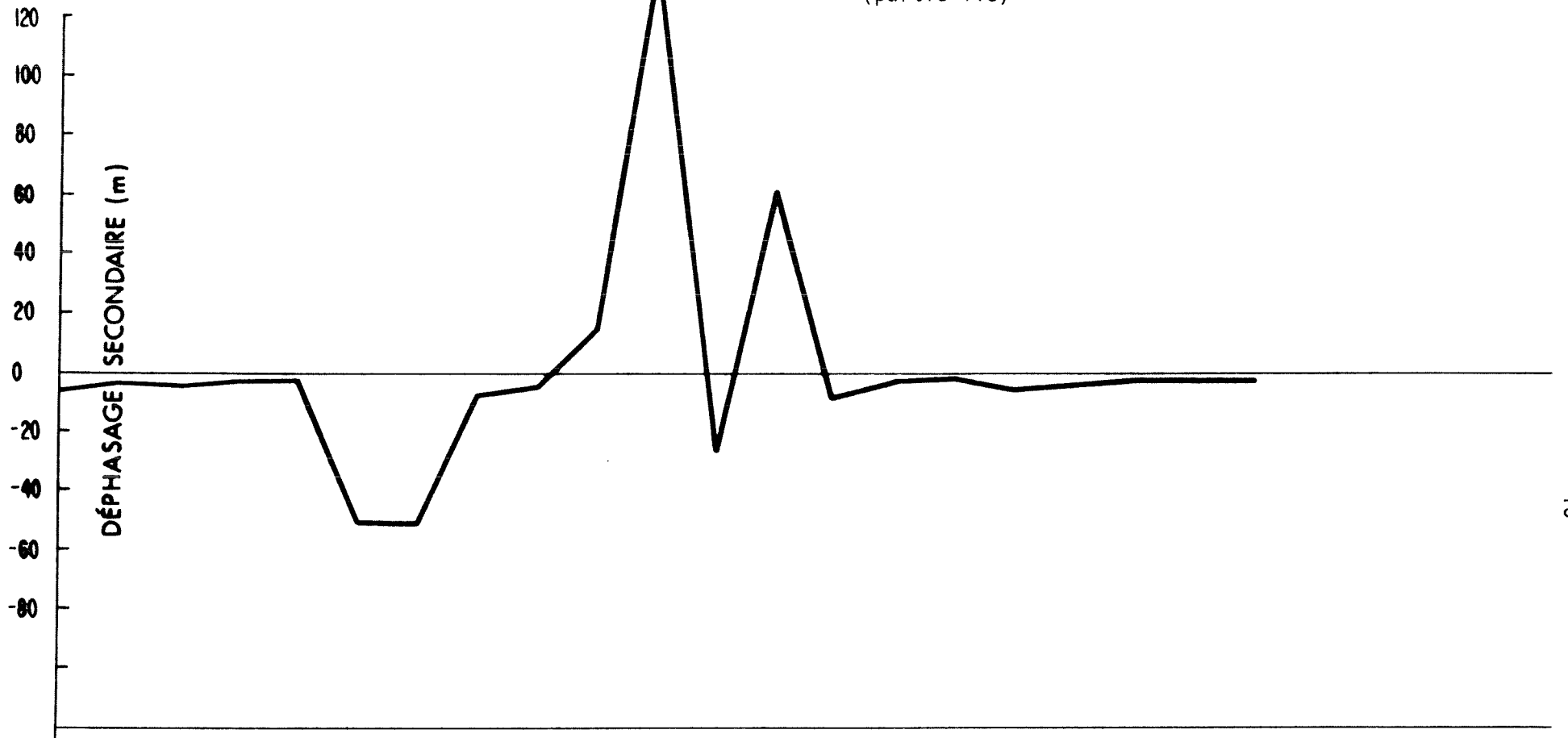


Figure 6. Déphasage secondaire détaillé
et profil altimétrique
ligne FOX HARBOUR à #5
(partie Ile d'Anticosti)

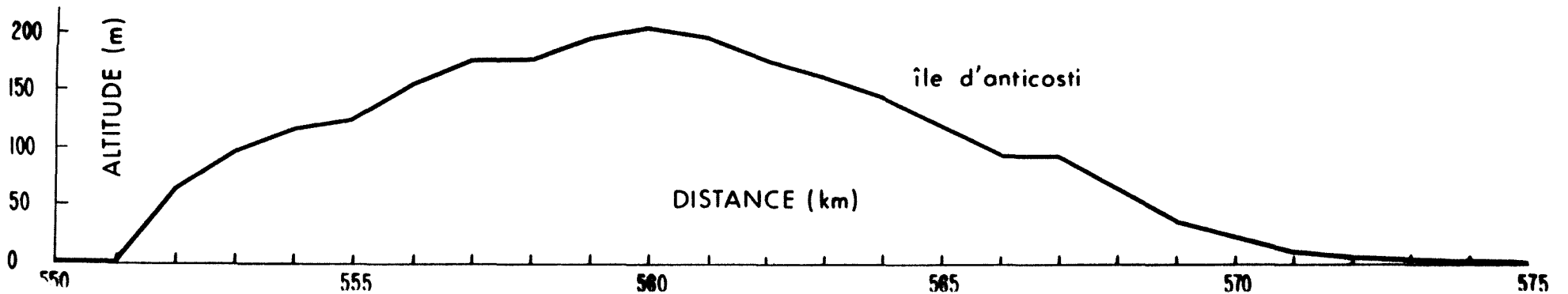
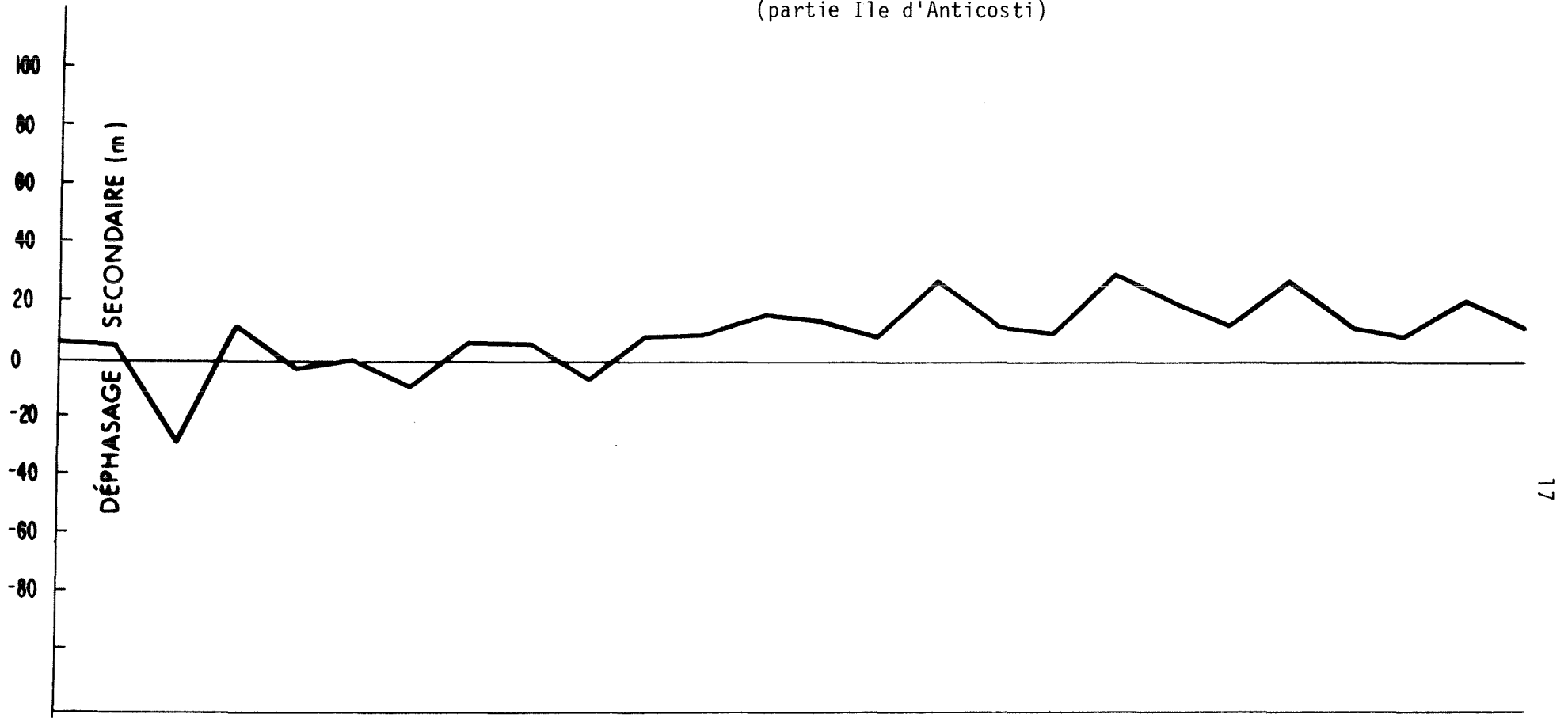


Figure 7. Déphasage secondaire détaillé
et profil altimétrique
ligne FOX HARBOUR à #5
(partie rive Nord)

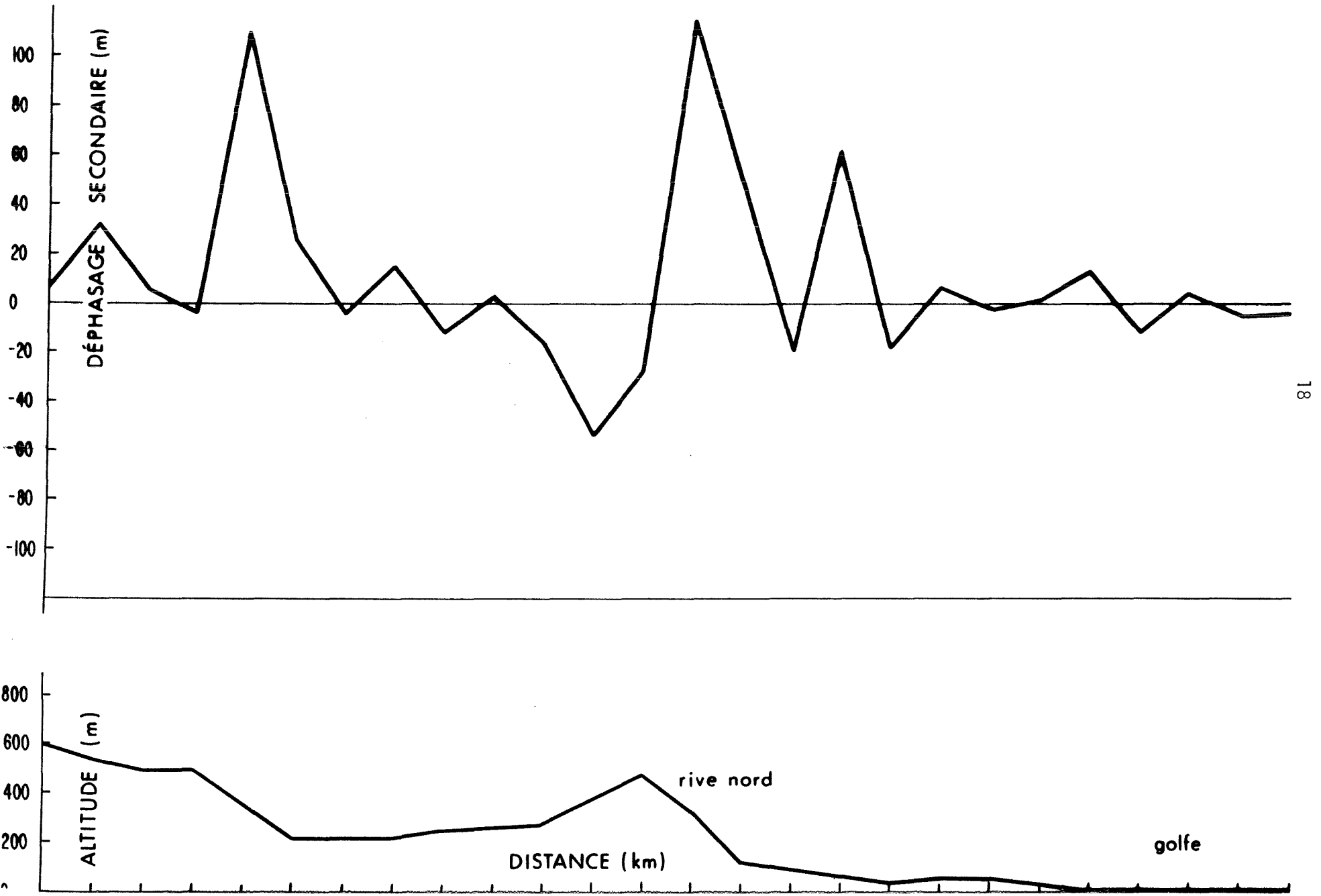


Figure 8. Déphasage secondaire
 et profil altimétrique
 ligne FOX HARBOUR à #9

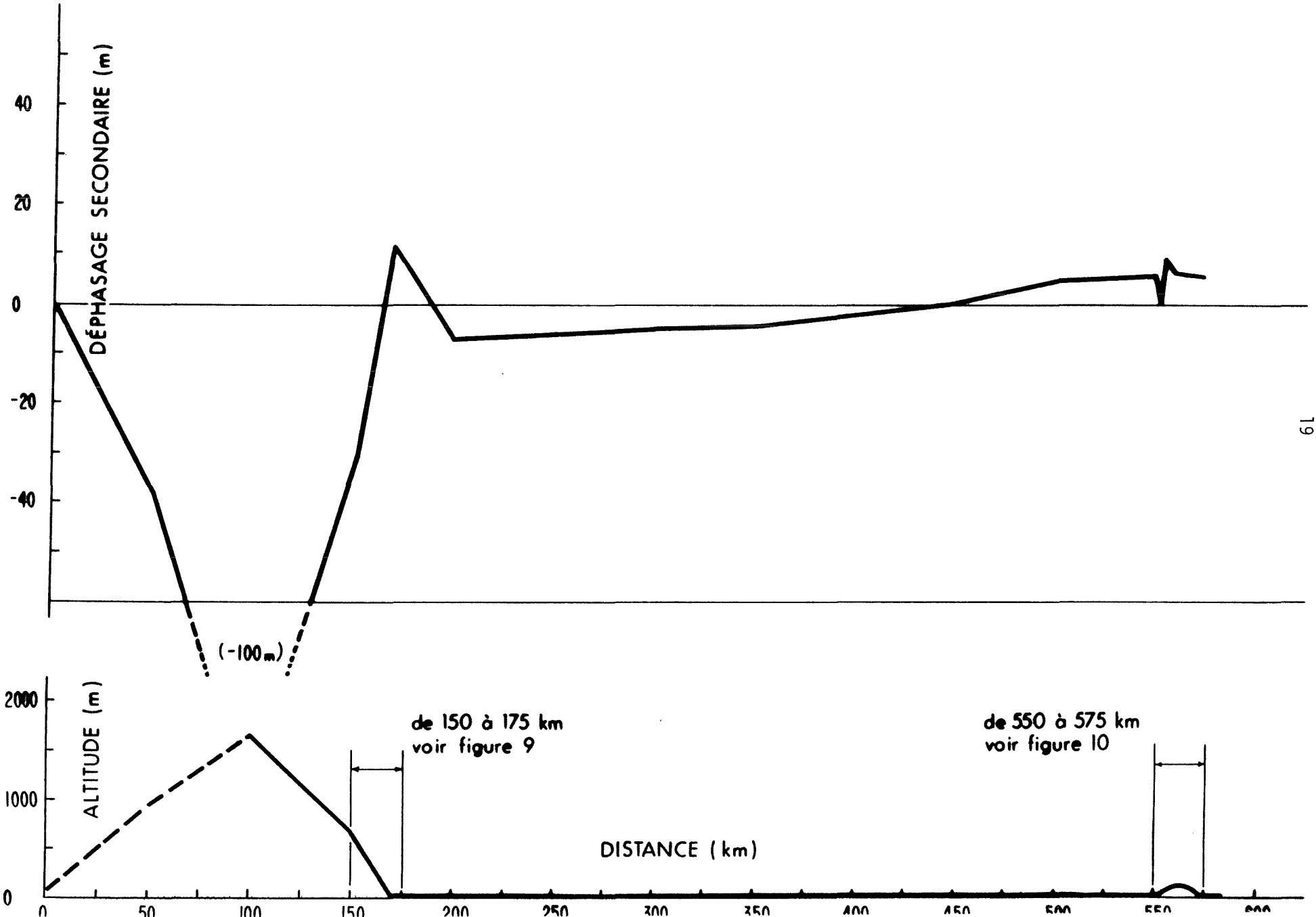


Figure 9. Déphasage secondaire détaillé
et profil altimétrique
ligne FOX HARBOUR à #9
(partie rive Nord)

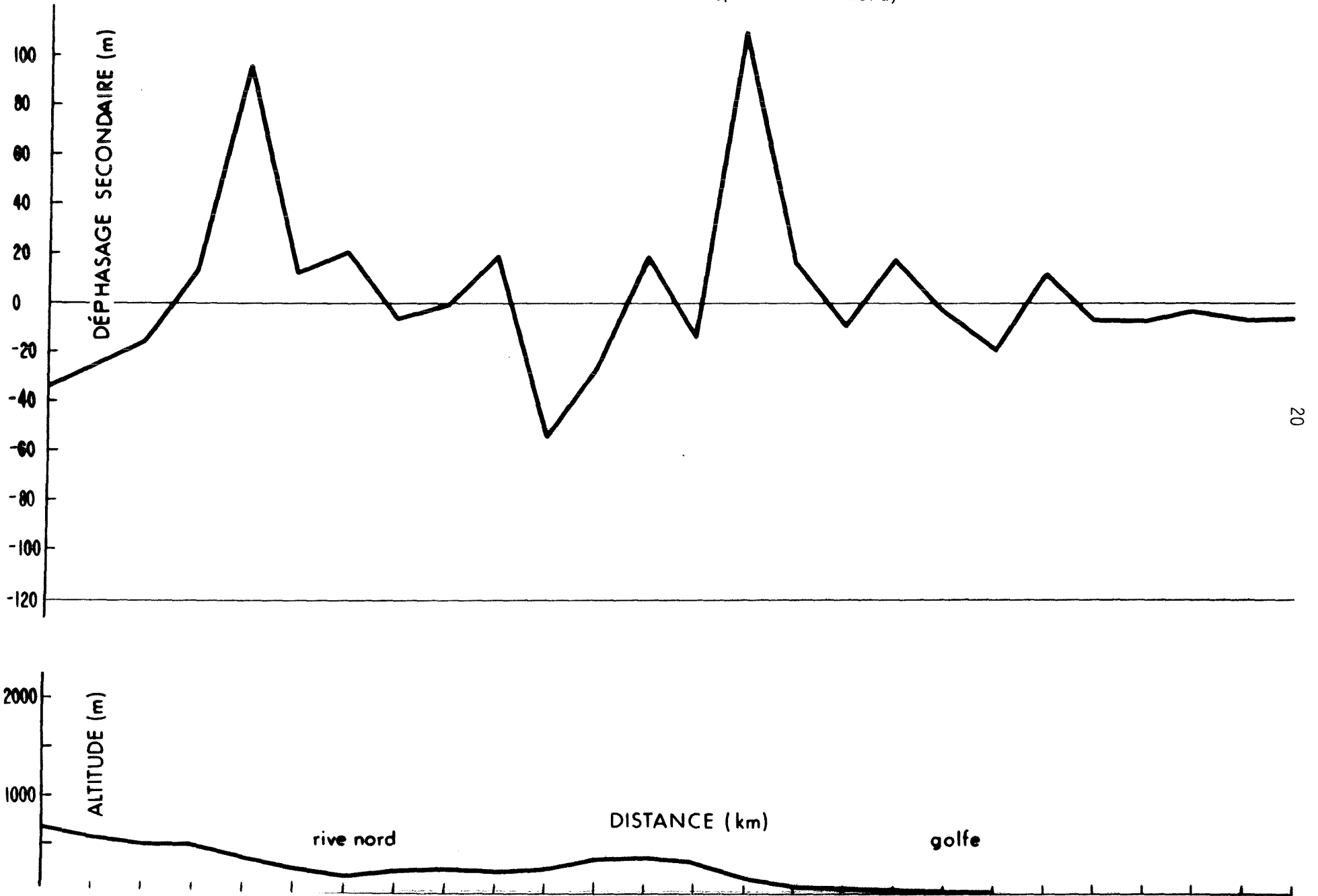
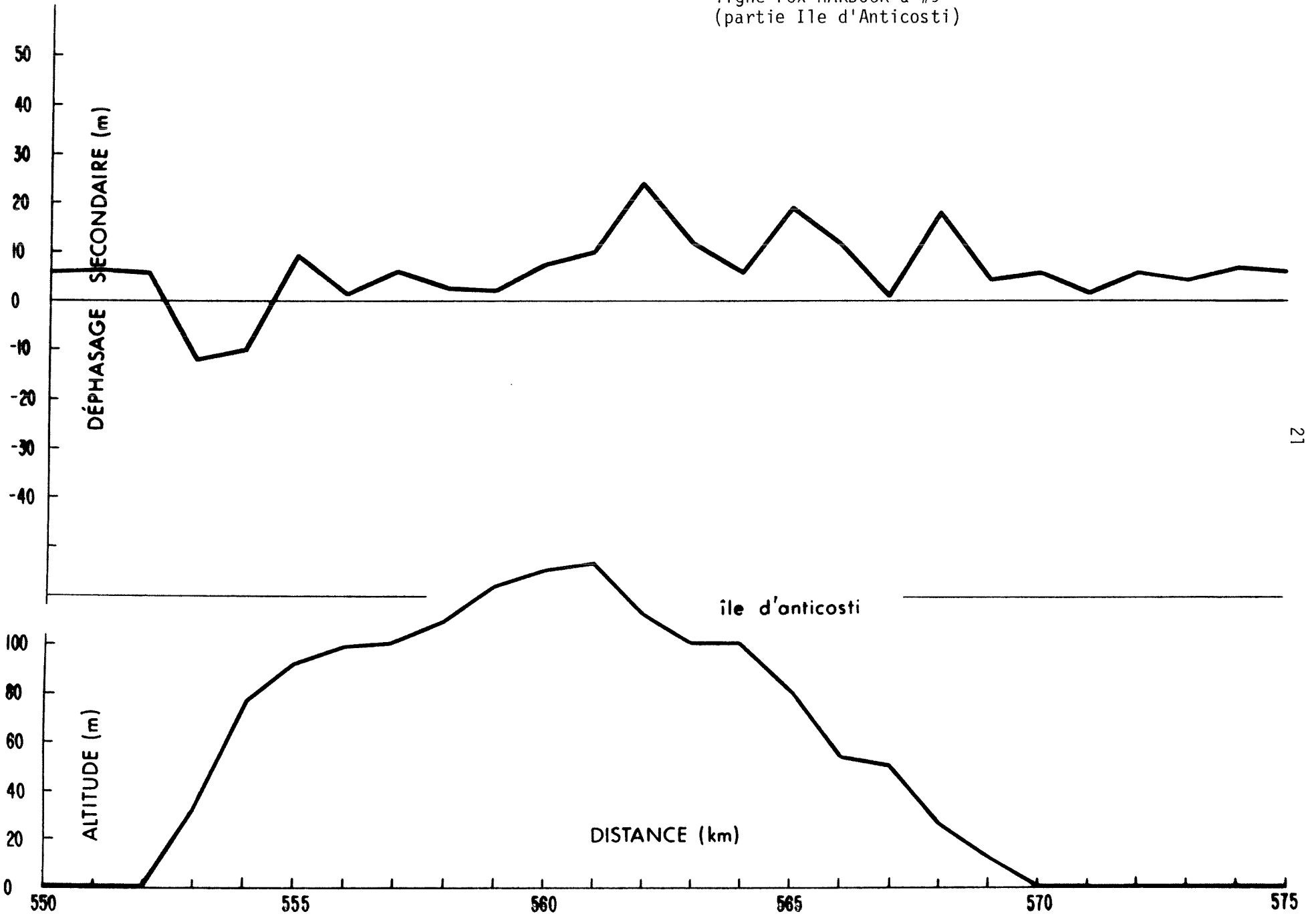


Figure 10. Déphasage secondaire détaillé
et profil altimétrique
ligne FOX HARBOUR à #9
(partie Ile d'Anticosti)



2.4 Discussion de résultats typiques

Nous avons analysé un peu plus en détails deux lignes de propagation à partir de l'émetteur Fox Harbour. Il s'agit des lignes se terminant aux points 5 et 9.

Les figures 4 et 8 donnent le profil complet du parcours d'intégration. Dans les deux cas, les intervalles des distances sont de 5 km.

2.4.1 Ligne Fox Harbour au #5

Le profil d'intégration rencontre deux îles dans le golfe où on note de grandes variations dans le déphasage secondaire. Les détails du parcours pour les deux îles sont représentés aux figures 5 et 6. La figure 7 représentant l'interface rive Nord et le golfe est caractéristique de l'atténuation du déphasage secondaire, quelques kilomètres après avoir rencontré une variation importante d'altitude ou d'impédance. La figure 7 indique clairement l'influence de la variation altimétrique sur le déphasage secondaire. Les variations du déphasage secondaire sont à toutes fins pratiques proportionnelles aux variations altimétriques le long du parcours de propagation.

2.4.2 Ligne Fox Harbour au #9

Le déphasage secondaire maximum le long de cette ligne se situe à 100 km de l'émetteur et a pour valeur -100 m. Dès que la surface terrestre du parcours de propagation se stabilise en altimétrie et en impédance, le déphasage secondaire se stabilise également entre -8 m et 10 m jusqu'à ce qu'il atteigne l'Ile d'Anticosti où les variations commencent à se manifester. On note une variation importante du déphasage avec un changement d'impédance à l'interface de l'eau et de l'Ile. Par la suite, les variations de déphasage suivent plus ou moins la topographie de l'Ile pour ensuite se stabiliser au niveau moyen du parcours au-dessus de la surface du Golfe.

3.0 AMÉLIORATIONS DE LA MÉTHODE

3.1 Considérations générales

L'estimation du déphasage secondaire est un problème analytique fort délicat. La méthode que nous avons choisie, permet de tenir compte de la plupart des variables qui affectent la vitesse de propagation des ondes de sol dans la gamme des basses fréquences.

Si on conserve cette approche pour des travaux futurs, on doit considérer une technique de numérisation qui permet de créer des fichiers valides pour tout le territoire canadien de façon à permettre l'analyse de la vitesse de propagation des ondes Loran-C sur tout notre territoire. La création de ces fichiers est une problématique de taille. C'est essentiellement un problème de budget à consacrer à son établissement et à son développement. Si une telle solution était envisagée, la division du territoire canadien en secteurs, ayant à la base les chaînes fondamentales du réseau Loran-C, est à considérer.

Une analyse des vitesses de propagation qui tiendrait compte des saisons permettrait d'établir un modèle mathématique aussi simple que possible pour améliorer les valeurs estimées du déphasage secondaire en fonction de la température du sol.

3.2 Une approche numérique au problème de la propagation

Notre approche, pour la solution du calcul du déphasage secondaire, est essentiellement analytique. C'est une solution aux équations de Maxwell qui tient compte de l'irrégularité du terrain de propagation.

On pourrait également considérer une approche strictement numérique, si on admet que les déphasages secondaires sont connus sur un grand territoire ou dans un secteur particulier. La méthode des variables régionalisées et le Krigeage seraient dans ce cas des outils fort importants. Cette méthode permettrait d'utiliser des valeurs réelles mesurées pour en prédire d'autres en certains points stratégiques. Une telle méthode exigerait l'observation des déphasages secondaires sur de grands territoires à des intervalles assez réguliers. Ces observations permettraient d'améliorer nos connaissances sur la valeur des impédances relatives qui sont requises dans la solution analytique.

3.3 Nécessités de développer un modèle de propagation précis

Le système Loran-C a été conçu essentiellement comme un moyen de navigation de surface. La miniaturisation des récepteurs a permis d'en généraliser l'usage aux transporteurs aériens. Le système Loran-C est déjà approuvé dans certaines régions des États-Unis pour la navigation IFR en route ainsi que pour des approches de non-précision aux instruments aux aéroports qui ne possèdent pas de systèmes d'approche conventionnels. Dans certains cas, le déphasage secondaire peut atteindre plusieurs kilomètres en valeur absolue. Un système opérationnel qui exigerait une précision supérieure à 500 mètres ne pourrait être utilisé à moins de connaître une valeur précise du déphasage secondaire.

Les opérations maritimes côtières et portuaires ressemblent, en certains points, aux opérations aériennes aux abords des aéroports. L'économie d'opération et la sécurité générale exigent une précision de positionnement de plus en plus grande. Le système Loran-C sera bien sûr désuet avec l'apparition et l'utilisation du système GPS qui est de loin plus précis. Cependant, la transformation d'un système à l'autre ne sera pas instantannée, compte tenue des implications économiques reliées à de tels changements.

L'utilisateur moyen continuera d'utiliser le système Loran-C aussi longtemps qu'il y aura des émetteurs en fonctionnement.

4.0 Conclusions

La précision du positionnement du système Loran-C, dépend essentiellement de la configuration géométrique de l'intersection des hyperboles de position ainsi que de la connaissance de la vitesse de propagation des ondes de sol.

A la suite de cette recherche, on peut affirmer que nous pouvons prédire, avec une précision suffisante, le déphasage secondaire des ondes Loran-C et que la précision de cette prédiction dépend de la connaissance des impédances et de l'altimétrie le long du parcours de propagation. Pour le cas actuel, on déduit également que l'altimétrie joue un rôle fondamental dans la précision du calcul du déphasage secondaire.

Les banques de données altimétriques que nous avons utilisées, ont été créées à tous les kilomètres et demi. L'utilisation efficace du programme DEPHASE exigerait cependant que ces banques de données soient créées à tous les 100 m. Une telle banque de données altimétriques permettrait de prédire, dans un territoire donné, les déphasages secondaires avec une bonne précision. Si cette condition est satisfaite, il n'est pas utopique d'affirmer que le positionnement par le système Loran-C serait précis à 100 m et mieux dans la plupart des cas.

Le module INTEGRATION du programme DEPHASE peut être utilisé de façon indépendante. La plupart des programmes développés dans DEPHASE servent à préparer les données finales pour la solution de l'équation intégrale du facteur d'atténuation. Une nouvelle banque de données plus générale exigerait de revoir la préparation des données de base pour leur utilisation par le module INTEGRATION.

L'influence des variations de température le long du parcours d'intégration pourrait être étudiée en détail et le résultat pourrait servir à publier, de façon périodique, les déphasages secondaires en certains points stratégiques du territoire comme, par exemple, aux aéroports ou dans les régions portuaires où une navigation précise est requise. Le modèle mathématique pourrait également être intégré aux récepteurs en usage pour le calcul précis des positions.

ANNEXE 1

COPIE DU PROGRAMME DEPHASE

FERMETURE DE NOUVEAU DES BUREAUX (BU, CYBELITE, ETC), LE 09 09 09
DIMANCHE, 16 AVRIL, 1974, 10 H 00, 11 H 00, 14 H 00, 17 H 00
PROCÉDER A L'INSTALLATION DU SYSTEME A. 007
000
007
000
007
CI

BESOIN D'AIDE LORS DE L'UTILISATION DE L'INFORMATIQUE AU TELEPHONE ?
LE CENTRE DE TRAITEMENT DE L'INFORMATION (CTI) OFFRE UN SERVICE DE
CONSULTATION DE PREMIERE LIGNE
00421, AVENUE JEAN-CHARLES-BOURNAZ
TELEPHONE: POSTE 4000
(DE L'INTERIEUR: 399-7111)
DE 0830 A 1115 ET DE 1330 A 1730, DU LUNDI AU VENDREDI

JEPHAS

*A	DEBUT	JCB	2831	23032	31	1	0	1	0	1	1	1	1130031
*A	DEBUT	JCB	2831	23032	31	1	0	1	0	1	1	1	1130031
*A	DEBUT	JCB	2831	23032	31	1	0	1	0	1	1	1	1130031
*A	DEBUT	JCB	2831	23032	31	1	0	1	0	1	1	1	1130031
*A	DEBUT	JCB	2831	23032	31	1	0	1	0	1	1	1	1130031
*A	DEBUT	JCB	2831	23032	31	1	0	1	0	1	1	1	1130031

111111

C001
C002
C003
C004
C005
C006
C007
C008
C009
C010
C011
C012
C013
C014
C015
C016
C017
C018
C019
C020
C021
C022
C023
C024
C025
C026
C027
C028
C029
C030
C031
C032
C033
C034
C035
C036
C037
C038
C039
C040
C041
C042
C043
C044
C045
C046
C047
C048
C049
C050
C051
C052
C053
C054
C055
C056
C057

```
PROGRAM DEPHASE
*****
PROGRAMME DE PREDICTION DU SIGNAL LOPANC
UNIVERSITE LAVAL - LAVAL QUEBEC
VERSION 1.0 - AVRIL 1987
VERSION 1.0 - AVRIL 1987
*****
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
IMPLICIT INTEGER (I-N)
REAL*8 MODULE, XPHASE
DIMENSION VEC(100), L(2,1), FL(100,5), CDDA(1(200),5)
DIMENSION GEO(3000,10)
COMPLEX*16 CIMP(2000), L1(0:3000)
COMMON/NOB/INFO_NBTI(4,1,1)
COMMON/FACTEUR/FA
COMMON/VEC/VEC
COMMON/CDD/CDDAGE
COMMON/SEL/SEL
COMMON/TERMIN/ X, FACT, FB, FPD, DEL
COMMON/NO/NO
COMMON/Hz/HZ
COMMON/CIAP/CIMP
COMMON/CONST1/ PA, PB, PC, PD, PE, PF, PI, PL, PP, PNF
COMMON/CONST4/ CMCC, EPS1, OMEGA, OVL, OK1, D15
CALL INITCONST
1000 CONTINUE
ITV=0
ICL=0
WRITE (5,100)
100 FORMAT ('1',///,10X,'PREDICTION DU SIGNAL LOPANC',
+ //,5X,'VOUS AVEZ SAISIS DES PARAMETRES SUIVANTS',
+ //,5X,'POU UTILISER LE LOGICIEL DEPHASE:',
+ //,5X,'NOM DE LA BANDE NUMERISEE',
+ //,5X,'COORDONNEES DE L'EMETTEUR',
+ //,5X,'NOMBRE ET VALEUR DES INCREMENTS DE LA LIGNE')
WRITE (5,110)
110 FORMAT (///,5X,'NOUVEAUX PARAMETRES DECRIVANT LA BANDE.....')
WRITE (5,130)
130 FORMAT (///,5X,'PARAMETRE COMPLET DU PROGRAMME DEPHASE.....')
WRITE (5,140)
140 FORMAT (///,5X,'VOTRE SELECTION SVP? (ENTREE 1 OU 2)')
READ (5,150) I
150 FORMAT (I1)
IF (I.EQ.1) THEN
```

DEPHASE

18-APR-1988
18-APR-1988

```
C058  
C059  
C060  
C061 1005 CONTINUE  
C062  
C063 CALL INPT  
C064  
C065 1010 CONTINUE  
C066  
C067 CREATION DES BANQUES DE DONNEES  
C068  
C069  
C070 CALL BANQUE  
C071  
C072 1700 CONTINUE  
C073  
C074 CALL INFOFFI (MODULE, XPHASE)
```

DEPHASE

18-APR-198
18-APR-198

```
0058          GO TO 1005
0059          ENDIF
0060
0061      1005  CONTINUE
0062
0063          CALL INPUT
0064
0065      1010  CONTINUE
0066          C
0067          C      CREATION DES CARACTERS DE L'APPAREIL
0068          C
0069
0070          CALL SANCUE
0071
0072      1700  CONTINUE
0073
0074          CALL IMPFDEFI (MODULE, PBASE)
0075
0076      1800  CONTINUE
0077
0078          C
0079          C      CALCUL DU PROBLEME INTEGRAL
0080          C
0081          CALL INTEGRATION
0082
0083      1900  CONTINUE
0084          C
0085          C      FIN DU PROGRAMME
0086          C
0087          WRITE(6,*) 'PROGRAMME TERMINE'
0088          STOP
0089          END
```

DEPHASE

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTE
0 \$CODE	
1 \$PDATA	
2 \$LOCAL	
3 \$RUK	
4 \$FACTOR	
5 \$VEC	

BYTE

11-APR-198
11-APR-198

```
0001 C*****  
0002 C*****  
0003 C*****  
0004  
0005 C*****  
0006 C  
0007 C PROGRAM INITCONST  
0008 C  
0009 C INTRODUCE PROGRAM SECTIONS AND ATTRIBUTES  
0010 C TO PROGRAMMER.  
0011 C  
0012 C*****  
0013 C SUBROUTINE INITCONST  
0014  
0015 C IMPLICIT DOUBLE (A-H, O-Z)  
0016 C COMMON/CONST/ P, PE, PI, CYL, FCA, EPS1, OMEGA, CN1  
0017 C  
0018  
0019 P=0.171451E+01  
0020 PE=0.000000E+00  
0021 PEZ=(P*PE-PE*P)/(P*PE-PE*P)  
0022 PE=0.000000E+00  
0023 PI=0.171451E+01  
0024 CYL=2.000000E+00  
0025 FCA=(P*PE-PE*P)/P  
0026 EPS1=(P*PE-PE*P)/(P*PE-PE*P)-1.0  
0027 CN1=1.125000E-05  
0028 EPS1=1.000000E+00  
0029 OMEGA=1.000000E+01  
0030 CN1=DSIGN(OMEGA, EPS1)*OMEGA/CYL  
0031  
0032 RETURN  
0033 END
```

INITCONST

11-APR-198
11-APR-198

PROGRAM SECTIONS

NAME

BYTES

ATTRIBUTES

18-APR-1988
18-APR-1988

```
0001  
0002  
0003  
0004  
0005 C*****  
0006 C*****  
0007 C*****  
0008  
0009 C*****  
0010 C  
0011 C PROGRAMME INPUT  
0012 C  
0013 C LECTURE DES DONNEES POUR LE CALCUL DE DEPHASE.  
0014 C  
0015 C*****  
0016 C SUBROUTINE INPUT  
0017  
0018 C IMPLICIT REAL*8 (A-H, O-L)  
0019 C IMPLICIT INTEGER (I-K, M-N)  
0020 C REAL*8 MODULE, DEPHASE  
0021 C DIMENSION VEC(100),C(A,1),HZ(3000,A),CODAGE(3000,5)  
0022 C DIMENSION GEC(3000,10)  
0023 C COMPLEX*16 CIMP(3000),F(C:3000)  
0024 C COMMON/NUM/INFC_ALTI(421,14)  
0025 C COMMON/FACT/UNK/M  
0026 C COMMON/VEC/ VEC  
0027 C COMMON/COD/ CODAGE  
0028 C COMMON/SEC/ GEC  
0029 C COMMON/TERRAIN/ X, HAUT, HP, HP2, DEL  
0030 C COMMON/KC/ KC  
0031 C COMMON/HZ/ HZ  
0032 C COMMON/SIMP/ CIMP  
0033 C COMMON/ENLT/ LAT_E, LONG_E, AZ  
0034 C COMMON/ISTAT/ ISTAT  
0035 C COMMON/COUNSIS/ PA, P1, PE2, P2, P1, PLA, LP, LWE  
0036 C COMMON/CONST4/ CM00, EPS1, EPS2, CVL, CK1, CK2  
0037 C COMMON/RECEPT/ ISANDE, LATS, LTRGK  
0038 C  
0039 C LATITUDE DES STATIONS EMETTRICES  
0040 C  
0041 C LAT_CAR1 = 40.42734000  
0042 C LONG_CAR1 = 07.53843500  
0043 C LAT_FOX = 52.22351100  
0044 C LONG_FOX = 55.42213500  
0045  
0046 C ITV=6  
0047 C ICL=5  
0048  
0049 1005 CONTINUE  
0050  
0051 C WRITE (ITV,160)  
0052 160 FORMAT ('1',///,24X,'PREDICTION DU SIGNAL LORAN-C')  
0053  
0054 C WRITE (ITV,170)  
0055 170 FORMAT (///,/, 'CHOIX DE LA BANDE!')  
0056  
0057 C WRITE (ITV,180)
```

INPUT

18-APR-1988
18-APR-1988

```
0058 180 FORMAT (///,20X,'CARIECU-----ILE ANTICOSTI....1 !')  
0059  
0060 C WRITE (ITV,190)  
0061 190 END
```


INPUT

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0058 180  FORMAT (///,20X,'CARIPOU-----ILE ANTICOSTI.....1 !')
0059
0060      WRITE (ITV,190)
0061 190  FORMAT (///,20X,'FCX-HARBOUR--ILE ANTICOSTI.....2 !')
0062
0063      WRITE (ITV,194)
0064 194  FORMAT (///,' VOTRE SELECTION S.V.P. ?')
0065
0066      READ (ICL,195) I
0067 195  FORMAT (I1)
0068
0069
0070      IF ((I.EQ.1).OR.(I.EQ.2)) THEN
0071          GOTO 1015
0072      ELSE
0073          GOTO 1008
0074      ENCIF
0075
0076
0077 1015  CONTINUE
0078
0079
0080      IF (I.EQ.1) THEN
0081          LAT_E=LAT_CARI
0082          LONG_E=LONG_CARI
0083          ISTAT=1
0084          IBAIDE=1
0085          OPEN (3,FILE='ALTICARI.DAT',STATUS='OLD')
0086          DO 1850 I=1,421
0087              READ(3,*) (INFO_ALTI(I,J),J=1,14)
0088 1850  CONTINUE
0089          CLOSE (3)
0090      ELSE
0091          LAT_E=LAT_FCX
0092          LONG_E=LONG_FCX
0093          ISTAT=2
0094          IBAIDE=2
0095          OPEN (3,FILE='ALTIFCX.DAT',STATUS='OLD')
0096          DO 1900 I=1,421
0097              READ(3,*) (INFO_ALTI(I,J),J=1,14)
0098 1900  CONTINUE
0099          CLOSE (3)
0100
0101      ENCIF
0102
0103      CALL DMS_READ (LAT_E)
0104      CALL DMS_READ (LONG_E)
0105
0106
0107      WRITE (ITV,161)
0108 161  FORMAT ('1',///,30X,'POSITION DU RECEPTEUR ?')
0109
0110
0111      WRITE (ITV,171)
0112 171  FORMAT (///,8X,'LATITUDE DDD.MMSS ?')
0113      READ (ICL,*) LAT_R
0114
0115      WRITE (ITV,191)

```

INPUT

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0115 191  FORMAT (///,8X,'LONGITUDE DDD.MMSS ?')
0116      READ (ICL,*) LONG_R
0117
0118      LATR=LAT_R
0119      LONGR=LONG_R
0120
0121

```

```

C105
C106
C107 WRITE (ITV,161)
C108 161 FORMAT ('1',//,30X,'POSITION DU RECEPTEUR ?')
C109
C110 WRITE (ITV,171)
C111 171 FORMAT (///,8X,'LATITUDE DOLBYSS ?')
C112 READ (ICL,*) LAT_R
C113
C114 WRITE (ITV,191)

```

INPUT

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C115 191 FORMAT (///,8X,'LONGITUDE DOLBYSS ?')
C116 READ (ICL,*) LONG_F
C117
C118 LATR=LAT_R
C119 LONGR=LONG_R
C120
C121 CALL DMS_RAD (LAT_R)
C122 CALL DMS_RAD (LONG_F)
C123
C124 200 FORMAT (3(D20.14,1X),D20.10)
C125 210 FORMAT (3(D16.10,1X))
C126
C127 C
C128 C
C129 CALL SCSANG_INVERSE (LAT_L,-LONG_L,LAT_R,-LONG_R,DIS,AAZ)
C130 DIS=(INT(DIS/100))*100
C131 WRITE (ITV,*) 'DIS',DIS,'AZ',AAZ
C132
C133 C
C134 C
C135 CALL INCREMENTATION (DIS)
C136 OPEN (1,FILE='VEC.DAT',STATUS='NEW')
C137 WRITE (ITV,*) 'VECTEUR DES INCREMENTS'
C138 DO I=1,INT(VEC(1))
C139 WRITE (I,*) VEC(I)
C140 WRITE (ITV,*) VEC(1)
C141 END DO
C142
C143 RETURN
C144 END

```

INPUT

18-APR-1988

18-APR-1988
18-APR-1988

```
C001 C*****
C002 C*****
C003 C*****
C004 C*****
C005
C006 SUBROUTINE BANQUE
C007
C008 C*****
C009 C
C010 C PROGRAMME BANQUE
C011 C
C012 C CREATION DES BANQUES DE DONNEES
C013 C
C014 C*****
C015 IMPLICIT REAL*8 (A-F,D-L)
C016 IMPLICIT INTEGER (I-K,M-N)
C017 REAL*8 MODULE, MPHASE
C018 DIMENSION VEC(100),C(5,1),F2(10,5),COCAGE(3000,5)
C019 DIMENSION GEC(3000,10)
C020 COMPLEX*16 CIMP(3000),W(C:3000)
C021 COMMON/NUM/INFC_ALTI(421,14)
C022 COMMON/FACTEUR/ W
C023 COMMON/VEC/ VEC
C024 COMMON/CIMP/ CIMP
C025 COMMON/HZ/ HZ
C026 COMMON/COG/ COCAGE
C027 COMMON/GEO/ GEC
C028 COMMON/TERRAIN/ X, HAUT, HP, HP2, DEL
C029 COMMON/RC/ RC
C030 COMMON/EMET/ LAT_E, LONG_E, AAZ
C031 COMMON/ISTAT/ ISTAT
C032 COMMON/IL/ IL
C033 COMMON/CONSTE/ PA, PB, PE2, PE, PI, FLA, EPRIME
C034 COMMON/CONST4/ CMUC, EPS1, OMEGA, CVL, CK1, DIS
C035 C
C036 C COUVERTURE DES PRINCIPAUX FICHIERS
C037 C
C038 OPEN (1, FILE= 'PHI_LAMBOA.COR', STATUS='NEW')
C039 OPEN (2, FILE= 'LAMBERT.COR', STATUS='NEW')
C040 OPEN (3, FILE= 'MERCATOR.COR', STATUS='NEW')
C041 OPEN (4, FILE= 'GEOELEC.COR', STATUS='NEW')
C042 OPEN (5, FILE= 'CG2.DAT', STATUS='NEW')
C043
C044 C OPEN (11, FILE= 'VEC.DAT', STATUS='OLD')
C045 C DO 500 I=1, INT(VEC(1))
C046 C READ (11,*) VEC(I)
C047 C500 CONTINUE
C048
C049 C
C050 C CREATION DES BANQUES DE DONNEES AUX STATIONS EMETTRICES
C051 C
C052 CUMUL=C.DO
C053 WRITE (1,200) LAT_E, LONG_E, CUMUL/1000.DO
C054 200 FORMAT (2(D20.14,1X),D20.10)
C055 CALL LAMBERT (ISTAT, LAT_E, LONG_E, XLBT, YLBT)
C056 WRITE (2,210) XLBT, YLBT, CUMUL/1000.DO
C057 210 FORMAT (3(D16.10,1X))
```

BANQUE

18-APR-1988
18-APR-1988

```
C058 CALL ROTATION (1, ISTAT, LONG_E, XLBT, YLBT, XLCLBT, YLCLBT)
C059 WRITE (9,*) XLCLBT, YLCLBT
C060 CALL MERCATOR (LAT_E, LONG_E, XMERC, YMERC, FUSEAU)
C061 WRITE (3,210) XMERC, YMERC, CUMUL/1000.DO
C062 CALL ROTATION (C, ISTAT, LONG_E, XMERC, YMERC, XLOMERC, YLOMERC)
```



```

0043
0044 C OPEN (1,FILE='VEC.DAT',STATUS='OLD')
0045 C DO 500 I=1,INT(VEC(1))
0046 C READ (1,*) VEC(I)
0047 C500 CONTINUE
0048
0049 C
0050 C CREATION DES BANQUES DE DONNEES AUX STATIONS EMETTRICES
0051 C
0052 C CUMUL=C.DO
0053 C WRITE (1,200) LAT_E, LONG_E=CUMUL/1000.DO
0054 200 FORMAT (2(D20.14,1X),2D.10)
0055 C CALL LAMBERT (ISTAT,LAT_E, LONG_E, XLBT, YLBT)
0056 C WRITE (2,210) XLBT, YLBT, CUMUL/1000.DO
0057 210 FORMAT (3(D16.10,1X))

```

BANQUE

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0058 CALL ROTATION (1,ISTAT, LONG_F, XLBT, YLBT, XLCLBT, YLCLBT)
0059 WRITE (2,*) XLCLBT, YLCLBT
0060 CALL MERCATOR (LAT_E, LONG_E, XMERC, YMERC, FUSEAU)
0061 WRITE (3,210) XMERC, YMERC, CUMUL/1000.DO
0062 220 CALL ROTATION(0,ISTAT, LONG_E, XMERC, YMERC, XLDMERC, YLDMERC)
0063 220 FORMAT (2(D16.10,2X))
0064 CALL NUMERIALT (XLDMERC, YLDMERC, Z)
0065 HZ(1,1)=LAT_E
0066 HZ(1,2)=LONG_E
0067 HZ(1,3)=CUMUL/1000.DO
0068 HZ(1,4)=Z/1000.DO
0069
0070 C
0071 C CALCULS DES BANQUES DE DONNEES POUR LES AUTRES POINTS
0072 C
0073 ICCMP=2
0074 DO I=2,INT(VEC(1)/2)*2,2
0075 DO J=1,INT(VEC(I))
0076 CUMUL=CUMUL+VEC(I+1)
0077
0078 CALL SODANO_DIRECT (LAT_E,-LONG_F,AAZ,CUMUL,XPHI,LAMBDA)
0079 WRITE (1,200) XPHI,LAMBDA,CUMUL/1000.DO
0080
0081 CALL LAMBERT (ISTAT,XPHI,LAMBDA, XLBT, YLBT)
0082 WRITE (2,210) XLBT, YLBT, CUMUL/1000.DO
0083 CALL ROTATION(1,ISTAT,LAMBDA, XLBT, YLBT, XLCLBT, YLCLBT)
0084 WRITE (9,*) XLCLBT, YLCLBT
0085 CALL MERCATOR (XPHI,LAMBDA, XMERC, YMERC, FUSEAU)
0086 WRITE (3,210) XMERC, YMERC, CUMUL/1000.DO
0087 CALL ROTATION(0,ISTAT,LAMBDA, XMERC, YMERC, XLDMERC, YLDMERC)
0088 CALL NUMERIALT (XLDMERC, YLDMERC, Z)
0089 HZ(1,COMP,1)=XPHI
0090 HZ(1,COMP,2)=LAMBDA
0091 HZ(1,COMP,3)=CUMUL/1000.DO
0092 HZ(1,COMP,4)=Z/1000.DO
0093 ICCMP=ICOMP+1
0094
0095 END DO
0096 END DO
0097 CLCSE(9)
0098 CLCSE(1)
0099 CLCSE(2)
0100 CLCSE(3)
0101 C
0102 C CREATION DU FICHIER DES DONNEES GEO-ELECTRIQUES
0103 C
0104 CALL DIGITA(ISTAT,IL)
0105 CALL GEDELEC(IL)
0106 DO 1600 I=1,IL
0107 IF((GEO(I,3).EQ.0.DO).AND.(GEO(I,4).EQ.C.DO)) THEN
0108 HZ(I,4)=C.DO
0109 ENDIF
0110 1600 CONTINUE
0111 DO 30 K=1,IL
0112 WRITE(5,400) (GEO(K,J),J=1,10)
0113 30 CONTINUE
0114 4000 FORMAT(2X,10F12.6)

```

```

C099 CLOSE (5)
C100 CLOSE (5)
C101 C
C102 C
C103 C
C104 CALL DIGITA(ISTAT,IL)
C105 CALL GEDELEC(IL)
C106 DO 1600 I=1,IL
C107 IF((GEO(1,3).EQ.0.00).AND.(DEF(1,4).EQ.0.00)) THEN
C108 HZ(1,4)=0.00
C109 ENDOF
C110 1600 CONTINUE
C111 DO 30 K=1,IL
C112 WRITE(3,4000) (GEO(K,J),J=1,10)
C113 30 CONTINUE
C114 4000 FORMAT(2X,10F12.6)

```

BANQUE

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C115 C
C116 C
C117 C
C118 C
C119 CLOSE (5)
C120 RETURN
C121 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES						
0 \$CODE	1075	PIC	CON	REL	LCL		SHR	EXE
1 \$PDATA	101	PIC	CON	REL	LCL		SHR	NOEXE
2 \$LOCAL	664	PIC	CON	REL	LCL	NC	SHR	NOEXE
3 NUM	23576	PIC	CON	REL	GBL		SHR	NOEXE
4 FACTEUR	46016	PIC	OVR	REL	GBL		SHR	NOEXE
5 VEC	300	PIC	OVR	REL	GBL		SHR	NOEXE
6 CIMP	48000	PIC	OVR	REL	GBL		SHR	NOEXE
7 HZ	144000	PIC	OVR	REL	GBL		SHR	NOEXE
8 CUD	120000	PIC	OVR	REL	GBL		SHR	NOEXE
9 GEO	240000	PIC	OVR	REL	GBL		SHR	NOEXE
10 TERRAIN	40	PIC	OVR	REL	GBL		SHR	NOEXE
11 RU	6	PIC	OVR	REL	GBL		SHR	NOEXE
12 EMET	24	PIC	OVR	REL	GBL		SHR	NOEXE
13 ISTAT	4	PIC	OVR	REL	GBL		SHR	NOEXE
14 IL	4	PIC	OVR	REL	GBL		SHR	NOEXE
15 CONST5	56	PIC	OVR	REL	GBL		SHR	NOEXE
16 CONST4	48	PIC	OVR	REL	GBL		SHR	NOEXE
TOTAL SPACE ALLOCATED		626419						

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-0000000		BANQUE

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
12-00000010	R*8	AAZ	16-00000020	R*8	CK1	16-00000000
16-00000016	R*8	CVL	10-00000010	R*8	DEL	16-00000000
16-00000008	R*8	EPS1	15-00000020	R*8	FLA	2-00000000
10-00000010	R*8	HP	10-00000018	R*8	HP2	2-00000000
14-00000000	I*4	IL	13-00000000	I*4	ISTAT	2-00000000
2-00000008	R*8	LABELA	12-00000000	R*8	LAT	12-00000000
2-00000020	R*8	PHASE	16-00000010	R*8	OMEGA	15-00000000
15-00000018	R*8	PE	15-00000010	R*8	PE2	15-00000000
10-00000000	R*8	X	2-00000000	R*8	XLBT	2-00000000
2-00000000	R*8	XPERC	2-00000000	R*8	XPHI	2-00000000

```

C001
C002
C003 C*****
C004 C*****
C005
C006 C*****
C007 C
C008 C          PROGRAMME IMPEDFI
C009 C
C010 C*****
C011
C012 C          SUBROUTINE IMPEDFI (MODULE,MPHASE)
C013
C014
C015 C          IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z,L)
C016 C          IMPLICIT INTEGER (I-K,M-N)
C017 C          REAL*8 MODULE, MPHASE
C018 C          DIMENSION VEC(100),C(3,1),HZ(3000,6),CODAGE(3000,5)
C019 C          DIMENSION GEC(3000,10)
C020 C          COMPLEX*16 W(O:3000),CIMP(3000)
C021 C          COMMON/NUM/INFC_ALT1(421,14)
C022 C          COMMON/FACTEUR/ X
C023 C          COMMON/VEC/ VEC
C024 C          COMMON/COD/ CODAGE
C025 C          COMMON/GEC/ GEC
C026 C          COMMON/TERRAIN/ X, HAUT, HF, RP2, DEL
C027 C          COMMON/RC/ RC
C028 C          COMMON/HZ/ HZ
C029 C          COMMON/CIMP/ CIMP
C030 C          COMMON/IL/ IL
C031 C          COMMON/CONST5/ PA,P3,PE2,PE,PI,FLA,EPRIME
C032 C          COMMON/CONST4/ CMUC,EPS1,DMESA,CVL,CK1,JIS
C033
C034 C          DO 300 I=1,INT(VEC(1)/2)
C035 C             IF(I.EQ.1) THEN
C036 C                INIT=1
C037 C                FIN=VEC(2)
C038 C             ELSE
C039 C                INIT=FIN+1
C040 C                IF(I.NE.INT(VEC(1)/2)) THEN
C041 C                   FIN=VEC(I*2)+FIN
C042 C                ELSE
C043 C                   FIN=IL
C044 C                ENDIF
C045 C             ENDIF
C046 C             CALL FACTEUR(INIT,FIN,C,VEC(I*2))
C047 C             DO 310 J=INIT,FIN
C048 C
C049 C*****
C050 C             HZ(J,5)=C.CDC
C051 C             HZ(J,6)=1.CDC
C052 C*****
C053 C             HZ(J,5)=- (C(2,1)+2.DO*C(1,1)*HZ(J,3))
C054 C             HZ(J,6)=DSQRT(1.DO-HZ(J,5)**2)
C055 C
C056 C
C057 C

```

IMPEDFI

```

C058 C*****
C059
C060 C          310 CONTINUE
C061 C          300 CONTINUE
C062
C063 C
C064 C          CREATION DU FICHIER DES DONNEES ALTIMETRIQUES
C065 C
C066 C          OPEN (4,FILE='HAUTUR.LCOR',STATUS='NEW')

```

```

0044      ENDIF
0045      END IF
0046      CALL HAUTEUR (INIT,FIN,C,7*(1# ))
0047      DC 310 J=INIT,FIN
0048
0049
0050      C*****
0051      HZ(J,5)=C.CDC
0052      HZ(J,6)=1.CDC
0053      C*****
0054      C
0055      HZ(J,5)=- (C(2,1)+2.50*C(1,1)*HZ(J,3))
0056      HZ(J,6)=C SQRT(1.CC-HZ(J,5)**2)
0057      C

```

IMPEDFI

18-APR-198
18-APR-198

```

0058      C*****
0059
0060      310      CONTINUE
0061      300      CONTINUE
0062
0063      C
0064      C      CREATION DU FICHIER DES DONNEES ALTIMETRIQUES
0065      C
0066      OPEN (4,FILE='HAUTEUR.COR',STATUS='NEW')
0067      DD 400 I=1,FIN
0068      WRITE (4,4000) (HZ(I,J),J=1,6)
0069
0070      400      CONTINUE
0071      4000    . PERPAT(2X,10F12.6)
0072      CLOSE (4)
0073
0074      C
0075      C      CREATION DU FICHIER DES DONNEES IMPEDANCES
0076      C
0077      OPEN (13,FILE='CIMP.COR',STATUS='NEW')
0078      DO 1700 I=1,IL
0079      IF ((SEC(I,3).EQ.C.DO).AND.(SEC(I,4).EQ.O.DO)) THEN
0080      CALL IMPED(MODULE,MPHASE,CIMP(I))
0081      ELSE
0082      CALL ECLNCOMPLEX(I,MODULE,MPHASE,CIMP(I))
0083      ENDF
0084      WRITE(13,1750) CIMP(I),MODULE,MPHASE
0085      1750    FORMAT(2F16.6,10X,2F12.6)
0086      1700    CONTINUE
0087      CLOSE(13)
0088      RETURN
0089      END

```

```

C001
C002
C003 C*****
C004 C*****
C005 C*****
C006 C*****
C007
C008 SUBROUTINE INCREMENTATION (DISTANCE)
C009
C010 C
C011 C PARAMETRE D'ENTREE:
C012 C DISTANCE:VECTEUR DES DISTANCES
C013 C
C014 C PARAMETRE DE SORTIE:
C015 C VEC:VECTEUR DES SEGMENTS D'INCREMENTATION
C016 C
C017 C IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C018 C IMPLICIT INTEGER (I-N)
C019 C DIMENSION VEC(100)
C020 C COMMON/VEC/ VEC
C021
C022 C ITV=0
C023 C ICL=5
C024
C025
C026 C WRITE (ITV,100)
C027 100 FORMAT ('1',20X,'OBTENTION DES POINTS D'INCREMENTATION')
C028
C029 C WRITE (ITV,110)
C030 110 FORMAT(/,15X,'VOUS DEVEZ ME FOURNIR LES INCREMENTATIONS POUR',
C031 + /,15X,'CHACUN DES POINTS. L'INCREMENTATION DOIT VARIER ENTRE',
C032 + /,15X,'100 ET 2000 METRES. VOUS DEVEZ DONNER LE NOMBRE DE',
C033 + /,15X,'FOIS QUE VOUS VOULEZ L'INCREMENT ET LA',
C034 + /,15X,'VALEUR DE CET INCREMENT.')
C035
C036 C WRITE (ITV,120)
C037 C READ (ICL,130) CHAR
C038
C039 C WRITE (ITV,115)
C040 115 FORMAT (/,2X,'EX. SI VOUS VOULEZ 50 POINTS A TOUS LES 150 METR
C041 + /,15X,'VOUS DEVEZ REpondRE 50.0 A LA QUESTION NOMBRE DE FOIS
C042 + /,15X,'SUIVI D'UN RETOUR DE CHARACT..!!',
C043 + /,15X,'VOUS DEVEZ REpondRE 150.0 A LA QUESTION VALEUR DE',
C044 + /,15X,'L'INCREMENT?',
C045 + /,15X,'SUIVI D'UN RETOUR DE CHARACT..!!',
C046 + //,15X,'LES INCREMENTS, LA DISTANCE PARCOURUE POUR',
C047 + /,15X,'CHACUN INCREMENT, LA DISTANCE CUMULATIVE DES',
C048 + /,15X,'INCREMENTS AINSI QUE LA DISTANCE A PARCOURIR',
C049 + /,15X,'POUR ARRIVER AU REceptEUR VOUS SERONT AFFICHES.',
C050 + /,15X,'LES PREMIERS 5 KM ET LA DERNIERE FRACTION DE MOINS',
C051 + /,15X,'DE 2 KM SERONT FORME AUTOMATICQUEMENT.')
C052
C053 C WRITE (ITV,120)
C054 120 FORMAT (/,2X,'EXECUTEZ UN RETOUR DE CHARACT POUR CONTINUER.!!')
C055
C056 C READ (ICL,130) CHAR
C057 130 FORMAT (A)

```

INCREMENTATION

```

C058
C059 500 CONTINUE
C060
C061 DIS2= (INT(DISTANCE/1000.00))*1000.00
C062 DERD= DISTANCE-DIS2+1000.00
C063 NINCO=DERD/100.00
C064 DISTANCE2= DISTANCE-5.03-DERD
C065
C066 VEC(1)=5
C067 VEC(3)=100.00
C068 VEC(2)=50
C069 N8INCOCT=0

```


INCREMENTATION

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0058
0059 500 CONTINUE
0060
0061 DIS2= (INT(DISTANCE/1000.00)+1)*1000.00
0062 DERD= DISTANCE-DIS2+1000.00
0063 NINCO=DERD/100.00
0064 DISTANCE2= DISTANCE-5.00-DE D
0065
0066 VEC(1)=3
0067 VEC(3)=100.00
0068 VEC(2)=50
0069 NBINCTOT=0
0070 ICMPT =4
0071 ISCRTI=1
0072 CUMUL=5.00+DERD
0073
0074 DO WHILE ((ISOPTI .NE. 0) .AND. ((DISTANCE-CUMUL) .GT. 0.0))
0075 CUMUL=5.00+DERD
0076
0077 WRITE (ITV,140) DISTANCE
0078 140 FORMAT ('1',///,' LA DISTANCE EMETTEUR--RECEPTEUR=',F11.3)
0079 145 CONTINUE
0080
0081 WRITE (ITV,150)
0082 150 FORMAT (///,2X,'ENTREZ LE NOMBRE DE FOIS S.V.P....?',
0083 + /,2X,'POUR TERMINER TAPPEZ 0.0 "ZERON" A CETTE QUESTION.!',
0084 + /,2X,'LE NOMBRE DE FOIS TOTAL NE PEUT EXCEDER 3000.')
```

```

0085 READ (ICL,*) XNB_FOIS
0086
0087 NBINCTOT=NBINCTOT+XNB_FOIS
0088
0089 IF ( NBINCTOT .GT. 3000 ) THEN
0090 WRITE (ITV,155) NBINCTOT
0091 155 FORMAT (///,2X,'NOMBRE TOTAL D''INCREMENTS=',2X,I6)
0092 NBINCTOT=NBINCTOT-XNB_FOIS
0093 GOTO 145
0094 ENDIF
0095
0096 IF (XNB_FOIS .EQ. 0.0) THEN
0097 ISCRTI=0
0098 GOTO 1000
0099 ENDIF
0100
0101 160 CONTINUE
0102
0103 WRITE (ITV,170)
0104 170 FORMAT (///,2X,'ENTREZ LA VALEUR DE CET INCREMENT S.V.P...?')
0105
0106 READ (ICL,*) XINCR
0107
0108 IF ( XINCR .LT. 100.000 ) THEN
0109 WRITE (ITV,175)
0110 175 FORMAT (///,2X,'L''INCREMENT EST INFERIEUR A 100 M.')
```

```

0111 GOTO 160
0112 ENDIF
0113
0114
```

INCREMENTATION

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0115 VEC(ICMPT) =XNB_FOIS
0116 VEC(ICMPT+1)=XINCR
0117 VEC(1)=VEC(1)+2
0118 ICMPT=ICMPT+2
0119
0120 DO J=2,INT(VEC(1)),2
0121 CUMUL=CUMUL+VEC(J)*VEC(J+1)
0122 END DO
0123
0124 WRITE (ITV,190)
```

```

0109 WRITE (ITV,175)
0110 175 FORMAT (//,2X,'L' INCREMENT EST INFERIEUR A 100 M.')
0111 COTO: 100
0112 ENDIF
0113
0114

```

INCREMENTATION

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0115 VEC(ICMPT) =XNE FOIS
0116 VEC(ICMPT+1)=XINCR
0117 VEC(1)=VEC(1)+2
0118 ICMPT=ICMPT+2
0119
0120 DO J=2,INT(VEC(1)),2
0121 CUMUL=CUMUL+VEC(J)*VEC(J+1)
0122 END DO
0123
0124 WRITE (ITV,190)
0125 190 FORMAT ('1',2X,'VOUS AVEZ SELECTIONNE.....')
0126
0127 WRITE (ITV,200)
0128 200 FORMAT (/,5X,'NOMBRE DE FOIS',5X,'INCREMENT (METRES)',
0129 5X,'DISTANCE (METRES)')
0130
0131 I=1
0132 CUMUL=0.0
0133
0134 DO J=2,INT(VEC(1)),2
0135
0136 WRITE (ITV,210) I,VEC(J),VEC(J+1),VEC(J)*VEC(J+1)
0137 210 FORMAT (1X,I3,X,F10.3,11X,F10.3,15X,F10.3)
0138
0139 CUMUL=CUMUL+VEC(J)*VEC(J+1)
0140 I=I+1
0141 END DO
0142
0143 WRITE (ITV,220) CUMUL
0144 220 FORMAT (//,2X,'LA DISTANCE CUMULATIVE EST DE ',F10.3)
0145
0146 WRITE (ITV,230) DISTANCE-CUMUL
0147 230 FORMAT (/,2X,'IL VOUS FAUT ENCORE PARCOURIR',F10.3)
0148
0149 WRITE (ITV,235) DISTANCE
0150 235 FORMAT (/,X,' LA DISTANCE EMETTEUR--RECEPTEUR=',F11.3)
0151
0152 WRITE (ITV,120)
0153 READ (ICL,130) CHAN
0154
0155 1000 CONTINUE
0156 END DO
0157 C
0158 C IMPOSE NINCO INCREMENTS DE 100 M A LA FIN DE LA LIGNE.
0159 C
0160 VEC(VEC(1)+1)=NINCO
0161 VEC(VEC(1)+2)=100.00
0162 VEC(1)=VEC(1)+2
0163
0164
0165 WRITE (ITV,280)
0166 230 FORMAT ('1',' VOTRE SELECTION FINALE EST LA SUIVANTE...!')
0167
0168 WRITE (ITV,200)
0169
0170 I=1
0171 CUMUL=0.00

```

INCREMENTATION

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0172
0173 DO L=1,INT(VEC(1)),2

```

```

0157      C
0158      C
0159      C
0160      VEC(VEC(1)+1)=NINCO
0161      VEC(VEC(1)+2)=100.00
0162      VEC(1)=VEC(1)+2
0163
0164
0165      WRITE (ITV,280)
0166      280      FORMAT ('1',' VOTRE SELECTION FINALE EST LA SUIVANTE...!')
0167
0168      WRITE (ITV,200)
0169
0170      I=1
0171      CUMUL=0.00

```

INCREMENTATION

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0172
0173      DO J=2,INT(VEC(1)),2
0174      WRITE (ITV,210) 1,VEC(J),2,VEC(J+1),VEC(J)*VEC(J+1)
0175      CUMUL=CUMUL+VEC(J)*VEC(J+1)
0176      I=I+1
0177      END DO
0178
0179      WRITE (ITV,220) CUMUL
0180
0181      WRITE (ITV,235) DISTANCE
0182
0183      WRITE(ITV,120)
0184      READ(ICL,130) CHAR
0185
0186      RETURN
0187      END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	1477	PIC CCN REL LCL SHR E)
1 \$PDATA	1490	PIC CCN REL LCL SHR NOE)
2 \$LCCAL	100	PIC CCN REL LCL NO SHR NOE)
3 VEC	800	PIC OVR REL GEL SHR NOE)
TOTAL SPACE ALLOCATED	3867	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-C0000000		INCREMENTATION

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
2-00000000	R#8	CHAR	2-00000020	R#8	CUMUL	2-00000000
AF-C0000004	R#8	DISTANCE	2-00000018	R#8	DISTANCE2	
2-C0000048	I#4	ICMPT	2-0000004C			
2-C0000044	I#4	NBINCTOT	2-00000040			

ARRAYS

ADD

18-APR-1988
18-APR-1988

```
C001 C*****
C002 C*****
C003 C*****
C004 C          SOLANO_ INVERSE
C005 C
C006 C          PROJET LONG4-C
C007 C
C008 C          PROGRAM 77
C009 C
C010 C          SUBROUTINE SOLANO_INVERSE (LAT1, LONG1, LAT2, LONG2, S, AZ12)
C011 C
C012 C
C013 C          PARAMETRES D'ENTREE:
C014 C          LAT1: LATITUDE GEODESIQUE DU PREMIER POINT
C015 C          LONG1: LONGITUDE GEODESIQUE DU PREMIER POINT
C016 C          LAT2: LATITUDE GEODESIQUE DU DEUXIEME POINT
C017 C          LONG2: LONGITUDE GEODESIQUE DU DEUXIEME POINT
C018 C
C019 C          PARAMETRES DE SORTIE:
C020 C          S: DISTANCE GEODESIQUE ENTRE LE POINT 1-2
C021 C          AZ12: AZIMUT GEODESIQUE D'1 VERS 2
C022 C
C023 C          IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C024 C          COMMON/CONST5/ AC,BO,PE2,PF,PI,F,EPRIME
C025 C
C026 C
C027 C
C028 C          QQ=0
C029 C          QL=5
C030 C          CALL INITCONST
C031 C
C032 C          AO      =0.378206400
C033 C          F       =1.00/294.97809800
C034 C          FCARRE  =F**F
C035 C          FCUBE   =F**F**F
C036 C          BO      =0.356583800
C037 C          EPRIME  =AC**2/BO**2-1.00
C038 C          PI      =3.14159265358979300
C039 C
C040 C          L       =CAL_L (LONG1, LONG2, PI)
C041 C
C042 C          BETA1  =CAL_BETA (LAT1, F, PI)
C043 C          BETA2  =CAL_BETA (LAT2, F, PI)
C044 C
C045 C          A      =CAL_A (BETA1, BETA2)
C046 C          B      =CAL_B (BETA1, BETA2)
C047 C
C048 C          COSPHI =CAL_COSPHI (A, B, L)
C049 C          BT2 BT1 =CAL_BT2 BT1 (AO, BO, LAT1, LAT2, A, B)
C050 C          SINPHI =CAL_SINPHI (BT2 BT1, BETA1, BETA2, L)
C051 C
C052 C          PHIMIN =CAL_PHIMIN (SINPHI, COSPHI, PI)
C053 C          C      =CAL_C (B, L, PHIMIN)
C054 C          M      =CAL_M (C)
C055 C          S      =CAL_S (F, FCARRE, A, BO, M, PHIMIN)
C056 C
C057 C          LAMBDA =CAL_LAMBDA (F, FCARRE, FCUBE, A, M, PHIMIN, C, L)
```

SOLANO_INVERSE

18-APR-1988
18-APR-1988

```
C058 C
C059 C          AZ12  =CAL_AZ12 (BETA1, BETA2, LAMBDA, PI)
C060 C          AZ21  =CAL_AZ21 (BETA1, BETA2, LAMBDA, PI)
C061 C
C062 C          CALL QUADRANT12 (AZ12, AZ21, LONG1, LONG2, PI)
C063 C
C064 C          RETURN
```



```

0044
0045 A =CAL_A (BETA1,BETA2)
0046 B =CAL_B (BETA1,BETA2)
0047
0048 COSPHI =CAL_COSPHI (A,B,L)
0049 BT2_BT1 =CAL_BT2_BT1 (AO,BO,LAT1,LAT2,A,F)
0050 SINPHI =CAL_SINPHI (BT2_BT1,BETA1,BETA2,L)
0051
0052 PHIMIN =CAL_PHIMIN (SINPHI,COSPHI,PI)
0053 C =CAL_C (L,PHIMIN)
0054 M =CAL_M (C)
0055 S =CAL_S (F,FCARRE,A,BO,M,PHIMIN)
0056
0057 LAMBDA =CAL_LAMBDA (F,FCARRE,FCUBE,A,M,PHIMIN,C,L)

```

SODANO_INVERSE

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0058
0059 AZ12 =CAL_AZ12 (BETA1,BETA2,LAMBDA,PI)
0060 AZ21 =CAL_AZ21 (BETA1,BETA2,LAMBDA,PI)
0061
0062 CALL QUADRANT12 (AZ12,AZ21,LONG1,LONG2,PI)
0063
0064 RETURN
0065 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	517	PIC CON REL LCL SHR EX
2 \$LOCAL	392	PIC CON REL LCL NC SHR NOEX
3 CONSTS	56	PIC OVR REL GBL SHR NOEX
TOTAL SPACE ALLOCATED	765	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-00000000		SODANO_INVERSE

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
2-00000038	R*8	A	3-00000000	R*8	AO	AP-000000
2-00000040	R*8	B	3-00000008	R*8	BO	2-000000
2-00000050	R*8	BT2_BT1	2-00000058	R*8	C	2-000000
3-00000020	R*8	F	2-00000010	R*8	FCARRE	2-000000
2-00000070	R*8	LAMBDA	AP-00000004	R*8	LAT1	AP-000000
AF-00000100	R*8	LONG2	2-00000070	R*8	M	3-000000
2-00000060	R*8	PHIMIN	3-00000020	R*8	PI	2-000000
AF-00000142	R*8	S	2-00000058	R*8	SINPHI	

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE
R*8	CAL_A	R*8	CAL_AZ12	R*8	CAL_AZ21	
R*8	CAL_C	R*8	CAL_COSPHI	R*8	CAL_L	
R*8	CAL_S	R*8	CAL_SINPHI		INITCONST	

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	CAL_A	R*8	CAL_AZ12	R*8	CAL_AZ21	R*8	C
R*8	CAL_C	R*8	CAL_COSPHI	R*8	CAL_L	R*8	C
R*8	CAL_S	R*8	CAL_SINPHI		INITCONST		C

18-APR-1988
17-APR-1988

```

C001 C*****
C002
C003
C004 SUBROUTINE QUADRANT12 (AZ12,AZ21,LCNG1,LCNG2,PI)
C005
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007 L=LCNG2-LCNG1
C008 IF (L .GE. 0.00) THEN
C009 IF (DTAN(AZ12) .GE. 0.00) THEN
C010 AZ12=DMOD(AZ12,(PI/2.00))
C011 ELSE
C012 AZ12=DMOD(AZ12,(PI/2.00))+PI/2.00
C013 ENDF
C014 IF (DTAN(AZ21) .GE. 0.00) THEN
C015 AZ21=DMOD(AZ21,(PI/2.00))+PI
C016 ELSE
C017 AZ21=DMOD(AZ21,(PI/2.00))+3.00*PI/2.00
C018 ENDF
C019 ELSE
C020 IF (DTAN(AZ12) .GE. 0.00) THEN
C021 AZ12=DMOD(AZ12,(PI/2.00))+PI
C022 ELSE
C023 AZ12=DMOD(AZ12,(PI/2.00))+3.00*PI/2.00
C024 ENDF
C025 IF (DTAN(AZ21) .GE. 0.00) THEN
C026 AZ21=DMOD(AZ21,(PI/2.00))
C027 ELSE
C028 AZ21=DMOD(AZ21,(PI/2.00))+PI/2.00
C029 ENDF
C030 ENDF
C031 RETURN
C032 END

```

10-APR-1988
15-APR-1988

```

C001
C002 C*****
C003
C004 FUNCTION CAL_L (LONG1,LONG2,PI)
C005
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007 L=LONG2-LONG1
C008 IF((LONG2-LONG1).LT.0.00) SIGNE=-1.00
C009 IF((LONG2-LONG1).GT.0.00) SIGNE=1.00
C010 IF (DABS (L) .GT. PI) THEN
C011 CAL_L=LONG2-LONG1+SIGNE*2.00*PI*(-1.000)
C012
C013 ELSE
C014 CAL_L=L
C015
C016 ENDIF
C017
C018 RETURN
C019 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
C \$CODE	82	PIC CON REL LCL SHR E
Z \$LOCAL	24	PIC CON REL LCL NCSHR NOE
TOTAL SPACE ALLOCATED	106	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R*8	CAL_L

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
Z-00000008	R*8	L	AP-00000004	R*8	LONG1	AP-00000000
Z-00000010	R*8	SIGNE				

10-APR-1988
15-APR-1988

```

C001
C002 C*****
C003

```

18-APR-198
18-APR-198

```

C001
C002 C*****
C003
C004     FUNCTION CAL_BETA (B,F,PI)
C005
C006     IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007     IF (DABS(B) .GT. (PI/4.000)) THEN
C008     CAL_BETA=DATAN (1.000/(1.000/DATAN(B)/(1.000-F)))
C009
C010     ELSE
C011     CAL_BETA=DATAN(DATAN(B)*(1.000-F))
C012
C013     ENDIF
C014
C015     RETURN
C016     END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	107	PIC CON REL LCL SHR E
2 \$LOCAL	8	PIC CON REL LCL NC SHR NCE
TOTAL SPACE ALLOCATED	115	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R*8	CAL_BETA

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDR
AF-00000040	R*8	B	AP-000000E0	R*8	F	AP-0000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DATAN	R*8	MTH\$DTAN

18-APR-198
18-APR-198

```

C001
C002 C*****
C003
C004     FUNCTION CAL_A (BETA1,BETA2)
C005
C006     IMPLICIT REAL*8 (A-Z)

```


18-APR-1988
18-APR-1988

```

C001
C002 C*****
C003
C004 FUNCTION CAL_A (BETA1,BETA2)
C005
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007 CAL_A=DSIN(BETA1)*DSIN(BETA2)
C008
C009 RETURN
C010 ENC

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	42	PIC CON REL LCL SHR E)
2 \$LOCAL	3	PIC CON REL LCL NCSHR NOE)
TOTAL SPACE ALLOCATED	50	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R*8	CAL_A

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME
AP-0000004B	R*8	BETA1	AP-00000091	R*8	BETA2

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME
R*8	MTH\$DSIN

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C001
C002 C*****
C003

```

C001
C002
C003
C004
C005
C006
C007
C008
C009
C010

C*****

```
FUNCTION CAL_B (BETA1,BETA2)
  IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
  CAL_B=DCCS(BETA1)*DCCS(BETA2)
RETURN
END
```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	42	PIC CCN REL LCL SHR
2 \$LOCAL	8	PIC CCN REL LCL NO SHR NOE
TOTAL SPACE ALLOCATED	50	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-00000000	R*8	CAL_B

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME
AP-00000040	R*8	BETA1	AP-00000030	R*8	BETA2

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME
R*8	MTHDCCS

C001
C002
C003
C004
C005
C006
C007
C008
C009
C010

C*****

```
FUNCTION CAL_CCSPHI (A,B,L)
  IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
  CAL_CCSPHI=A+B*DCCS(L)
RETURN
END
```

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C001
C002      C*****
C003
C004      FUNCTION CAL_CCSPHI (A,B,L)
C005
C006      IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007      CAL_CCSPHI=A+B*DCCS(L)
C008
C009      RETURN
C010      END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	34	PIC CON REL LCL SHR EX
2 \$LOCAL	8	PIC CON REL LCL NC SHR NOEX
TOTAL SPACE ALLOCATED	42	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-00000000	R*8	CAL_CCSPHI

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
AF-000000042	R*8	A	AP-000000088	R*8	B	AP-000000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME
R*8	MTH\$DCCS

18-APR-1988
18-APR-1988

```
C001 C*****  
C002  
C003  
C004 FUNCTION CAL_BT2_BT1 (AO,BO,LAT1,LAT2,A,B)  
C005  
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)  
C007 N=(AO-BO)/(AO+BO)  
C008  
C009 CAL_BT2_BT1=LAT2-LAT1+2.0D0*DSIN(LAT2-LAT1)  
C010 1 *((N+N**2+I**3)*A-(N-N**2+I**3)*B)  
C011  
C012 RETURN  
C013 END
```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	117	PIC COB REL LCL SHR EX
2 \$LOCAL	16	PIC COB REL LCL NO SHR NOBY
TOTAL SPACE ALLOCATED	133	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R*8	CAL_BT2_BT1

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
AF-000000140	R*8	A0	AF-000000040	R*8	BO	AF-000000000
AF-000000000	R*8	LAT1	AF-000000010	R*8	LAT2	2-000000000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME
R*8	MTH\$DSIN

18-APR-1988
18-APR-1988

```
C001 C*****  
C002  
C003  
C004 FUNCTION CAL_SINPHI (BT2_BT1,BETA1,BETA2,L)  
C005  
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
```

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE NAME

R*8 MTH\$DSIN

15-APR-1984
15-APR-1984

```

C001 C*****
C002
C003
C004 FUNCTION CAL_SINPHI (RT2,BT1,BETA1,BETA2,L)
C005
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007 CAL_SINPHI=((DSIN(L)*DCOS(BETA2))**2.000+(DSIN(BT2-BT1)
C008
C009 1 +2.000*DCOS(BETA2)*DSIN(BETA1)*DSIN(L/L.000)**2)**2)**0.5
C010
C011 RETURN
C012 END
    
```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	123	PIC CON REL LCL SHR EX
2 \$LOCAL	8	PIC CON REL LCL NO SHR NO EX
TOTAL SPACE ALLOCATED	131	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R*8	CAL_SINPHI

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
AF-00000080	R*8	BETA1	AP-000000C0	R*8	BETA2	AP-000000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DCOS	R*8	MTH\$DSIN

```

0001 *****
0002 *****
0003 *****
0004 FUNCTION CAL_PHIMIN (SINPHI,CCSPHI)
0005
0006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
0007 ASINPHI=DASIN(SINPHI)
0008 ACOSPHI=DACOS(CCSPHI)
0009 IF (CCSPHI .LT. 0.00) THEN
0010 IF (SINPHI .LE. 0.00) THEN
0011 ASINPHI=ASINPHI+PI
0012 ELSE
0013 ASINPHI=-ASINPHI+PI
0014 ENDIF
0015 ENDIF
0016 IF (DABS(ASINPHI) .LT. DABS(ACOSPHI)) THEN
0017 CAL_PHIMIN=DABS(ASINPHI)
0018 ELSE
0019 CAL_PHIMIN=DABS(ACOSPHI)
0020 ENDIF
0021 RETURN
0022 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	107	PIC CCN REL LCL SHR EX
2 \$LOCAL	32	PIC CCN REL LCL NC SHR NOEX
TOTAL SPACE ALLOCATED	139	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R*8	CAL_PHIMIN

VARIABLES

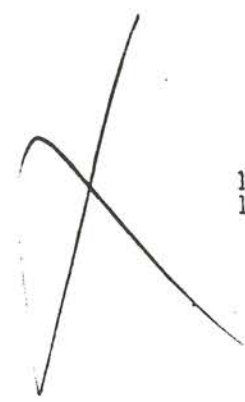
ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
2-00000010	R*8	ACOSPHI	2-00000008	R*8	ASINPHI	AP-00000000
AF-00000004	R*8	SINPHI				

CAL_PHIMIN

18-APR-1988
15-APR-1988

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DACOS	R*8	MTH\$DASIN



18-APR-1988
18-APR-1988

```

C0C1
C0C2  C*****
C0C3
C0C4      FUNCTION CAL_C (E,L,PHI,N)
C0C5
C0C6      IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C0C7      CAL_C=(B*DSIN(L))/DSIN(PHIN)
C0C8
C0C9      RETURN
C010      END
  
```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	44	PIC COM REL LCL SHR EXE
2 \$LOCAL	3	PIC COM REL LCL NO SHR NO EXE
TOTAL SPACE ALLOCATED	50	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R#8	CAL_C

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME
AF-00000040	R#8	B	AP-00000040	R#8	L

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCES

TYPE	NAME
R#8	RTH\$DSIN

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C0C1
C0C2  C*****
C0C3
C0C4      FUNCTION CAL_M (C)
C0C5
C0C6      IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C0C7      CAL_M=...
  
```

19-APR-1988
19-APR-1988

```
C001  
C002 C*****  
C003  
C004 FUNCTION CAL_M (C)  
C005  
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)  
C007 CAL_M=1.000-C**2  
C008  
C009 RETURN  
C010 END
```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	25	PIC CON REL LCL SHR E
2 \$LOCAL	7	PIC CON REL LCL NCSHR NCE
TOTAL SPACE ALLOCATED	33	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-C0000000	R*8	CAL_M

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME
AF-C0000004	R*8	C

18-APR-1988
18-APR-1988

```
C001  
C002 C*****  
C003  
C004 FUNCTION CAL_S (F,FCARRE,A,B0,N,PHIMIN)  
C005  
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)  
C007  
C008  
C009  
C010
```


18-APR-1988
18-APR-1988

```

C001
C002
C003
C004
C005
C006
C007
C008
C009
C010
C011
C012
C013
C014
C015
C016
C017
C018
C019
C020
C*****
FUNCTION CAL_S (F,FCARRE,A,M,PHIMIN)
  IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
  DUMMY=(1.000+F+FCARRE)*PHIMIN+(M*((-1.000)*((F+FCARRE)
1      /2.000*PHIMIN)))
2      +(2.000*A-M*DCOS(PHIMIN))*(F+FCARRE)/2.000*DSIN(PHIMI
3      +M**2*FCARRE/16.000*(PHIMI+DSIN(PHIMIN))*DCOS(PHIMIN)
CAL_S=(DUMMY+((2.000*A-M*DCOS(PHIMIN))**2*((-1.000)*(FCARRE/
1      DSIN(PHIMIN))*DCOS(PHIMIN))))+(1.000-M)*(A-M*DCOS(PHIM
2      *(-1.000)*FCARRE/2.000*PHIMIN**2/DSIN(PHIMIN))*60
RETURN
END

```

PROGRAM SECTIONS.

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	302	PIC CON REL LCL SHR E
2 \$LOCAL	16	PIC CON REL LCL NO SHR NOE
TOTAL SPACE ALLOCATED	318	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R*8	CAL_S

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
AP-00000000	R*8		AP-00000010	R*8	B0	2-00000
AP-00000008	R*8	FCARRE	AP-00000014	R*8	M	AP-00000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH*DCOS	R*8	MTH*DSIN

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C001
C002
C003
C004
C005
C006
C*****
FUNCTION CAL_LAMBDA (F,FCARRE,FCUBE,A,M,PHIMIN,C,L)

```

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DCOS	R*8	MTH\$DSIN

15-APR-1981
15-APR-1981

```

C001
C002 C*****
C003
C004 FUNCTION CAL_LAMBDA (F,FCARRE,FCUBE,A,M,PHIMIN,C,L)
C005
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007 CAL_LAMBDA=((F+FCARRE+FCUBE)*PHIMIN
C008 1+A*(T-1.000)*(FCARRE/2.000+FCUBE)
C009
C010 1*DSIN(PHIMIN)-(FCARRE+4.000*FCUBE)*PHIMIN**2/DSIN(PHIMIN)
C011
C012 2+3.000*FCUBE/2.000*PHIMIN**3/DSIN(PHIMIN)/DTAN(PHIMIN))
C013
C014 3+M*((-1.000)*(5.000*FCARRE/4.000+3.000*FCUBE)*PHIMI +
C015 3 (FCARRE/4.000+FCUBE/2.000)
C016
C017 4*DSIN(PHIMIN)*DCOS(PHIMIN)+(FCARRE+4.000*FCUBE)
C018
C019 5*PHIMIN**2/DTAN(PHIMIN)-FCUBE/2.000*PHIMIN**3
C020
C021 6/DSIN(PHIMIN)**2-FCUBE*PHIMIN**3/DTAN(PHIMIN)**2)
C022
C023 7+A**2*(FCUBE*PHIMIN+FCUBE/2.000*DSIN(PHIMIN)*DCOS(PHIMIN)
C024
C025 8+FCUBE*PHIMIN**3/DSIN(PHIMIN)**2)+
C026
C027 9M**2*(31.000*FCUBE/16.000*PHIMIN-9.000*FCUBE/16.000*DSIN(PHIMIN)
C028
C029 1DCOS(PHIMIN)+FCUBE/2.000*PHIMIN*DCOS(PHIMIN)**2-9.000*FCUBE/2
C030
C031 2*PHIMIN**2/DTAN(PHIMIN)+FCUBE/2.000*DSIN(PHIMIN)*DCOS(PHIMIN)
C032
C033 3 FCUBE/2.000*PHIMIN**3/DSIN(PHIMIN)
C034
C035 4**2+2.000*FCUBE*PHIMIN**3/DTAN(PHIMIN)**2)
C036
C037 5+A**4*(FCUBE*DSIN(PHIMIN)-3.000*FCUBE/2.000*PHIMIN*DCOS(PHIMIN)
C038
C039 69.000*FCUBE/2.000*PHIMIN**2/DSIN(PHIMIN)-FCUBE/2.000*DSIN(PHIMIN)
C040
C041 7*DCOS(PHIMIN)**2-7.000*FCUBE/2.000*PHIMIN**3/DSIN(PHIMIN)/
C042
C043 8 DTAN(PHIMIN)))*C+L
C044
C045 RETURN
C046 ENC

```

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C001
C002 C*****
C003
C004
C005 FUNCTION CAL_AZ12 (BETA1,BETA2,LAMBDA,PI)
C006
C007 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C008 AZ12=DATAN (1.000/((DSIN(BETA2)*DCOS(BETA1)-DCOS(LAMBDA)*
C009
C010 1 DSIN(BETA1)*DCOS(BETA2))/(DSIN(LAMBDA)*DCOS(BETA2))))
C011
C012 IF (AZ12 .LT. 0.000) THEN
C013 CAL_AZ12=AZ12+2.000*PI
C014 ELSE
C015 CAL_AZ12=AZ12
C016
C017 ENDIF
C018 RETURN
C019 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	152	PIC CCN REL LCL SHR EX
2 \$LOCAL	16	PIC CCN REL LCL NCSHR NOEX
TOTAL SPACE ALLOCATED	168	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-00000000	R*8	CAL_AZ12

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
2-00000008	R*8	AZ12	AP-00000040	R*8	BETA1	AP-000000
AF-00000010	R*8	PI				

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DATAN	R*8	MTH\$DCOS	R*8	MTH\$DSIN

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C001
C002 C*****
C003
C004
C005 FUNCTION CAL_AZ21 (BETA1,BETA2,LAMBDA,PI)

```

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C001 C*****
C002
C003
C004 FUNCTION CAL_AZ21 (BETA1,BETA2,LAMBDA,PI)
C005
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007 AZ21=DATAN (1.0D0/((DSIN(LAMBDA)*DCOS(BETA1)*DCOS(LAMBDA)
C008
C009 1 -DSIN(BETA1)*DCOS(BETA2))/(DSIN(LAMBDA)*DCOS(BETA1))))
C010
C011 IF (AZ21 .LT. 0.0D0) THEN
C012 CAL_AZ21=AZ21+2.0D0*PI
C013 ELSE
C014 CAL_AZ21=AZ21
C015
C016 ENDF
C017 RETURN
C018 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	152	PIC CON REL LCL SHR EXI
2 \$LOCAL	16	PIC CON REL LCL NO SHR NO EXI
TOTAL SPACE ALLOCATED	168	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-C0000000	R#8	CAL_AZ21

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
Z-C0000008	R#8	AZ21	AP-00000048	R#8	BETA1	AP-000000
AF-C00000102	R#8	PI				

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME
R#8	MTH\$DATAN	R#8	MTH\$DCOS	R#8	MTH\$DSIN

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C001 C*****
C002 C*****
C003 C
C004 C

```

SCDANO PROBLEME DIRECT

13-APR-1988
13-APR-1988

```
C001 C*****
C002 C*****
C003 C
C004 C
C005 C
C006 C
C007 C
C008 C
C009 SUBROUTINE SUDANO_DIRECT (LAT1, LONG1, AZ, DIST, LAT2, LONG2)
C010
C011 C
C012 C
C013 C
C014 C
C015 C
C016 C
C017 C
C018 C
C019 C
C020 C
C021 C
C022 C
C023 C
C024 C
C025 C
C026 C
C027 C
C028 C
C029 C
C030 C
C031 C
C032 C
C033 C
C034 C
C035 C
C036 C
C037 C
C038 C
C039 C
C040 C
C041 C
C042 C
C043 C
C044 C
C045 C
C046 C
C047 C
C048 C
C049 C
C050 C
C051 C
C052 C
C053 C
C054 C
C055 C
C056 C
C057 C
```


SUDANO_DIRECT
SUBROUTINE SUDANO_DIRECT (LAT1, LONG1, AZ, DIST, LAT2, LONG2)
PARAMETRES D'ENTREE:
LAT1: LATITUDE GEODESIQUE DU PREMIER POINT
LONG1: LONGITUDE GEODESIQUE DU PREMIER POINT
AZ: AZIMUT GEODESIQUE DE 1 VERS 2
DIST: DISTANCE GEODESIQUE DE 1-2
PARAMETRES DE SORTIE:
LAT2: LATITUDE GEODESIQUE DU DEUXIEME POINT
LONG2: LONGITUDE GEODESIQUE DU DEUXIEME POINT
IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
COMMON/CONST/ AC, BO, F, FCARRE, F, EPRIME
CALL INITCONST
AO = 0
BO = 0
F = 6378137.0
FCARRE = F**2
FCUBE = F**3
BO = 6356583.8
EPRIME = AC**2/BO**2 - 1.0
PI = 3.141592653589793
BETA1 = CAL_BETA (LAT1, F, PI)
BETA0 = FUN_BETA0 (BETA1, AZ)
G = FUN_G (BETA1, AZ)
M1 = FUN_M1 (EPRIME, BETA1, BETA0)
PHI_S = FUN_PHI_S (DIST, BO)
A1 = FUN_A1 (EPRIME, BETA1, PHI_S, G)
PHI_C = FUN_PHI_C (EPRIME, PHI_S, A1, M1)
SINBETA2 = FUN_SINBETA2 (G, PHI_C, BETA1)
COSBETA2 = FUN_COSBETA2 (G, PHI_C, BETA0, BETA1)
BETA2 = FUN_BETA2 (SINBETA2, COSBETA2)
LAT2 = FUN_LAT2 (BETA2, F, PI)
ALPHA21 = FUN_ALPHA21 (G, PHI_C, BETA0, BETA1)

SUDANO_DIRECT

13-APR-1988
13-APR-1988

```
C058 C
C059 C
C060 C
C061 C
C062 C
C063 C
C064 C
C065 C
C066 C
C067 C
```

AZ21 = FUN_AZ21 (ALPHA21, AZ, PI)
LAMBDA = FUN_LAMBDA (BETA1, PHI_C, AZ)
LAMBDA = FUN_LAMBDA (AZ, LAMBDA, PHI_C, PI)
BT2_BT1 = FUN_BT2BT1 (PHI_C, AZ, LAMBDA, BETA1, BETA2)
LAT2 = FUN_LATITUDE (AO, BO, BT2_BT1, LAT1, LAT2)
LONG2 = FUN_LONGITUDE (LAMBDA, A1, M1, F, FCARRE, PHI_S, BETA0)

```

0044 PHI_S =FUN_PHI_S (DIST,B0)
0045
0046 A1 =FUN_A1 (EPRIME,BETA1,PHI_S,G)
0047
0048 PHI_C =FUN_PHI_C (EPRIME,PHI_S,A1,M1)
0049
0050
0051 SINBETA2=FUN_SINBETA2 (G,PHI_S,BETA1)
0052 COSBETA2=FUN_COSBETA2 (G,PHI_S,BETA1)
0053
0054 BETA2 =FUN_BETA2 (SINBETA2,COSBETA2)
0055 LAT2 =FUN_LAT2 (BETA2,F,P1)
0056
0057 ALPHA21=FUN_ALPHA21 (G,PHI_S,BETA1)

```

SUDANO_DIRECT

16-APR-1988
13-APR-1988

```

0058 AZ21 =FUN_AZ21 (ALPHA21,AZ,PI)
0059
0060 LAMBDA =FUN_LAMBDA (BETA1,PHI_C,AZ)
0061 LAMBDA =FUN_LAMB (AZ,LAMBDA,PHI_C,PI)
0062
0063 BT2_BT1=FUN_BT2BT1 (PHI_S,AZ,LAMBDA,BETA1,BETA2)
0064 LAT2=FUN_LATITUDE (AO,B0,BT2_BT1,LAT1,LAT2)
0065
0066 L = FUN_L (LAMBDA,A1,M1,EPRIME,PHI_S,BETA1)
0067 LONG1 =LONG1+L
0068 LONG2 =-LONG1
0069
0070 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES						
0 \$CODE	32	PIC	CON	REL	LCL	SHR	EXE	
2 \$LOCAL	44	PIC	CON	REL	LCL	NO SHR	NO EXE	
3 CONSTS	30	PIC	OVR	REL	GPL	SHR	NO EXE	
TOTAL SPACE ALLOCATED		106						

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-0000000		SUDANO_DIRECT

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
3-00000000	R#8	AO	2-00000048	R#8	A1	2-000000
2-00000078	R#8	AZ21	3-00000078	R#8	B0	2-000000
2-00000068	R#8	BETA2	2-00000078	R#8	BT2_BT1	2-000000
3-00000030	R#8	EPRIME	3-00000078	R#8	F	2-000000
2-00000030	R#8	G	2-00000090	R#8	L	2-000000
AF-000000148	R#8	LAT2	AP-00000078	R#8	LONG1	AP-000000
3-00000018	R#8	PE	3-00000078	R#8	PE2	2-000000
3-00000020	R#8	PI	2-00000078	R#8	PL	2-000000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME
R#8	CAL_BETA	R#8	FUN_A1	R#8	FUN_ALPHA21	R#8	F
R#8	FUN_BT2BT1	R#8	FUN_COSBETA	R#8	FUN_C	R#8	F
R#8	FUN_LAT2	R#8	FUN_LATITUDE	R#8	FUN_M1	R#8	F
	INITCONST						

3-00000030	R#8	EPRIME	3-00000030	R#8	PE1	2-00000030	R#8	PE1
2-00000030	R#8	G	2-00000030	R#8	PE2	2-00000030	R#8	PE2
AP-000000142	R#8	LAT2	AP-000000142	R#8	LONG1	AP-000000142	R#8	LONG1
3-00000016	R#8	PE	3-00000016	R#8	PE2	3-00000016	R#8	PE2
3-00000020	R#8	PI	3-00000020	R#8	PE	3-00000020	R#8	PE

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME
R#8	CAL_BETA	R#8	FUN_A1	R#8	FUN_ALPHA21	R#8	FUN_A1
R#8	FUN_BT2BT1	R#8	FUN_COSBETA	R#8	FUN_G	R#8	FUN_C
R#8	FUN_LAT2	R#8	FUN_LATITUDE	R#8	FUN_M1	R#8	FUN_M1
R#8	INITCONST						

16-APR-1988
16-APR-1988

```

C001
C002      C*****
C003
C004      FUNCTION FUN_BETA0 (BETA1,AZ)
C005
C006      IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007      FUN_BETA0=DACOS(DCCS(BETA1)*SIN(AZ))
C008
C009      RETURN
C010      END
  
```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	50	PIC CON REL LCL SHR EX
2 \$LOCAL	8	PIC CON REL LCL NO SHR NOEX
TOTAL SPACE ALLOCATED	58	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R#8	FUN_BETA0

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME
AP-000000030	R#8	AZ	AP-000000142	R#8	BETA1

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME
R#8	MTH\$DACOS	R#8	MTH\$DCCS	R#8	MTH\$DSIN

18-APR-1938
13-APR-1938

```

CUC1
CUC2 C*****
CUC3
CUC4 FUNCTION FUN_M1 (BETA0,BETA1,BETA2)
CUC5
CUC6 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
CUC7 FUN_M1=(1.000+EFFINE/2.000*DSIN(BETA1)**2)*(1.000-DCOS(BETA0
CUC8
CUC9 RETURN
CUC10 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	61	PIC CON REL LCL SHR EX
2 \$LOCAL	3	PIC CCN REL LCL NC SHR NOEX
TOTAL SPACE ALLOCATED	64	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R*8	FUN_M1

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
AF-00000000	R*8	BETA0	AP-00000000	R*8	BETA1	AP-000000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DCCS	R*8	MTH\$DSIN

18-APR-1988 1
18-APR-1988 1

```
C001  
C002 C*****  
C003  
C004     FUNCTION FUN_PHI_S (DIST,BC)  
C005  
C006     IMPLICIT REAL*8 (A-Z)  
C007     FUN_PHI_S=DIST/BC  
C008  
C009     RETURN  
C010     END
```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	21	PIC CON REL LCL SHR EXE
2 \$LOCAL	0	PIC CON REL LCL NO SHR NO EXE
TOTAL SPACE ALLOCATED	29	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R*8	FUN_PHI_S

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME
AF-00000032	R*8	BC	AP-00000040	R*8	DIST

18-APR-1981
18-APR-1981

```

C001
C002      C*****
C003
C004          FUNCTION FUN_A1 (EPRIME,BETA1,PHI_S,G)
C005
C006          IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007          FUN_A1=(1.000+EPRIME/2.000)*SIN(BETA1)**2)
C008          1      *(COSIN(BETA1)**2*DCOS(PHI_S)+3*DSIN(BETA1)*DSIN(PHI_S)
C009
C010          RETURN
C011          END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
C \$CODE	107	PIC CON REL LCL SHR ED
Z \$LCCAL	6	PIC CON REL LCL NO SHR NO ED
TOTAL SPACE ALLOCATED	113	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R*8	FUN_A1

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
AP-00000008	R*8	BETA1	AP-00000040	R*8	EPRIME	AP-000000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DCOS	R*8	MTH\$DSIN

16-APR-1988
18-APR-1988

```

C001 C*****
C002
C003
C004 FUNCTION FUN_PHI_0 (EPRIME,PHI_S,A1,M1)
C005
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007 FUN_PHI_0=PHI_S
C008
C009 1 + A1*((-1.000)*EPRIME/2.000*DSIN(PHI_S))
C010
C011 2 + A1*((-1.000)*EPRIME/4.000*PHI_S+EPRIME/4.000
C012 *DSIN(PHI_S)*DCOS(PHI_S))
C013
C014 3 + A1**2*(5.000*EPRIME**2/7.000*DSIN(PHI_S)*DCOS(PHI_S))
C015
C016 4 + A1**2*(11.000*EPRIME**2/64.000*PHI_S-13.000*EPRIME**2
C017 / 64.000*DSIN(PHI_S)*DCOS(PHI_S)
C018 - EPRIME**2/4.000*PHI_S*DCOS(PHI_S)**2
C019 +5.000*EPRIME**2/32.000*DSIN(PHI_S)*DCOS(PHI_S))
C020
C021 5 + A1*M1*(3.000*EPRIME**2/8.000*DSIN(PHI_S)
C022 +EPRIME**2/4.000*PHI_S*DCOS(PHI_S)
C023 9 -5.000*EPRIME**2/8.000*DSIN(PHI_S)*DCOS(PHI_S))
C024 1
C025 RETURN
C026 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	508	PIC CON REL LCL SHR E
2 \$LOCAL		PIC CON REL LCL NO SHR NOE
TOTAL SPACE ALLOCATED	517	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-00000000	R*8	FUN_PHI_0

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDR
AF-00000000	R*8	A1	AP-00000004	R*8	EPRIME	AP-0000

15-APR-1988
13-APR-1988

```

C001
C002 C*****
C003
C004 FUNCTION FUN_SINBETA2 (S,PHI_0,BETA1)
C005
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007 FUN_SINBETA2=DSIN(BETA1)*DCOS(PHI_0)+S*DSIN(PHI_0)
C008
C009 RETURN
C010 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	59	PIC CON REL LCL SHR EX
2 \$LOCAL	8	PIC CON REL LCL NCSHR NOEX
TOTAL SPACE ALLOCATED	67	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-00000000	R*8	FUN_SINBETA2

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
AF-00000000	R*8	BETA1	AP-00000004	R*8	G	AP-00000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DCOS	R*8	MTH\$DSIN

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C001
C002 C*****
C003
C004          FUNCTION FUN_CCSBETA2 (O,PHI_0,BETA0,BETA1)
C005
C006          IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007          FUN_CCSBETA2=(DCOS(BETA0)**2+(3*DCOS(PHI_0)-DSIN(BETA1))*
C008          1          DSIN(PHI_0))**2)**0.5
C009
C010          RETURN
C011          END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	87	PIC CON REL LCL SHR EX
2 \$LOCAL	8	PIC CON REL LCL NO SHR NO EX
TOTAL SPACE ALLOCATED	95	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-00000000	R#8	FUN_CCSBETA2

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
AP-00000000	R#8	BETA0	AP-00000010	R#8	BETA1	AP-000000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
R#8	MTH\$DCOS	R#8	MTH\$DSIN

18-APR-198
18-APR-198

```

0001
C0C2 C*****
C0C3
C0C4 FUNCTION FUN_BETA2 (SIN_BETA1, COS_BETA2)
C0C5
C0C6 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C0C7 DUM1=DATAN(SIN_BETA2/COS_BETA2)
C0C8 DUM2=DATAN(1.000/(COS_BETA2/SIN_BETA2))
C0C9
C010 IF (DABS(DUM1) .LT. DABS(DUM2)) THEN
C011     FUN_BETA2=DUM1
C012 ELSE
C013     FUN_BETA2=DUM2
C014 ENDIF
C015
C016 RETURN
C017 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	82	PIC COB REL LCL SHR EX
2 \$LOCAL	24	PIC COB REL LCL NC SHR NOEX
TOTAL SPACE ALLOCATED	106	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-00000000	R*8	FUN_BETA2

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
0-00000008	R*8	COS_BETA2	2-00000008	R*8	DUM1	2-000000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME
R*8	MTH\$DATAN

18-APR-198
18-APR-198

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE NAME
R#8 MTH\$DATAN

16-APR-1988
16-APR-1988

```

C001
C002 C*****
C003
C004 FUNCTION FUN_LAT2 (BETA1,F,P1)
C005
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007 DUMMY=DATAN(OTAN(BETA2)/(1.00-F))
C008
C009 IF (DABS(DUMMY) .GT. (PI/4.0)) THEN
C010 FUN_LAT2=DATAN(1.00/(1.00/OTAN(BETA2)*(1.00-F)))
C011 ELSE
C012 FUN_LAT2=DUMMY
C013 ENDIF
C014 RETURN
C015 END
    
```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
C \$CODE	107	PIC COM REL LCL SHR EX
Z \$LOCAL	15	PIC COM REL LCL NOSHR NOEX
TOTAL SPACE ALLOCATED	122	

ENTRY POINTS

ADDRESS TYPE NAME
C-00000000 R#8 FUN_LAT2

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
AP-000000040	R#8	BETA2	2-00000008	R#8	DUMMY	AP-000000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE NAME TYPE NAME
R#8 MTH\$DATAN R#8 MTH\$DTAN

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DTAN	R*8	MTH\$DCCS	R*8	MTH\$DSIN

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C001
C002 C*****
C003
C004 FUNCTION FUN_AZ21 (ALPHA21,AZ,PI)
C005
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007 IF ((AZ .GE. 0.000) .AND. (AZ .LE. PI)) THEN
C008 IF (DTAN(ALPHA21) .GT. 0.000) THEN
C009 FUN_AZ21=ALPHA21+PI
C010
C011 ELSE
C012 FUN_AZ21=ALPHA21+2.00*PI
C013 ENDIF
C014 ELSE
C015 IF (DTAN(ALPHA21) .GT. 0.000) THEN
C016 FUN_AZ21=ALPHA21
C017 ELSE
C018 FUN_AZ21=ALPHA21+PI
C019 ENDIF
C020 ENDIF
C021 RETURN
C022 END
    
```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CCOE	90	PIC COM REL LCL SHR EX
2 \$LCCAL	0	PIC COM REL LCL NOSHR NOEX
TOTAL SPACE ALLOCATED	93	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R*8	FUN_AZ21

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
AF-00000004	R*8	ALPHA21	AP-00000008	R*8	AZ	AP-000000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME
R*8	MTH\$DTAN

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE NAME
R*8 MTH\$DTAN

13-APR-1988
13-APR-1988

```

C001 C*****
C002
C003
C004 FUNCTION FUN_LAMBDA (BETA1,PHI_0,AZ)
C005
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007 FUN_LAMBDA=DATAN(1.000/((COS(BETA1)*COS(PHI_0)
C008 1 -OSIN(BETA1)*OSIN(PHI_0)*COS(AZ))/OSIN(PHI_0)
C009 1 *OSIN(AZ))))
C010
C011 RETURN
C012 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	133	PIC CON REL LCL SHR E*
2 \$LOCAL	8	PIC CON REL LCL NC SHR NOE*
TOTAL SPACE ALLOCATED	141	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R*8	FUN_LAMBDA

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
AP-00000002	R*8	AZ	AP-00000041	R*8	BETA1	AP-000000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DATAN	R*8	MTH\$COS	R*8	MTH\$DSIN

TYPE NAME
R*8 MTH\$DATAN

TYPE NAME
R*8 MTH\$DCCS

TYPE NAME
R*8 MTH\$DSIN

18-APR-198
18-APR-198

```
CO01  
CO02  
CO03  
CO04  
CO05  
CO06  
CO07  
CO08  
CO09  
CO10  
CO11  
CO12  
CO13  
CO14  
CO15  
CO16  
CO17  
CO18  
CO19  
CO20  
CO21  
CO22  
CO23  
CO24  
CO25  
CO26  
CO27  
CO28  
CO29  
CO30  
CO31  
CO32  
CO33  
CO34  
CO35  
CO36  
CO37  
CO38  
CO39  
CO40  
CO41  
  
C*****  
  
FUNCTION FUN_LAMB (AZ,LAMBDA,PHI_0,PI)  
  IMPLICIT REAL*8 (A-Z)  
  IF ((AZ .GE. 0.000).AND. (AZ .LE. PI)) THEN  
    IF ((PHI_0 .GT. 0.000) .AND. (PHI_0 .LE. PI)) THEN  
      IF (DTAN(LAMBDA) .GT. 0.000) THEN  
        FUN_LAMB=LAMBDA  
      ELSE  
        FUN_LAMB=LAMBDA+PI  
      ENDIF  
    ELSE  
      IF (DTAN(LAMBDA) .GT. 0.000) THEN  
        FUN_LAMB=LAMBDA  
        WRITE(6,*) 'CORRECTION 1 QUADRANT 3'  
      ELSE  
        FUN_LAMB=LAMBDA  
        WRITE(6,*) 'CORRECTION 2 QUADRANT 4'  
      ENDIF  
    ENDIF  
  ELSE  
    IF ((PHI_0 .GT. 0.000) .AND. (PHI_0 .LE. PI)) THEN  
      IF (DTAN(LAMBDA) .LT. 0.000) THEN  
        FUN_LAMB=LAMBDA  
      ELSE  
        FUN_LAMB=LAMBDA+2.00*PI  
      ENDIF  
    ELSE  
      IF (DTAN(LAMBDA) .LT. 0.000) THEN  
        FUN_LAMB=LAMBDA  
        WRITE(6,*) 'CORRECTION 4 QUADRANT ?'  
      ELSE  
        FUN_LAMB=LAMBDA  
        WRITE(6,*) 'CORRECTION 5 QUADRANT ?'  
      ENDIF  
    ENDIF  
  ENDIF  
  RETURN  
END
```

18-APR-198
18-APR-198

```

C001
C002 C*****
C003
C004 FUNCTION FUN_L (LAMBDA,A1,PI,S,FCARRE,PHI_S,BETAC)
C005
C006 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C007 FUN_L=(((-1.000)*F*PHI_S)
C008 1 + A1*(3.000*FCARRE/2.0*DCOS(PI_S))
C009
C010 2 + MI*(3.000*FCARRE/4.000*PHI_S
C011 3 -3.000*FCARRE/4.000*DSIN(PI_S)*DCOS(PI_S)))
C012 4 *DCOS(BETAC)+LS*PI
C013
C014 RETURN
C015 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	141	PIC COM REL LCL SHR E
2 \$LDCAL	0	PIC COM REL LCL NO SHR NOE
TOTAL SPACE ALLOCATED	141	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-00000000	R*8	FUN_L

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDR.
AP-00000000	R*8	A1	AP-00000010	R*8	BETAC	AP-000000
AP-00000040	R*8	LAMBDA	AP-000000C0	R*8	MI	AP-000000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DCOS	R*8	MTH\$DSIN

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DCOS	R*8	MTH\$DSIN

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0001          C*****
0002          DA
0003          C003
0004          C004          FUNCTION FUN_BT2BT1 (PHI_0,AZ,LAMBDA,BETA1,BETA2)
0005          C005
0006          C006          IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
0007          C007          FUN_BT2BT1=DCOS(ABSIN(ABSIN(PHI_0)*DCOS(AZ)-2.0D0*DSIN(LAMBDA/2.0D0)
0008          C008          1          *DSIN(BETA1)*DCOS(BETA2))
0009          C009
0010          C010          RETURN
0011          C011          END
0012          C012
    
```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	104	PIC CON REL LCL SHR EXE
2 \$LOCAL		PIC CON REL LCL NC SHR NOEXE
TOTAL SPACE ALLOCATED	112	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000	R*8	FUN_BT2BT1

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
AF-00000060	R*8	AZ	AP-00000010	R*8	BETA1	AP-000000
AF-00000040	R*8	PHI_0				

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DASIN	R*8	MTH\$DCOS	R*8	MTH\$DSIN

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DASIN	R*8	MTH\$DCCS	R*8	MTH\$DSIN

15-APR-1988
15-APR-1988

```

C001
C002 C*****
CA
C003 FUNCTION FUN_LATITUDE (AC,BL,BT2,BT1,LAT1,LAT2)
C004
C005 IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C006 N=(AO-BO)/(AO+BO)
C007 FUN_LATITUDE=LAT1+BT2-BT1+1.00*(DSIN(BT2-BT1))
C008 1 *(T.+1**3)*DCCS(LAT2+LAT1)+1**2*DCCS(LAT2-LAT1)
C009
C010 RETURN
C011 END
C012
    
```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	113	PIC CON REL LCL SHR EX
2 \$LOCAL	16	PIC CON REL LCL NOSHR NOEM
TOTAL SPACE ALLOCATED	129	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-00000000	R*8	FUN_LATITUDE

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
AF-00000040	R*8	AC	AP-00000008	R*8	BO	AF-00000000
AF-00000140	R*8	LAT2	2-00000008	R*8	N	

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	MTH\$DCCS	R*8	MTH\$DSIN

15-APR-1981
15-APR-1981

```
0001 C
0002 C *****
0003 C *****
0004 C
0005 C
0006 C
0007 C LAMBERT-GEODESIQUE
0008 C
0009 C PROJECTION
0010 C
0011 C GEODESIQUE-LAMBERT
0012 C
0013 C
0014 C
0015 C
0016 C
0017 C SUBROUTINE LAMBERT (STAT,LAT,LONG,X,Y)
0018 C
0019 C PARAMETRES D'ENTREE:
0020 C STAT:IDENTIFICATION DE LA STATION EMETTRICE
0021 C LAT:LATITUDE GEODESIQUE DU POINT CONSIDERE
0022 C LONG:LONGITUDE GEODESIQUE DU POINT CONSIDERE
0023 C
0024 C PARAMETRES DE SORTIE:
0025 C X:COORDONNEE X PLANE DE LAMBERT
0026 C Y:COORDONNEE Y PLANE DE LAMBERT
0027 C
0028 C IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
0029 C INTEGER*4 STAT
0030 C COMMON/CONST/ A,B,C2,E,F1,F2,PRIME
0031 C
0032 C USES
0033 C CEPS
0034 C
0035 C
0036 C PROBLEME DIRECT
0037 C
0038 C
0039 C
0040 C IF (STAT.EQ.1) THEN
0041 C LAT1=44.400
0042 C CALL DAS_RAD (LAT1)
0043 C LAT2=47.200
0044 C CALL DAS_RAD (LAT2)
0045 C ELSE
0046 C LAT1=48.400
0047 C CALL DAS_RAD (LAT1)
0048 C LAT2=51.200
0049 C CALL DAS_RAD (LAT2)
0050 C ENL IF
0051 C N1=A/LOG(1.00-EL*(DSI1(LAT1)**2))
0052 C CALL LATISCMET (C,C1,LAT1)
0053 C N2=B/DSO-1(1.00-E2*(DSI1(LAT1)**2))
0054 C CALL LATISCMET (E,C2,LAT1)
0055 C L=(LOG(C1*CCOS(LAT1))-LOG(N2*CCOS(LAT1)))/(C2-C1)
0056 C GN=N1*CCOS(LAT1)/(L*DEXP((-1.00)*C1*L))
0057 C CALL LATISCMET (E,C,LAT)
```

```

0042 CALL DMS_RAD (LAT1)
0043 LAT2=47.200
0044 CALL DMS_RAD (LAT2)
0045 ELSE
0046 LAT1=48.400
0047 CALL DMS_RAD (LAT1)
0048 LAT2=51.200
0049 CALL DMS_RAD (LAT2)
0050 ENDIF
0051 N1=A/DSQRT(1.00-E2*(DSIN(LAT1)**2))
0052 CALL LATISCMET(E,C1,LAT1)
0053 N2=A/DSQRT(1.00-E2*(DSIN(LAT2)**2))
0054 CALL LATISCMET(E,C2,LAT2)
0055 L=(DLOG(N1*DCOS(LAT1))-DLOG(N2*DCOS(LAT2)))/(C2-C1)
0056 GK=N1*DCOS(LAT1)/(L*DEXP((-1.00)*C1*L))
0057 CALL LATISCMET(E,C,LAT)

```

LAMBERT

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0058
0059 X=GK*DCAP((-1.00)*L*Q)*DCOS(L*L*NG)
0060 Y=GK*DEXP((-1.00)*L*Q)*DSIN(L*L*NG)
0061 RETURN
0062 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	588	PIC CCN REL LCL SHR EX
2 \$LOCAL	102	PIC CCN REL LCL NC SHR NOEX
3 CONSTS	56	PIC OVR REL GBL SHR NOEX
TOTAL SPACE ALLOCATED		596

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-C0C0C000		LAMBERT

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
3-C0C0C000	R*8	A	3-00000008	R*8	B	3-C0000000
3-C0C0C030	R*8	EPRIME	3-00000028	R*8	F	2-00000000
AF-C0000008	R*8	LAT	2-00000010	R*8	LAT1	2-C0000000
2-C0C0C020	R*8	N1	2-00000030	P*8	N2	3-00000000
2-C0000028	R*8	C1	2-00000040	R*8	C2	AP-00000000
2-C0C0C008	R*8	UL	AP-00000010	R*8	X	AP-C0C0C000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	DMS_RAD		LATISCMET	R*8	MTH\$DCOS	R*8	MTH\$DSQRT

18-APR-198
13-APR-198

```

C001
C002          SUBROUTINE LATISOMET (E,C,PHI)
C003
C004          C
C005          C
C006          C
C007          C
C008          C
C009          C
C010          C
C011          C
C012          C
C013          IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C014          PI=3.14159265358979317
C015          Q=DL15(DTAN(PH1/4.0C+PH1/2.0C))*(((1.0C-B*DSIN(PHI))
C016          1.0C / (1.0C+B*DSIN(PHI))))**((P/P.0C)))
C017          RETURN
C018          END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	YES	ATTRIBUTES
0 #CODE	114	PIC CON REL LCL SHR
2 #LOCAL		PIC CON REL LCL NC SHR NOB
TOTAL SPACE ALLOCATED	100	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-00000000		LATISOMET

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDR
AP-000000040	R#0	E	BP-000000000	R#0	PHI	2-0000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME
R#0	MTH\$DLOG	R#0	MTH\$DSIN	R#0	MTH\$DTAN

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME	TYPE	NAME
R#8	MTH\$DLOG	R#8	MTH\$DSIN	R#8	MTH\$DTAN

18-APR-198
18-APR-198

```

C001
C002 C*****
C003 C
C004 C      LOGICIEL QUI TRANSFORME LES COORDONNEES GEODESIQUES
C005 C      A DES COORDONNEES RECTANGULAIRES (UTM)
C006 C
C007 C      REFERENCE= FORMULES DU SERVICE DE LA GEODESIE
C008 C      VOLUME TFI-250-1
C009 C
C010 C*****
C011 C
C012 C      SUBROUTINE MERCATOR (LAT, LONG, X, Y, F)
C013 C
C014 C
C015 C      PARAMETRES D'ENTREE:
C016 C      LAT: LATITUDE GEODESIQUE DU POINT CONSIDERE
C017 C      LONG: LONGITUDE GEODESIQUE DU POINT CONSIDERE
C018 C
C019 C      PARAMETRES DE SORTIE:
C020 C      X: COORDONNEE X PLANE DE MERCATOR-TRANSVERSE
C021 C      Y: COORDONNEE Y PLANE DE MERCATOR-TRANSVERSE
C022 C      F: POLEAU DE LA PROJECTION
C023 C
C024 C      IMPLICIT REAL*8 (4-2)
C025 C      LE=6
C026 C      UL=5
C027 C      CALL GEO_UTM(LAT, LONG, X, Y, F)
C028 C      RETURN
C029 C      END

```

18-APR-1988
18-APR-1988

```
C001
C002          SUBROUTINE GEO_UTM(PHI,LAMBDA,X,Y,F)
C003 C*****
C004 C
C005 C          SOUS-PROGRAMME GEODESIQUES-UTM
C006 C*****
C007 C          IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C008 X0=500000.00
C009 K0=0.999800
C010 P1=5.14159265358979300
C011 R=637902.351500
C012 E2=0.00681478494600
C013 A1=R/DSQRT(1.00/(DCOS(PHI)**2)+E2)
C014 A2=0.500*A1*DSIN(PHI)
C015 A3=(1.00/3.00)*A1*(-1.00+2.00*(DCOS(PHI)**2)+E2*
C016 + (DCOS(PHI)**4))
C017 A4=(1.00/12.00)*A2*(-1.00+6.00*(DCOS(PHI)**2)+
C018 + 9.00*E2*(DCOS(PHI)**4)+4.00*(E2**2)*(DCOS(PHI)**6))
C019 A5=(1.00/120.00)*A1*(1.00-20.00*(DCOS(PHI)**2)+
C020 + (24.00-58.00*E2)*(DCOS(PHI)**4)+
C021 + 72.00*E2*(DCOS(PHI)**6))
C022 A6=(1.00/360.00)*A2*(1.00-60.00*(DCOS(PHI)**2)+
C023 + 120.00*(DCOS(PHI)**4))
C024 B=(111132.0893700*E7.2957793100*PHI)-
C025 + 16210.00*4100*DSIN(2.00*PHI)+17.00*400*DSIN(4.00
C026 *PHI)- 0.022700*DSIN(6.00*PHI)
C027 F=DINT((PI-LAMBDA)/(6.00*PI/180.00)+1.00)
C028 LAMBDA0=LAMBDA-F*PI/180.00
C029 CMEGA0=LAMBDA0-LAMBDA
C030 PX=A1*CMEGA0+A3*CMEGA0**3+A5*CMEGA0**5
C031 X=X0+K0*PX
C032 PY=B+A2*CMEGA0**2+A4*CMEGA0**4+A6*CMEGA0**6
C033 Y=K0*PY
C034 RETURN
C035 END
C036
```

18-APR-1988
18-APR-1988

```
C*****
C
C
C001 C PROGRAMME QUI EFFECTUE LA ROTATION ET
C002 C LA TRANSLATION ENTRE DEUX SYSTEMES DE
C003 C COORDONNEES
C004 C
C005 C
C006 C
C007 C
C008 C
C009 C
C010 C SUBROUTINE ROTATION (TEST,ITEST,LONG,XI,YI,XKM,YKM)
C011 C
C012 C PARAMETRES D'ENTREE:
C013 C TEST:ID. DE LA PROJECTION A L'ETUDE (LAMBERT=1,MERCATOR=0)
C014 C ITEST:ID. DE LA STATION BRITANIQUE (CARIBOU=1,FOX-HARBOUR=2)
C015 C LONG:LONGITUDE GEOGRAPHIQUE DU POINT TRANSFORME
C016 C X:COMPOSANTE X DU SYSTEME DE COORD. A TRANSFORMER
C017 C Y:COMPOSANTE Y DU SYSTEME DE COORD. A TRANSFORMER
C018 C
C019 C PARAMETRES DE SORTIE:
C020 C XKM:COMPOSANTE X DU SYSTEME DE COORD. TRANSFORME (KM)
C021 C YKM:COMPOSANTE Y DU SYSTEME DE COORD. TRANSFORME (KM)
C022 C
C023 C IMPLICIT REAL*8 (A-H,L-S,X-Z)
C024 C INTEGER*4 TEST,IFLAG,ITEST
C025 C LE=6
C026 C LL=5
C027 C
C028 C IF(TEST.EQ.1) THEN
C029 C   CONSTANTES DE LA PROJECTION DE LAMBERT
C030 C   IF(ITEST.EQ.1)THEN
C031 C     CONSTANTES DE LAMBERT POUR CARIBOU
C032 C     ANGLE=1.2624DC
C033 C     AC=4006927.03836793DC
C034 C     YC=-4580758.78422517DC
C035 C     K=1.0C
C036 C     AT=-1.0C
C037 C   ELSE
C038 C     CONSTANTES DE LAMBERT POUR FOX HARBOUR
C039 C     ANGLE=4.036725575DC
C040 C     XC=3737605.88160200DC
C041 C     YO=-3454053.70500830DC
C042 C     K=1.0C
C043 C     AT=-1.0C
C044 C   ENCIF
C045 C ELSE
C046 C   CONSTANTES DE LA PROJECTION DE MERCATOR
C047 C   IF(ITEST.EQ.1) THEN
C048 C     CONSTANCE MERCATOR POUR CARIBOU
C049 C     IF (LONG.LE.(65.9999997200*ACOS(-1.00)/180.00)) THEN
C050 C       ANGLE=C.481838839DC
C051 C       XO=274016.964DC
C052 C       YO=5203718.8928DC
C053 C       K=1.0C
C054 C       AT=1.0C
C055 C       IFLAG=C
C056 C     ELSE
C057 C       ANGLE=C.559117323DC
```

```

0047 IF (TEST.EQ.1) THEN
0048 C
0049 CCONSTANTE MERCATOR POUR CA-I-OU
0050 IF (LONG.LE.(65.9999997240*CACOS(-1.00)/180.00)) THEN
0051 ANGLE=C.48183363900
0052 X0=274016.98400
0053 Y0=5283718.892800
0054 K=1.00
0055 AT=1.00
0056 IFLAG=0
0057 ELSE
    ANGLE=C.55911731300

```

ROTATION

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0058 X0=588596.22200
0059 Y0=5176501.894800
0060 K=1.00
0061 AT=1.00
0062 IFLAG=1
0063 ENDIF
0064 ELSE
0065 C
0066 CCONSTANTE MERCATOR POUR FOX HARBOR
0067 IF (LONG.LE.(59.9999997240*CACOS(-1.00)/180.00)) THEN
0068 ANGLE=C.82780346700
0069 X0=582199.030900
0070 Y0=5810433.410300
0071 K=1.00
0072 AT=1.00
0073 IFLAG=1
0074 ELSE
0075 ANGLE=C.5084132600
0076 X0=713330.258000
0077 Y0=5567866.912100
0078 K=1.00
0079 AT=1.00
0080 IFLAG=2
0081 ENDIF
0082 ENDIF
0083 YI=AT*YI
0084 X=(DCOS(ANGLE)*(XI-X0)+DSIN(ANGLE)*(YI-Y0))*(1.00/K)
0085 Y=((-1.00)*DSIN(ANGLE)*(XI-X0)+DCOS(ANGLE)*(YI-Y0))*(1.00/K)
0086 IF ((IFLAG.EQ.0).AND.(TEST.EQ.0)) THEN
0087 YF=Y
0088 XF=184424.828600+X
0089 ELSE
0090 XF=X
0091 YF=Y
0092 ENDIF
0093 IF ((IFLAG.EQ.2).AND.(TEST.EQ.0)) THEN
0094 YF=Y
0095 XF=382832.518900+X
0096 ENDIF
0097
0098 XKM=XF/1000.00
0099 YKM=YF/1000.00
0100 RETURN
0101 END

```

18-APR-198
18-APR-198

```
C*****
C001 C
C002 C
C003 C
C004 C
C005 C
C006 C
C007 C
C008 C
C009 C
C010 C
C011 C
C012 C
C013 C
C014 C
C015 C
C016 C
C017 C
C018 C
C019 C
C020 C
C021 C
C022 C
C023 C
C024 C
C025 C
C026 C
C027 C
C028 C
C029 C
C030 C
C031 C
C032 C
C033 C
C034 C
C035 C
C036 C
C037 C
C038 C
C039 C
C040 C
C041 C
C042 C
C043 C
C044 C
C045 C
C046 C
C047 C
C048 C
C049 C
C050 C
C051 C
C052 C
C053 C
C054 C
C055 C
C056 C

SOLUTION D'UNE EQUATION DU SECOND DEGRE POUR LA
DETERMINATION DE L'ALTITUDE LE LONG D'UNE GEODESIQUE
EN UTILISANT LA METHODE DE MOINDRES CARRES

C*****

SUBROUTINE HAUTEUR (INIT,FI ,C,N)

PARAMETRES D'ENTREE :
INIT:CORNE INFERIEURE
FIN:CORNE SUPERIEURE
HZ:MATRICE DES ALTITUDES
N:OMBRE TOTAL D'ELEMENTS

PARAMETRE DE SORTIE :
C:VECTEUR DES COEFFICIENTS ESTIMES PAR MOINDRES CARREES

IMPLICIT REAL*8 (A-H,N-Z)
DIMENSION A(3,3),b(3,1),C(3,1),AINV(3,3),AA(3,3),
+ IPIVCT(3),DUMM(3),HZ(3000,6)
COMMON/HZ/ HZ
EX4=0.00
EX3=0.00
EX2=0.00
EX1=0.00
EX2Z=0.00
EXZ=0.00
EZ=0.00
DO 10 I=INIT,FIN
EX4=EX4+HZ(I,3)**4
EX3=EX3+HZ(I,3)**3
EX2=EX2+HZ(I,3)**2
EX1=EX1+HZ(I,3)
EX2Z=EX2Z+(HZ(I,3)**2)*HZ(I,4)
EXZ=EXZ+HZ(I,3)*HZ(I,4)
EZ=EZ+HZ(I,4)
10 CONTINUE
A(1,1)=EX4
A(1,2)=EX3
A(1,3)=EX2
A(2,1)=EX3
A(2,2)=EX2
A(2,3)=EX1
A(3,1)=EX2
A(3,2)=EX1
A(3,3)=4
B(1,1)=EX2Z
B(2,1)=EXZ
B(3,1)=EZ
CALL INVERSE(A,AA,3,IPIVCT,DUMM,AINV)
CALL MULT(AINV,3,3,B,1,C)
RETURN
END
```

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
	INVERSE		MULT

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C001 SUBROUTINE INVERSE(A,AA,N,IPIVOT,DUMM,AINV)
C002
C003 C
C004 C-----
C005 C   CALCUL DE L'INVERSE D'UNE MATRICE
C006 C-----
C007 C
C008 C   THEORIE : "ELEMENTARY NUMERICAL ANALYSIS :
C009 C             AN ALGORITHMIC APPROACH."
C010 C   AUTEURS : CONTE AND DE BOOR
C011 C
C012 C   CHAPITRE 4.4, PAGE 167
C013 C
C014 C
C015 C   PARAMETRES D'ENTREE :
C016 C       A : MATRICE A INVERSEE
C017 C       N : ORDRE DE LA MATRICE A
C018 C
C019 C   PARAMETRE DE SORTIE :
C020 C
C021 C       AINV : INVERSE DE LA MATRICE A
C022 C
C023 C
C024 C   SOUS-PROGRAMMES APPELES : - FACTOR
C025 C                             - SUBST
C026 C
C027 C
C028 C
C029 C   IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C030 C   DIMENSION A(N,N), AINV(N,N), DUMM(N), AA(N,N), IPIVOT(N)
C031 C
C032 C   DO 60 I=1,N
C033 C     DO 70 J=1,N
C034 C       AA(I,J)=A(I,J)
C035 C     CONTINUE
C036 C   CONTINUE
C037 C
C038 C   CALL FACTOR (AA,N,IPIVOT,IPLAG,DUMM)
C039 C   IF (IPLAG.EQ.0) THEN
C040 C     WRITE(6,10)
C041 C     FORMAT(//,3X,'MATRICE SINGULIERE',//)
C042 C     GO TO 50
C043 C   END IF
C044 C
C045 C
C046 C   CALL SUBST(AA,IPIVOT,N,DUMM,AINV)
C047 C
C048 C
C049 C   PRINT 20
C050 C20  FORMAT(//,'INVERSE DE LA MATRICE',//)
C051 C   DO 30 I=1,N
C052 C     PRINT 15(AINV(I,J),J=1,N)
C053 C15  FORMAT(F15.6)
C054 C30  CONTINUE
C055 C
C056 C
C057 C50  RETURN

```

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
	FACTOR		SUBST

18-APR-198
18-APR-198

```

0001      SUBROUTINE FACTOR(W,N,IPIVCT,IFLAG,D)
0002      C
0003      C-----
0004      C FACTORISATION (LU) D'UNE MATRICE
0005      C-----
0006      C
0007      C THEORIE : "ELEMENTARY NUMERICAL ANALYSIS :
0008      C             AN ALGORITHMIC APPROACH."
0009      C AUTEURS : COLLE AND DE BOER
0010      C
0011      C CHAPITRE 4.4 PAGES 165-166
0012      C
0013      C PARAMETRE D'ENTREE:
0014      C
0015      C   W : MATRICE D'ORDRE N CONTENANT LA MATRICE A
0016      C       D'ORDRE N, A FACTORISER.
0017      C
0018      C PARAMETRE DE SORTIE:
0019      C
0020      C   W : MATRICE DE DIMENSION (N,N) CONTENANT LA FACTORISATION
0021      C       LU DE P*A POUR UNE MATRICE DE PERMUTATION P SPECIFIEE
0022      C       PAR IPIVCT.
0023      C
0024      C   IPIVCT : VECTEUR ENTIER DE LONGUEUR N INDICANT QUE
0025      C       LA LIGNE IPIVCT(K) A ETE UTILISE POUR ELIMINER
0026      C       X(K), K=1...N
0027      C
0028      C   IFLAG : UN ENTIER ;
0029      C           = 1 S'IL Y A EU UN NOMBRE PAIR DE PERMUTATIONS
0030      C             DE LIGNES.
0031      C           = -1 S'IL Y A EU UN NOMBRE IMPAIR DE
0032      C             PERMUTATIONS DE LIGNES.
0033      C           = 0 SI UN OU PLUSIEURS ELEMENTS DE LA MATRICE
0034      C             TRIANGULAIRE SUPERIEURE EST ZERO.
0035      C
0036      C
0037      C   DET A = IFLAG * W(1,1)...*W(N,N)
0038      C
0039      C   SI IFLAG.EQ.0 ---> MATRICE SINGULIERE
0040      C   SINON, ON PEUT RESOUDRE LE SYSTEME A*X=B
0041      C
0042      C
0043      C   IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
0044      C   DIMENSION D(N), W(N,N), IPIVCT(N)
0045      C   IFLAG = 1
0046      C
0047      C   INITIALISATION DE IPIVCT ET DE D
0048      C
0049      C
0050      C   DO 10 I=1,N
0051      C     IPIVCT(I)=I
0052      C     ROWMAX=0.D0
0053      C     DO 5 J=1,N
0054      C       ROWMAX=DMAX1(ROWMAX,ABS(W(I,J)))
0055      C     CONTINUE
0056      C   IF(ROWMAX.EQ.0.D0) THEN
0057      C     IFLAG=0
0058      C     ROWMAX=1.D0

```

```

0043 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
0044 DIMENSION D(N), W(N,N), IPIVOT(N)
0045 IFLAG = 1
0046
0047 C C C C
0048 INITIALISATION DE IPIVOT ET D
0049 DO 10 I=1,N
0050 IPIVOT(I)=1
0051 ROWMAX=C.DO
0052 DO 5 J=1,N
0053 ROWMAX=DMAX1(ROWMAX,ABS(W(I,J)))
0054 CONTINUE
0055 IF(ROWMAX.EC.C.DO) THEN
0056 IFLAG=0
0057 ROWMAX=1.DO

```

FACTOR

16-APR-198
18-APR-198

```

0058 END IF
0059 D(I)=ROWMAX
0060 CONTINUE
0061 10 C C
0062 IF (N.LE.1) RETURN
0063 C C C C
0064 FACTORISATION
0065 DO 60 K=1,N-1
0066 C C C C
0067 DETERMINATION DE LA LIGNE SERVANT DE PIVOT
0068 COLMAX=ABS(W(K,K))/D(K)
0069 ISTAR=K
0070 DO 20 I=K+1,N
0071 AWIKCD=ABS(W(I,K)/D(I))
0072 IF (AWIKCD.GT.COLMAX) THEN
0073 COLMAX=AWIKCD
0074 ISTAR=I
0075 END IF
0076 CONTINUE
0077 20 C C
0078 IF (COLMAX.EC.C.DO) THEN
0079 IFLAG=0
0080 ELSE
0081 IF (ISTAR.GT.K) THEN
0082 C C C C
0083 LA LIGNE K DEVIENT LA LIGNE DE PIVOT
0084 IFLAG=-IFLAG
0085 I=IPIVOT(ISTAR)
0086 IPIVOT(ISTAR)=IPIVOT(K)
0087 IPIVOT(K)=I
0088 TEMP=D(ISTAR)
0089 D(ISTAR)=D(K)
0090 D(K)=TEMP
0091 DO 30 J=1,N
0092 TEMP=W(ISTAR,J)
0093 W(ISTAR,J)=W(K,J)
0094 W(K,J)=TEMP
0095 CONTINUE
0096 END IF
0097 30 C C
0098 ELIMINATION DE X(K) DES LIGNES K+1,...N
0099 DO 40 I=K+1,N
0100 W(I,K)=W(I,K)/W(K,K)
0101 RATIO=W(I,K)
0102 DO 50 J=K+1,N
0103 W(I,J)=W(I,J)-RATIO*W(K,J)
0104 CONTINUE
0105 50 CONTINUE
0106 END IF
0107
0108
0109
0110
0111
0112
0113
0114

```


AF-000000142 R*8 D
 AF-000000002 I*4 IPIVOT
 AF-000000042 R*8 W

** (*)
 ** (*)
 ** (* , *)

LABELS

ADDRESS	LABEL	ADDRESS	LABEL	ADDRESS	LABEL	ADDRESS	LABEL
0-000000A3	5	0-000000B0	10	0-00000147	20	0-00000000	
C-C000027F	80						

18-APR-1981
 18-APR-1981

```

0001 SUBROUTINE SUBST(W,IPIVOT,N,,WINV)
0002
0003
0004 -----
0005 -----
0006
0007 THEORIE : "ELEMENTARY NUMERICAL ANALYSIS :
0008           AN ALGORITHMIC APPROACH."
0009 AUTEURS : CONTE AND DE BOOR
0010
0011 ALGORITHME 4.4, PAGES 183-184
0012
0013 METHODE :
0014 -----
0015 LA FACTORISATION DE A CONTIENUE DANS W ET DANS IPIVOT
0016 EST UTILISEE POUR RESOUDRE A*X=B
0017 (DEUX SYSTEMES TRIANGULAIRES A RESOUDRE)
0018
0019
0020 PARAMETRES D'ENTREE:
0021
0022 W,IPIVOT,N : PROVIENNENT DE L'OUTPUT DE FACTOR
0023
0024 PARAMETRE DE SORTIE:
0025
0026 WINV : L'INVERSE DE W
0027
0028
0029 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
0030 DIMENSION W(N,N),WINV(N,N),L(1),IPIVOT(N)
0031 IF (N.EQ.1) THEN
0032   WINV(1,1)=1.00/W(1,1)
0033   GO TO 50
0034 END IF
0035
0036
0037 DO 5 K=1,N
0038   B(K)=0.00
0039 CONTINUE
0040
0041 DO 10 K=1,N
0042   B(K)=1.00
0043   IP=IPIVOT(K)
0044   WINV(1,K)=B(IP)
0045   DO 15 I=2,N
0046     SUM=0.00
0047     DO 20 J=1,I-1
0048       SUM=W(I,J)*WINV(J,K)+SUM
0049     CONTINUE
0050     IP=IPIVOT(I)
0051     WINV(I,K)=B(IP)-SUM
0052   CCNTINUE
0053
0054
0055 WINV(N,K)=WINV(N,K)/W(N,N)
0056 DO 30 I=N-1,1,-1
0057   SUM=0.00
  
```

```

0043      B(K)=1.00
0044      IP=IPIVOT(1)
0045      WINV(1,K)=B(IP)
0046      DC 15 I=2,N
0047      SUM=0.00
0048      DO 20 J=1,I-1
0049      SUM=W(I,J)*WINV(J,K)+SUM
0050      CONTINUE
0051      IP=IPIVOT(I)
0052      WINV(I,K)=B(IP)-SUM
0053      CONTINUE
0054      C
0055      WINV(N,K)=WINV(N,K)/W(N,I)
0056      DC 30 I=N-1,1,-1
0057      SUM=0.00

```

SUBST

16-APR-1988
16-APR-1988

```

0058      DO 40 J=I+1,N
0059      SUM=W(I,J)*WINV(J,K)+SUM
0060      CONTINUE
0061      WINV(I,K)=(WINV(I,K)-SUM)/W(I,I)
0062      CONTINUE
0063      B(K)=C.00
0064      CONTINUE
0065      C
0066      C
0067      C
0068      50 RETURN
0069      END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
C \$CODE	503	PIC CON REL LCL SHR EXI
2 \$LOCAL	228	PIC CON REL LCL NC SHR NOEXI
TOTAL SPACE ALLOCATED	731	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-C0C00000		SUBST

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
2-C0C00018	I*4	I	2-00000014	I*4	IP	2-000000
AF-C0C0000C@	I*4	N	2-00000000	R*8	SUM	

ARRAYS

ADDRESS	TYPE	NAME	BYTES	DIMENSIONS
AF-C0C00010@	R*8	B	**	(*)
AF-C0C0000@	I*4	IPIVOT	**	(*)
AF-C0C00004@	R*8	W	**	(*,*)
AF-C0C00014@	R*8	WINV	**	(*,*)

LABELS

ADDRESS	LABEL	ADDRESS	LABEL	ADDRESS	LABEL	ADDRESS
C-C0C0009F	5	C-C0C001EE	10	C-C0C0014B	15	0-000000
C-C0C001F6	50					

ADDRESS	TYPE	NAME	BYTES	DIMENSIONS
AP-00000010a	R*8	B	**	(*)
AP-00000008a	I*4	PIVOT	**	(*)
AP-00000004a	R*8	W	**	(*, *)
AP-00000014a	R*8	WINV	**	(*, *)

LABELS

ADDRESS	LABEL	ADDRESS	LABEL	ADDRESS	LABEL	ADDR
C-0000009F	5	C-000001E9	10	C-00000149	15	0-0000
C-000001F6	50					

18-APR-198
18-APR-198

```

C001          SUBROUTINE MULT(A,N,M,B,L,C)
C002          C
C003          C-----
C004          C MULTIPLICATION DE DEUX MATRICES
C005          C-----
C006          C
C007          C PARAMETRES D'ENTREES:
C008          C
C009          C     A : UNE MATRICE DE DIMENSION (N,M)
C010          C     B : UNE MATRICE DE DIMENSION (M,L)
C011          C
C012          C PARAMETRE DE SORTIE:
C013          C
C014          C     C = A * B; DE DIMENSION (N,L)
C015          C
C016          C
C017          C IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C018          C DIMENSION A(N,M),B(M,L),C(N,L)
C019          C DO 10 I=1,N
C020          C   DO 20 J=1,L
C021          C     C(I,J)=0.0C
C022          C   DO 30 K=1,M
C023          C     C(I,J)=C(I,J)+A(I,K)*B(K,J)
C024          C   CONTINUE
C025          C CONTINUE
C026          C CONTINUE
C027          C
C028          C
C029          C RETURN
C030          C

```

18-APR-1988
18-APR-1988

```
C001
C002 C*****
C003
C004 SUBROUTINE NUMERIALT (XR,YR,ALTR)
C005
C006 C
C007 C PARAMETRES D'ENTREE:
C008 C X:COORDONNEE LOCALE X DU POINT CONSIDERE
C009 C Y:COORDONNEE LOCALE Y DU POINT CONSIDERE
C010 C
C011 C PARAMETRE DE SORTIE:
C012 C ALTR:ALTITUDE DU POINT
C013
C014 IMPLICIT REAL*8 (B-H,L-Z)
C015 DIMENSION NX(4),NY(4),D(4),P(4),ALT(4)
C016 COMMON/NUM/INFC_ALTI(421,14)
C017
C018 X=XR/1.500
C019 Y=YR/1.500
C020
C021 C DETERMINATION DES COORDONNEES DES NOEUDS CONCERNES
C022 IF(INT(Y).EQ.12) THEN
C023 NX(1)=INT(X)
C024 NY(1)=INT(Y)
C025 NX(2)=NX(1)
C026 NY(2)=NY(1)-1.00
C027 NX(3)=NX(1)+1.00
C028 NY(3)=NY(1)-1.00
C029 NX(4)=NX(1)+1.00
C030 NY(4)=NY(1)
C031 ELSE
C032 NX(1)=INT(X)
C033 NY(1)=INT(Y)
C034 NX(2)=NX(1)
C035 NY(2)=NY(1)+1.00
C036 NX(3)=NX(1)+1.00
C037 NY(3)=NY(1)+1.00
C038 NX(4)=NX(1)+1.00
C039 NY(4)=NY(1)
C040 END IF
C041
C042 C IDENTIFICATION DES ALTITUDES AUX NOEUDS
C043 DO 30 I=1,4
C044 NX(I)=NX(I)+1.00
C045 NY(I)=NY(I)+1.00
C046 ALT(I)=INFO_ALTI(INT(NX(I)),INT(NY(I)))
C047 30 CONTINUE
C048
C049 C CALCUL DES DISTANCES ENTRE LES NOEUDS
C050 C ET LE POINT CONCERNE
C051 DO 40 I=1,4
C052 D(I)=DSQRT(((X+1.00-NX(I))**2)+((Y+1.00-NY(I))**2))
C053 40 CONTINUE
C054
C055 C CALCUL DES PCIDS
C056 DO 50 I=1,4
C057 IF(D(I).EQ.C.DO) GOTO 2000
```


13-APR-1988
18-APR-1988

```
0001 C*****
0002 C****
0003 C****
0004 C****
0005 C*****
0006 C****
0007 C****
0008 C****
0009 C****
0010 C****
0011 C****
0012 C****
0013 C****
0014 C****
0015 C****
0016 C****
0017 C****
0018 C****
0019 C*****
0020
0021 SUBROUTINE DIGITA(STATION,L)
0022
0023 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
0024 INTEGER UL1, UL2, UI, COLLP, STATION
0025 DIMENSION BORNE(100,7), COLSP(100,7), CODAGE(3000,5)
0026 CHARACTER*6 A(6)
0027 COMMON/CCB/ CODAGE
0028 COMMON/ISTAT/ ISTAT
0029 A(1)='F3.DAT'
0030 A(2)='F3.DAT'
0031 A(3)='F1.DAT'
0032 A(4)='F3.DAT'
0033 A(5)='F4.DAT'
0034 A(6)='F2.DAT'
0035 C
0036 C
0037 C
0038 C
0039 C
0040 C
0041 C
0042
0043 IF(STATION.EC.1) THEN
0044
0045 DO 10 K=1,3
0046 OPEN( UNIT=UL1, NAME=A(K), TYPE='OLD')
0047 OPEN( UNIT=UL2, NAME='CG2.DAT', TYPE='OLD')
0048 L=0
0049
0050 C
0051 C
0052 C
0053 C
0054 C
0055 C
0056 C
0057 C
```

SOUS-PROGRAMME DIGIT

BUT: NUMERISER UNE CARTE THEMATIQUE A L'AIDE D'UNE
----- PROCEDURE DE LOCALISATION PAR BORNES

PARAMETRE D'ENTREE:

STATION: IC. DE LA STATION SYMETRIQUE (CARIBOU=1, FOX-HARBOUR)

PARAMETRE DE SORTIE:

CODAGE: MATRICE DES CODES POUR LES DONNEES GEO-ELECTRIQUES
L: NOMBRE DE LIGNES DE LA MATRICE CODAGE

UNITES D'ENTREE-SORTIE

UL1=10
UL2=11
UI=12

INITIALISATION DU PAS D'INCREMENT (DISTANCE ENTRE 2

NOMBRE MAXIMUM DE BORNES

```

0043 IF( STATION.EC.1) THEN
0044
0045 DC 10 K=1,3
0046 OPEN( UNIT=UL1, NAME=A(K), TYPE='OLD')
0047 OPEN( UNIT=UL2, NAME='CG2.DAT', TYPE='OLD')
0048 L=0
0049
0050 C
0051 C
0052 C
0053 C
0054 C
0055 C
0056 C
0057 C

```

INITIALISATION DU PAS D'INCREMENT (DISTANCE ENTRE 2 LIGNES)

PINC=3.0

NCMBRE MAXIMUM DE BORNES

DIGITA

18-APR-198
18-APR-198

```

0058 NMAX=100
0059 C
0060 C
0061 C
0062 I=1
0063 100 READ(UL1,*,END=200) (BORNE(I,J), J=1,7), (CCLR(I,J), J=1,7)
0064 I=I+1
0065 GOTO 100
0066 C
0067 C
0068 C
0069 200 READ(UL2,*,END=2000) X, Y
0070 INC=INT(Y/PINC)+1
0071 L=L+1
0072
0073 C
0074 C
0075 C
0076 I=1
0077 300 IF(X.LE.BORNE(I,IND)) THEN
0078 CODAGE(L,1)=X
0079 CODAGE(L,2)=Y
0080 CODAGE(L,K+2)=CCLR(I,IND)
0081 ELSE
0082 I=I+1
0083 IF(I.GT.NMAX) STOP ' CODAGE IMPOSSIBLE'
0084 GOTO 300
0085 ENJIN
0086 C
0087 C
0088 C
0089 C
0090 GOTO 200
0091 2000 CLOSE(UL1)
0092 CLOSE(UL2)
0093 10 CONTINUE
0094 C
0095 C
0096 C
0097 C
0098 ECRITURE DANS LE FICHIER OUTPUT
0099 C
0100 OPEN( UNIT=UI, NAME='CG3.DAT', TYPE='NEW')
0101 DC 50 I=1,L
0102 WRITE(UI,1000) (CODAGE(I,J),J=1,5)
0103 CONTINUE
0104 50 CLOSE(UI)
0105 1000 FORMAT(7(F16.8,1X))
0106 ELSE
0107 DC 20 K=4,6
0108 OPEN( UNIT=UL1, NAME=A(K), TYPE='OLD')
0109 OPEN( UNIT=UL2, NAME='CG2.DAT', TYPE='OLD')
0110 L=0
0111 C
0112 C
0113 C
0114 C

```

INITIALISATION DU PAS D'INCREMENT (DISTANCE ENTRE 2 LIGNES)

PINC=3.0

```

C104
C105 DC 20 K=4,6
C106 OP=NC( UNIT=UL1, NAME=A(K), TYPE='OLD')
C107 OP=NC( UNIT=UL2, NAME='CGG.DAT', TYPE='OLD')
C108 L=0
C109

```

```

C110 C
C111 C
C112 C INITIALISATION DU PAS D'INCREMENT (DISTANCE ENTRE 2 LIGNES)
C113 C -----
C114 C PINC=3.0

```

DIGITA

17-APR-198
18-APR-198

```

C115 C
C116 C NOMBRE MAXIMUM DE BERNES
C117 C -----
C118 C NMAX=100
C119 C
C120 C LECTURE DES CARACTERISTIQUES D'UNE BANDE
C121 C -----
C122 C I=1
C123 400 READ(UL1,*,END=500) (BERNE(I,J), J=1,7), (CCLR(I,J), J=1,7)
C124 C I=I+1
C125 C GOTO 400
C126 C
C127 C CODAGE D'UN NOEUD
C128 C -----
C129 500 READ(UL2,*,END=600) X, Y
C130 C IND=INT(Y/PINC)+1
C131 C L=L+1
C132 C
C133 C
C134 C CODAGE D'UN NOEUD
C135 C -----
C136 C I=1
C137 600 IF(X.LE.BERNE(I,IND)) THEN
C138 C   CODAGE(L,1)=X
C139 C   CODAGE(L,2)=Y
C140 C   CODAGE(L,K-1)=CCLR(I,IND)
C141 C ELSE
C142 C   I=I+1
C143 C   IF(I.GT.NMAX) STOP ' CODAGE IMPOSSIBLE '
C144 C   GOTO 600
C145 C ENDIF
C146 C
C147 C LECTURE D'UN AUTRE NOEUD
C148 C -----
C149 C GOTO 500
C150 C
C151 3000 CLOSE(UL1)
C152 C CLOSE(UL2)
C153 20 CONTINUE
C154 C
C155 C ECRITURE DANS LE FICHIER OUTPUT
C156 C -----
C157 C OPEN( UNIT=UI, NAME='CGG.DAT', TYPE='NEW')
C158 DC 60 I=1,L
C159 C WRITE(UI,1000) (CODAGE(I,J),J=1,5)
C160 60 CONTINUE
C161 C CLOSE(UI)
C162 C ENDIF
C163 C
C164 C
C165 C FIN DU PROGRAMME
C166 C -----
C167 C RETURN
C168 C END

```

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
	FOR\$CLOSE		FOR\$OPEN

18-APR-198
18-APR-198

```

C0001 C*****
C0002 C
C0003 C      SOUS-PROGRAMME POUR EFFECTUER LE TRANSFERT
C0004 C      DE L'INFORMATION GEO-ELECTRIQUE EN FONCTION
C0005 C      DU CODAGE
C0006 C
C0007 C
C0008 C      SUBROUTINE GEGELEC(IL)
C0009 C
C0010 C
C0011 C      PARAMETRES D'ENTREE:
C0012 C      CODAGE:MATRICE DES CODAGE POUR LES DONNEES GEO-ELECTRIQUES
C0013 C      IL:NBRE DE LIGNES DE LA MATRICE CODAGE
C0014 C
C0015 C      PARAMETRE DE SORTIE:
C0016 C      MAT:MATRICE DES CONSTANTES GEO-ELECTRIQUES
C0017 C
C0018 C      IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C0019 C      INTEGER*4 I,J,IL
C0020 C      DIMENSION CODAGE(3000,5),MAT(3000,10)
C0021 C      COMMON/COD/ CODAGE
C0022 C      COMMON/GEQ/ MAT
C0023 C
C0024 C      DO 20 I=1,IL
C0025 C          J=3
C0026 C          MAT(I,1)=CODAGE(I,1)
C0027 C          MAT(I,2)=CODAGE(I,2)
C0028 C          IF(CODAGE(I,J).EQ.8.00) THEN
C0029 C              MAT(I,3)=0.000200
C0030 C              MAT(I,4)=6.1100
C0031 C          ENDIF
C0032 C          IF(CODAGE(I,J).EQ.9.00) THEN
C0033 C              MAT(I,3)=0.0002500
C0034 C              MAT(I,4)=10.900
C0035 C          ENDIF
C0036 C          IF(CODAGE(I,J).EQ.10.00) THEN
C0037 C              MAT(I,3)=0.00062500
C0038 C              MAT(I,4)=10.300
C0039 C          ENDIF
C0040 C          IF(CODAGE(I,J).EQ.11.00) THEN
C0041 C              MAT(I,3)=0.00027700
C0042 C              MAT(I,4)=9.000
C0043 C          ENDIF
C0044 C          IF(CODAGE(I,J).EQ.12.00) THEN
C0045 C              MAT(I,3)=0.00014705900
C0046 C              MAT(I,4)=8.500
C0047 C          ENDIF
C0048 C          IF(CODAGE(I,J).EQ.13.00) THEN
C0049 C              MAT(I,3)=0.00062500
C0050 C              MAT(I,4)=8.5600
C0051 C          ENDIF
C0052 C          IF(CODAGE(I,J).EQ.14.00) THEN
C0053 C              MAT(I,3)=0.00071428000
C0054 C              MAT(I,4)=9.000
C0055 C          ENDIF
C0056 C          IF(CODAGE(I,J).EQ.15.00) THEN
C0057 C              MAT(I,3)=0.0002500

```



```

0043      ENDIF
0044      IF (CODAGE(I,J).EQ.12.00) THEN
0045          MAT(I,3)=0.00014705900
0046          MAT(I,4)=8.500
0047      ENDIF
0048      IF (CODAGE(I,J).EQ.13.00) THEN
0049          MAT(I,3)=0.00062500
0050          MAT(I,4)=8.5600
0051      ENDIF
0052      IF (CODAGE(I,J).EQ.14.00) THEN
0053          MAT(I,3)=0.00071428500
0054          MAT(I,4)=8.000
0055      ENDIF
0056      IF (CODAGE(I,J).EQ.15.00) THEN
0057          MAT(I,3)=0.0002500

```

GECELEC

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0058          MAT(I,4)=4.400
0059      ENDIF
0060      IF (CODAGE(I,J).EQ.16.00) THEN
0061          MAT(I,3)=0.002857100
0062          MAT(I,4)=3.100
0063      ENDIF
0064      IF (CODAGE(I,J).EQ.17.00) THEN
0065          MAT(I,3)=0.003424000
0066          MAT(I,4)=8.3600
0067      ENDIF
0068      IF (CODAGE(I,J).EQ.18.00) THEN
0069          MAT(I,3)=0.00613400
0070          MAT(I,4)=45.000
0071      ENDIF
0072      IF (CODAGE(I,J).EQ.19.00) THEN
0073          MAT(I,3)=0.0028571400
0074          MAT(I,4)=6.000
0075      ENDIF
0076      IF (CODAGE(I,J).EQ.1.00) THEN
0077          MAT(I,3)=0.000
0078          MAT(I,4)=0.000
0079      ENDIF
0080      J=4
0081      IF (CODAGE(I,J).EQ.2.00) THEN
0082          MAT(I,5)=20.000
0083          MAT(I,6)=MAT(I,3)
0084          MAT(I,7)=MAT(I,4)
0085      ENDIF
0086      IF (CODAGE(I,J).EQ.20.00) THEN
0087          MAT(I,5)=2.000
0088          MAT(I,6)=0.00012500
0089          MAT(I,7)=2.6500
0090      ENDIF
0091      IF (CODAGE(I,J).EQ.21.00) THEN
0092          MAT(I,5)=3.000
0093          MAT(I,6)=0.00200
0094          MAT(I,7)=2.6500
0095      ENDIF
0096      IF (CODAGE(I,J).EQ.22.00) THEN
0097          MAT(I,5)=20.000
0098          MAT(I,6)=0.007692300
0099          MAT(I,7)=2.7900
0100      ENDIF
0101      IF (CODAGE(I,J).EQ.23.00) THEN
0102          MAT(I,5)=8.000
0103          MAT(I,6)=0.007692300
0104          MAT(I,7)=2.6500
0105      ENDIF
0106      IF (CODAGE(I,J).EQ.1.00) THEN
0107          MAT(I,5)=0.000
0108          MAT(I,6)=0.000
0109          MAT(I,7)=0.000
0110      ENDIF
0111      J=5
0112      IF (CODAGE(I,J).EQ.2.00) THEN
0113          MAT(I,8)=1.000
0114          MAT(I,9)=MAT(I,6)

```

```

0099      MAT(I,7)=2.87900
0100      ENDIF
0101      IF(CODAGE(I,J).EQ.23.00) THEN
0102          MAT(I,5)=8.000
0103          MAT(I,6)=0.007692300
0104          MAT(I,7)=2.6500
0105      ENDIF
0106      IF(CODAGE(I,J).EQ.1.00) THEN
0107          MAT(I,5)=0.000
0108          MAT(I,6)=0.000
0109          MAT(I,7)=0.000
0110      ENDIF
0111      J=5
0112      IF(CODAGE(I,J).EQ.2.00) THEN
0113          MAT(I,8)=1.000
0114          MAT(I,9)=MAT(I,6)

```

GECELEC

18-APR-1988
15-APR-1988

```

0115          MAT(I,10)=MAT(I,7)
0116      ENDIF
0117      IF(CODAGE(I,J).EQ.3.00) THEN
0118          MAT(I,8)=1.000
0119          MAT(I,9)=0.00100
0120          MAT(I,10)=34.00
0121      ENDIF
0122      IF(CODAGE(I,J).EQ.4.00) THEN
0123          MAT(I,8)=1.000
0124          MAT(I,9)=0.100
0125          MAT(I,10)=20.00
0126      ENDIF
0127      IF(CODAGE(I,J).EQ.5.00) THEN
0128          MAT(I,8)=1.000
0129          MAT(I,9)=0.0100
0130          MAT(I,10)=13.00
0131      ENDIF
0132      IF(CODAGE(I,J).EQ.6.00) THEN
0133          MAT(I,8)=1.000
0134          MAT(I,9)=0.01500
0135          MAT(I,10)=17.00
0136      ENDIF
0137      IF(CODAGE(I,J).EQ.7.00) THEN
0138          MAT(I,8)=1.000
0139          MAT(I,9)=0.00100
0140          MAT(I,10)=4.00
0141      ENDIF
0142      IF(CODAGE(I,J).EQ.1.00) THEN
0143          MAT(I,8)=0.000
0144          MAT(I,9)=0.000
0145          MAT(I,10)=0.00
0146      ENDIF
0147      CONTINUE
0148      RETURN
0149      END

```

20

13-APR-1988
18-APR-1988

```

C0001 C*****
C0002 C
C0003 C      SOUS-PROGRAMME QUI CALCUL L'IMPEDANCE A L'AIDE D'UNE
C0004 C      SOLUTION UTILISANT TROIS COEFFICIENTS GEOLOGIQUES
C0005 C
C0006 C
C0007 C      SUBROUTINE BCLNCOMPLEX(I,MODULE,MPHASE,XIMP)
C0008 C
C0009 C
C0010 C      PARAMETRES D'ENTREE:
C0011 C      GEC:MATRICE DES CONSTANTES GEC-ELECTRIQUES
C0012 C      HZ:MATRICE DES ALTITUDES
C0013 C      I:COMPTEUR
C0014 C
C0015 C      PARAMETRE DE SORTIE:
C0016 C      CIMP:IMPEDANCE COMPLEXE
C0017 C
C0018 C      IMPLICIT COMPLEX*16 (A-G,O-Z)
C0019 C      REAL*8 SG(3),W(3),MODULE,MPHASE,GEC(3000,10),HZ(3000,6)
C0020 C      REAL*8 PA,PB,PE2,PE,PI,FLA,EPRIME
C0021 C      REAL*8 CMUC,EPS1,OMEGA,CVL,CK1,DIS
C0022 C      REAL*8 SINPHI,COSPHI
C0023 C      COMPLEX*16 A(6,6),E(6,1),X(6,1),AINV(6,6),AA(6,6),
C0024 C      + DELTA(6),E(3),DUMM(6),AT(6,6),ATA(3,6),ATP(6,1)
C0025 C      DIMENSION IPIVCT(6)
C0026 C      COMMON/HZ/ HZ
C0027 C      COMMON/GEC/ GEC
C0028 C      COMMON/CONST5/ PA,PL,PE2,PE,PI,FLA,EPRIME
C0029 C      COMMON/CONST4/ CMUC,EPS1,OMEGA,CVL,CK1,DIS
C0030 C
C0031 C
C0032 C
C0033 C      CI=UCOMPLX(0.00,1.00)
C0034 C      EU=3.3540-12
C0035 C      E(1)=GEC(I,10)
C0036 C      E(2)=GEC(I,7)
C0037 C      E(3)=GEC(I,4)
C0038 C      SG(1)=GEC(I,9)
C0039 C      SG(2)=GEC(I,6)
C0040 C      SG(3)=GEC(I,3)
C0041 C      W(1)=GEC(I,8)
C0042 C      W(2)=GEC(I,5)
C0043 C      COSPHI=HZ(I,6)
C0044 C      SINPHI=DSQRT(1-COSPHI**2)
C0045 C      DO 10 J=1,3
C0046 C      DELTA(J)=E(J)-CI*SG(J)*(1.00/(EO*CMEGA))*(SINPHI**2)
C0047 C      CONTINUE
C0048 C      CALL SINITIAL((0.00,0.00),6,6,A)
C0049 C      A(1,1)=(-1.00)*COSPHI
C0050 C      A(1,2)=-1.00
C0051 C      A(1,3)=-1.00
C0052 C      A(2,1)=1.00
C0053 C      A(2,3)=(SINPHI**2)/DELTA(1)+DELTA(1)**2
C0054 C      A(2,2)=(-1.00)*A(2,3)
C0055 C      A(3,2)=CDEXP((-1.00)*CI*CK1*W(1)*DELTA(1))
C0056 C      A(3,3)=CDEXP(1.00*CI*CK1*W(1)*DELTA(1))
C0057 C      A(3,4)=-1.00

```

```

0043 COSPHI=HZ(I,6)
0044 SINPHI=DSQRT(1-CCSPHI**2)
0045 DD 10 J=1,3
0046 DELTA(J)=E(J)-CI*SG(J)*(1.0/(EO*OMEGA))*(SINPHI**2)
0047 10 CONTINUE
0048 CALL CINITIAL((0.00,0.00),6,6,A)
0049 A(1,1)=(-1.00)*CCSPHI
0050 A(1,2)=-1.00
0051 A(1,3)=-1.00
0052 A(2,1)=1.00
0053 A(2,3)=(SINPHI**2)/DELTA(1)+DELTA(1)**2
0054 A(2,2)=(-1.00)*A(2,3)
0055 A(3,2)=CDEXP((-1.00)*CI*CK1**A(1)*DELTA(1))
0056 A(3,3)=CDEXP(1.00*CI*CK1**A(1)*DELTA(1))
0057 A(3,4)=-1.00

```

EQLNCOMPLEX

16-APR-1988
16-APR-1988

```

0058 A(3,5)=-1.00
0059 A(4,2)=A(2,2)*A(3,2)
0060 A(4,3)=A(2,3)*A(3,3)
0061 A(4,4)=(SINPHI**2)/DELTA(2)+DELTA(2)**2
0062 A(4,5)=(-1.00)*A(4,4)
0063 A(5,4)=CDEXP((-1.00)*CI*CK1**A(2)*DELTA(2))
0064 A(5,5)=CDEXP(1.00*CI*CK1**A(2)*DELTA(2))
0065 A(5,6)=1.00
0066 A(6,4)=A(4,4)*A(5,4)
0067 A(6,5)=A(4,5)*A(5,5)
0068 A(6,6)=(SINPHI**2)/DELTA(3)+DELTA(3)**2
0069 CALL CINITIAL((0.00,0.00),6,6,A)
0070 B(1,1)=A(1,1)
0071 B(2,1)=A(1,2)
0072 CALL CTRANSPO(A,AT,6)
0073 CALL CMULT(AT,6,6,A,6,ATA)
0074 CALL CINVERSE(ATA,AA,6,IPIVOT,DUMX,AINV)
0075 CALL CMULT(AT,6,6,E,1,ATB)
0076 CALL CMULT(AINV,6,6,ATB,1,X)
0077 XIMP=(1.00-X(1,1))*(1.00/(1.00+X(1,1)))*COSPHI
0078 MODULE=COABS(XIMP)
0079 MPHASE=DATAN2(DIMAG(XIMP),DREAL(XIMP))
0080 RETURN
0081 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	1496	PIC CON REL LCL SHR NOE
1 \$PDATA	24	PIC CON REL LCL SHR NOE
2 \$LOCAL	3732	PIC CON REL LCL NO SHR NOE
3 HZ	144000	PIC OVR REL GBL SHR NOE
4 GEO	2+0000	PIC OVR REL GPL SHR NOE
5 CLNST5	56	PIC OVR REL GPL SHR NOE
6 CLNST4	48	PIC OVR REL GBL SHR NOE
TOTAL SPACE ALLOCATED	389356	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-C0000000		EQLNCOMPLEX

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
2-C00000A8	C#16	CI	6-00000020	R#8	CK1	6-000000
6-C0000018	R#8	CVL	6-00000028	R#8	DIS	2-000000
6-C0000008	R#8	EPS1	5-00000028	R#8	FLA	AP-000000

18-APR-1981
18-APR-1981

```
CO01 SUBROUTINE CINVERSE(A,AA,N,IPIVOT,DUMN,AINV)
CO02
CO03
CO04 -----
CO05 CALCUL DE L'INVERSE D'UNE MATRICE COMPLEXE
CO06 -----
CO07 THEORIE : "ELEMENTARY NUMERICAL ANALYSIS :
CO08 AN ALGORITHMIC APPROACH."
CO09 AUTEURS : CONTE AND DE BOOR
CO10
CO11 CHAPITRE 4.4, PAGE 167
CO12
CO13
CO14 PARAMETRES D'ENTREE :
CO15
CO16 A : MATRICE A INVERSEE
CO17 N : ORDRE DE LA MATRICE A
CO18
CO19 PARAMETRE DE SORTIE :
CO20
CO21 AINV : INVERSE DE LA MATRICE A
CO22
CO23
CO24 SOUS-PROGRAMMES APPELES : -CFACOR
CO25 -CSUBST
CO26
CO27
CO28 IMPLICIT COMPLEX*16(A-H,C-Z)
CO29 COMPLEX*16 A(N,N),AINV(N,N),DUMN(N),AA(N,N)
CO30 DIMENSION IPIVOT(N)
CO31
CO32 DO 60 I=1,N
CO33 DO 70 J=1,N
CO34 AA(I,J)=A(I,J)
CO35 70 CONTINUE
CO36 60 CONTINUE
CO37
CO38 CALL CFACOR(AA,N,IPIVOT,IFLAG,DUMN)
CO39 IF (IFLAG.EQ.0) THEN
CO40 WRITE(6,10)
CO41 10 FORMAT(//,3X,'MATRICE SINGULIERE',//)
CO42 GO TO 50
CO43 END IF
CO44
CO45
CO46 CALL CSUBST(AA,IPIVOT,N,DUMN,AINV)
CO47
CO48
CO49 50 RETURN
CO50 END
```

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
	CFACTOR		CSLUST

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C001      SUBROUTINE CFACTOR(W,N,IPIVOT,IFLAG,D)
C002
C003      -----
C004      FACTORISATION (LU) D'UNE MATRICE COMPLEXE
C005      -----
C006
C007      THEORIE : "ELEMENTARY NUMERICAL ANALYSIS :
C008                  AN ALGORITHMIC APPROACH."
C009      AUTEURS : CONTE AND DE BOER
C010
C011      CHAPITRE 4.4 PAGES 165-166
C012
C013      PARAMETRE D'ENTREE:
C014
C015          W : MATRICE D'ORDRE N CONTENANT LA MATRICE A
C016              D'ORDRE N, A FACTORISEE.
C017
C018      PARAMETRES DE SORTIE:
C019
C020
C021          W : MATRICE DE DIMENSION (N,N) CONTENANT LA FACTORISATION
C022              LU DE P* A POUR UNE MATRICE DE PERMUTATION P SPECIFIEE
C023              PAR IPIVOT.
C024
C025      IPIVOT : VECTEUR ENTIER DE LONGUEUR N INDICANT QUE
C026              LA LIGNE IPIVOT(K) A ETE UTILISE POUR ELIMINER
C027              X(K), K=1...N
C028
C029      IFLAG : UN ENTIER :
C030              = 1 S'IL Y A EU UN NOMBRE PAIR DE PERMUTATIONS
C031                  DE LIGNES.
C032              = -1 S'IL Y A EU UN NOMBRE IMPAIR DE
C033                  PERMUTATIONS DE LIGNES.
C034              = 0 SI UN OU PLUSIEURS ELEMENTS DE LA MATRICE
C035                  TRIANGULAIRE SUPERIEURE EST ZERO.
C036
C037
C038      DET A = IFLAG * W(1,1)...W(N,N)
C039
C040      SI IFLAG .EQ. 0 ---> MATRICE SINGULIERE
C041      SINON, ON PEUT RESOUDRE LE SYSTEME A*X=B
C042
C043
C044      IMPLICIT COMPLEX*16 (A-H,O-Z)
C045      COMPLEX*16 D(N),W(N,N),AWIKDC,COLMAX,RATIO,RCWMAX,TEMP
C046      DIMENSION IPIVOT(N)
C047      IFLAG = 1
C048
C049      C
C050      C
C051      INITIALISATION DE IPIVOT ET DE D
C052
C053      DO 10 I=1,N
C054          IPIVOT(I)=1
C055          RCWMAX=C.DO
C056          DO 5 J=1,N
C057              IF(CDABS(RCWMAX).LT.CDABS(W(I,J))) THEN
C058                  RCWMAX=W(I,J)
C059              END IF

```

```

0045 COMPLEX*16 DIM(N),W(K,N),AW(K),COLMAX,RATIO,RCWMAX,TEMP
0046 DIMENSION IPIVCT(N)
0047 IFLAG = 1
0048
0049 C
0050 C
0051 C INITIALISATION DE IPIVCT ET DE D
0052 DO 10 I=1,N
0053 IPIVCT(I)=1
0054 RCWMAX=0.DO
0055 DO 5 J=1,N
0056 IF (CDABS(RCWMAX).LT.CDABS(W(I,J))) THEN
0057 RCWMAX=W(I,J)
END IF

```

CFACTOR

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0058 5 CONTINUE
0059 IF ((CDREAL(RCWMAX).EQ.C.DO).AND.(DIMAS(RCWMAX).EQ.C.DO)) THEN
0060 IFLAG=0
0061 RCWMAX=1.DO
0062 END IF
0063 J(I)=RCWMAX
0064 10 CONTINUE
0065 C
0066 C
0067 IF (N.LE.1) RETURN
0068 C
0069 C
0070 C FACTORISATION
0071 C
0072 C
0073 DO 60 K=1,N-1
0074 C
0075 C DETERMINATION DE LA LIGNE SERVANT DE PIVOT
0076 C
0077 COLMAX=W(K,K)/D(K)
0078 ISTAR=K
0079 DO 20 I=K+1,N
0080 AWINCO=W(I,K)/D(I)
0081 IF (CDABS(AWIKCO).GT.CDABS(COLMAX)) THEN
0082 COLMAX=AWINCO
0083 ISTAR=I
0084 END IF
0085 20 CONTINUE
0086 C
0087 C
0088 IF ((CDREAL(COLMAX).EQ.C.DO).AND.(DIMAS(COLMAX).EQ.C.DO)) THEN
0089 IFLAG=0
0090 ELSE
0091 IF (ISTAR.GT.K) THEN
0092 C
0093 C LA LIGNE K DEVIENT LA LIGNE DE PIVOT
0094 C
0095 IFLAG=-IFLAG
0096 I=IPIVCT(ISTAR)
0097 IPIVCT(ISTAR)=IPIVCT(K)
0098 IPIVCT(K)=I
0099 TEMP=C(ISTAR)
0100 C(ISTAR)=C(K)
0101 D(K)=TEMP
0102 DO 30 J=1,N
0103 TEMP=W(ISTAR,J)
0104 W(ISTAR,J)=W(K,J)
0105 W(K,J)=TEMP
0106 30 CONTINUE
0107 END IF
0108 C
0109 C ELIMINATION DE X(K) DES LIGNES K+1,...,N
0110 C
0111 DO 40 I=K+1,N
0112 W(I,K)=W(I,K)/W(K,K)
0113 RATIO=W(I,K)
0114 DO 50 J=K+1,N

```

```

0100 ** D(ISTAR)=C(K)
0101 D(K)=TEMP
0102 DC 30 J=1,N
0103 TEMP=W(ISTAR,J)
0104 W(ISTAR,J)=W(K,J)
0105 W(K,J)=TEMP
0106 30 CONTINUE
0107 END IF
0108 C
0109 C C ELIMINATION DE X(K) DES LIGNES K+1,...,N
0110 C
0111 DC 40 I=K+1,N
0112 W(I,K)=W(I,K)/W(K,K)
0113 RATIO=W(I,K)
0114 DC 50 J=K+1,N

```

CFACTOR

18-APR-198
18-APR-198

```

0115 W(I,J)=W(I,J)-RATIO*W(K,J)
0116 50 CONTINUE
0117 40 CONTINUE
0118 END IF
0119 C
0120 C
0121 80 CONTINUE
0122 C
0123 IF((DREAL(W(N,N)).EQ.0.DC).AND.(DIMAG(W(N,N)).EQ.0.DC)) THEN
0124 IFLAG=0.DC
0125 END IF
0126 C
0127 C
0128 RETURN
0129 END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	1069	PIC CON REL LCL SHR E9
2 \$LOCAL	31	PIC CON REL LCL WLSHR NOE9
TOTAL SPACE ALLOCATED	1357	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-00000000		CFACTOR

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
2-00000000	C*16	ARIKOD	2-00000010	C*16	COLMAX	2-000000
2-00000068	I*4	ISTAR	2-00000058	I*4	J	2-000000
2-00000020	C*16	RATIO	2-00000050	C*16	ROWMAX	2-000000

ARRAYS

ADDRESS	TYPE	NAME	BYTES	DIMENSIONS
AP-000000140	C*16	D	**	(*)
AP-000000002	I*4	PIVOT	**	(*)
AP-000000042	C*16	W	**	(*,*)

18-APR-1988
18-APR-1988

```
CO01      SUBROUTINE CSUBST(W,IPIVOT,N,I,WINV)
CO02
CO03      C
CO04      -----
CO05      DESCENTE ET REMONTEE TRIANGULAIRE (SUBSTITUTION) EN COMPLEXE
CO06      -----
CO07      THEORIE : "ELEMENTARY NUMERICAL ANALYSIS :
CO08                  AN ALGORITHMIC APPROACH."
CO09      AUTEURS : CONTE AND DE BOOR
CO10
CO11      ALGORITHME 4.4, PAGES 183-184
CO12
CO13      METHODE :
CO14      -----
CO15      LA FACTORISATION DE A CONTENUE DANS W ET DANS IPIVOT
CO16      EST UTILISEE POUR RESOUDRE A*X=B
CO17      (DEUX SYSTEMES TRIANGULAIRES A RESOUDRE)
CO18
CO19
CO20      PARAMETRES D'ENTREE:
CO21
CO22      W,IPIVOT,N : PROVIENNENT DE L'OUTPUT DE FACTOR
CO23
CO24      PARAMETRE DE SORTIE:
CO25
CO26      WINV : L'INVERSE DE W
CO27
CO28      C
CO29      IMPLICIT COMPLEX*16 (A-H,D-Z)
CO30      COMPLEX*16 W(N,N),WINV(N,N),B(N)
CO31      DIMENSION IPIVOT(N)
CO32      IF (N.EQ.1) THEN
CO33         WINV(1,1)=1.00/W(1,1)
CO34         GO TO 30
CO35      END IF
CO36      C
CO37      C
CO38      DO 5 K=1,N
CO39         B(K)=0.00
CO40      CONTINUE
CO41      C
CO42      DO 10 K=1,N
CO43         B(K)=1.00
CO44         IP=IPIVOT(1)
CO45         WINV(1,K)=B(IP)
CO46         DO 15 I=2,N
CO47            SUM=0.00
CO48            DO 20 J=1,I-1
CO49               SUM=W(I,J)*WINV(J,K)+SUM
CO50            CONTINUE
CO51            IP=IPIVOT(I)
CO52            WINV(I,K)=B(IP)-SUM
CO53            CONTINUE
CO54      C
CO55      C
CO56      WINV(N,K)=WINV(N,K)/W(N,N)
CO57      DO 30 I=N-1,1,-1
```

```

0046      DC 15 I=2,N
0047      SUM=0.00
0048      DO 20 J=1,I-1
0049      SUM=W(I,J)*WINV(J,K)+SUM
0050      CONTINUE
0051      IP=IPIVOT(I)
0052      WINV(I,K)=(IP)-SUM
0053      CONTINUE
0054      C
0055      C
0056      WINV(K,K)=WINV(K,K)/W(I,I)
0057      DO 30 I=N-1,1,-1

```

CSUBST

16-APR-1988
13-APR-1988

```

0058      SUM=0.00
0059      DO 40 J=I+1,N
0060      SUM=W(I,J)*WINV(J,K)+SUM
0061      CONTINUE
0062      WINV(I,K)=(WINV(I,K)-SUM)/W(I,I)
0063      CONTINUE
0064      S(K)=0.00
0065      CONTINUE
0066      C
0067      C
0068      50 RETURN
0069      END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	320	PIC CON REL LCL SHR EXE
2 \$LOCAL	230	PIC CON REL LCL NC SHR NOEXE
TOTAL SPACE ALLOCATED	105	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-00000000		CSUBST

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
2-00000020	I*4	I	2-00000010	I*4	IP	
AF-00000000	I*4	N	2-00000000	C*16	SUM	2-00000000

ARRAYS

ADDRESS	TYPE	NAME	BYTES	DIMENSIONS
AF-00000010	C*16	WINV	**	(*)
AF-00000000	I*4	IPIVOT	**	(*)
AF-00000000	C*16	W	**	(*,*)
AF-00000014	C*16	WINV	**	(*,*)

18-APR-1988
18-APR-1988

```
CO01          SUBROUTINE CPOLY(A,N,M,B,L,C)
CO02          C
CO03          C
CO04          C-----
CO05          C MULTIPLICATION DE DEUX MATRICES COMPLEXES
CO06          C-----
CO07          C PARAMETRES D'ENTREE:
CO08          C
CO09          C   A : UNE MATRICE DE DIMENSION (N,K)
CO10          C   B : UNE MATRICE DE DIMENSION (M,L)
CO11          C
CO12          C PARAMETRE DE SORTIE:
CO13          C
CO14          C   C = A * B; DE DIMENSION (N,L)
CO15          C
CO16          C
CO17          C IMPLICIT COMPLEX*16 (A-H,O-Z)
CO18          C COMPLEX*16 A(N,K),B(M,L),C(N,L)
CO19          C DO 10 I=1,N
CO20          C   DO 20 J=1,L
CO21          C     C(I,J)=0.00
CO22          C     DO 30 K=1,M
CO23          C       C(I,J)=C(I,J)+A(I,K)*B(K,J)
CO24          C     CONTINUE
CO25          C   CONTINUE
CO26          C CONTINUE
CO27          C
CO28          C
CO29          C RETURN
CO30          C END
```

18-APR-1988
18-APR-1988

C001
C002
C003
C004
C005
C006
C007
C008
C009
C010
C011
C012
C013
C014
C015
C016
C017
C018
C019
C020
C021
C022
C023
C024
C025
C026
C027
C028
C029
C030

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
20
10
C
C

SUBROUTINE CINITIAL(SCAL,N,M,A)

INITIALISATION D'UNE MATRICE COMPLEXE

PARAMETRE D'ENTREE:
SCAL : VALEUR D'INITIALISATION
(N,M) : DIMENSION DE LA MATRICE A INITIALISER

PARAMETRE DE SORTIE:
A : LA MATRICE INITIALISEE

```
IMPLICIT COMPLEX*16 (A-H,O-Z)
COMPLEX*16 A(N,M)
REAL*8 SCAL
DO 10 I=1,N
  DO 20 J=1,M
    A(I,J)=SCAL
  CONTINUE
CONTINUE
```

RETURN
END

18-APR-1988
18-APR-1988

```

C001          SUBROUTINE CTRANSPO(A,AT,N)
C002          C
C003          C
C004          C      CREATION DE LA MATRICE CONJUGUEE TRANSPOSEE
C005          C
C006          C
C007          COMPLEX*16 A(N,N),AT(N,N)
C008          DO 20 I=1,N
C009             DO 10 J=1,N
C010                AT(J,I)=DCONJG(A(I,J))
C011             CONTINUE
C012          CONTINUE
C013          RETURN
C014          END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	144	PIC CON REL LCL SHR EXE
2 \$LOCAL	120	PIC CON REL LCL NC SHR NOEXE
TOTAL SPACE ALLOCATED	264	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000		CTRANSPO

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
2-00000000	I*4	I	2-00000008	I*4	J	AF-00000000

ARRAYS

ADDRESS	TYPE	NAME	BYTES	DIMENSIONS
AF-00000004	C*16	A	**	(*, *)
AF-00000008	C*16	AT	**	(*, *)

LABELS

ADDRESS	LABEL	ADDRESS	LABEL
C-00000084	10	C-0000008A	20

ARRAY

ADDRESS	TYPE	NAME	BYTES	DIMENSIONS
AF-C0000040	C*16	A	**	(* , *)
AP-C0000080	C*16	AT	**	(* , *)

LABELS

ADDRESS	LABEL	ADDRESS	LENGTH
0-C0000084	10	0-C0000084	20

18-APR-1988
19-APR-1988

```

C001 C*****
C002 C
C003 C      SOUS-PROGRAMME QUI CALCUL L'IMPEDANCE COMPLEXE AU DESSUS
C004 C      DE L'EAL
C005 C
C006 C
C007 C      SUBROUTINE IMPED(MODULE,MPHASE,VEC)
C008 C
C009 C
C010 C      PARAMETRE D'ENTREE:
C011 C      I:COMPTEUR
C012 C
C013 C      PARAMETRE DE SORTIE:
C014 C      CIMP:IMPEDANCE COMPLEXE
C015 C
C016 C      IMPLICIT COMPLEX*16 (A-H,O-Z)
C017 C      COMPLEX*16 II
C018 C      REAL*8 MODULE,MPHASE,VEC(100)
C019 C      REAL*8 CMUC,EPS1,OMEGA,CVL,CK1,DIS
C020 C      COMMON/VEC/ VEC
C021 C      COMMON/CONST4/ CMUC,EPS1,OMEGA,CVL,CK1,DIS
C022 C      PARAMETER(II=(0.00,1.00))
C023 C      PARAMETER(EPS2=(20.00,0.00),SIGMA=(5.00,0.00))
C024 C
C025 C
C026 C
C027 C      CK2= CDSQRT(EPS2 - II*SIGMA*CMUC*CVL*CVL/OMEGA)*OMEGA/CVL
C028 C      XIMP= CDSQRT(1.00-(CK1/CK2)**2) * CK1/CK2
C029 C      MODULE=CDABS(XIMP)
C030 C      MPHASE=DATAN2(DIMAG(XIMP),DREAL(XIMP))
C031 C
C032 C
C033 C      RETURN
C034 C      END

```

18-APR-1981
18-APR-1981

```

C001 C*****
C002 C
C003 C
C004 C      SOUS-PROGRAMME QUI CONVERTIT UN ANGLE
C005 C      DE DEGRES (DD.MMSS) EN RADIAN(S)
C006 C
C007 C*****
C008 C
C009 C      SUBROUTINE DMS_RAD(ANGLE)
C010 C
C011 C      PARAMETRE D'ENTREE ET DE SORTIE:
C012 C      ANGLE: ANGLE EN RADIAN
C013 C
C014 C      IMPLICIT REAL*8 (A-Z)
C015 C      PI=3.14159265358979323
C016 C      DUMMY=DINT(ANGLE)+DINT((ANGLE-DINT(ANGLE))*100.00)/60.00+
C017 C      +((ANGLE-DINT(ANGLE))*100.00-DINT((ANGLE-DINT(ANGLE))*100.00)
C018 C      +*100.00/3600.00
C019 C      ANGLE=DUMMY*PI/180.00
C020 C      RETURN
C021 C      END

```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	179	PIC CON REL LCL SHR E
2 \$LOCAL	16	PIC CON REL LCL NOSHR NOE
TOTAL SPACE ALLOCATED	195	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
C-00000000		DMS_RAD

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDR
AF-000000042	R*8	ANGLE	2-00000008	R*8	DUMMY	2-0000

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME
R*8	MTH%DINT

FUNCTIONS AND SUBROUTINE REFERENCES

TYPE NAME
R#8 MTHSDINT

18-APR-1988
18-APR-1988

0001
0002
0003
0004
0005
0006
0007
0008
0009
0010
0011
0012
0013
0014
0015
0016
0017
0018
0019
0020
0021
0022
0023
0024
0025
0026
0027
0028
0029
0030
0031
0032
0033
0034
0035
0036
0037
0038
0039
0040
0041
0042
0043
0044
0045
0046
0047
0048
0049
0050
0051
0052
0053
0054
0055
0056
0057

```

C*****
C*****
SUBROUTINE INTEGRATION
C*****
C BUT: CALCULER LA FONCTION D'ATTENUATION W EN TENANT COMPTE
C DE LA TOPOGRAPHIE ET DES VARIATIONS DES PARAMETRES
C DIELECTRIQUES, AVEC MOYEN D'UNE EQUATION INTEGRALE.
NOTE: CE SOUS-PROGRAMME EST COMPLET.
LES VARIABLES EXIGES SONT DANS L'ORDRE:
X(I), HAUT(I), HP(I), H2(I), DEL(I), I=0,NYAX
DES VARIABLES SONT DANS LA FILIERE 10.
PARAMETRES D'ENTREE:
VEC: VECTEUR DES ELEMENTS D'INCLINAISON
PE: MATRICE DES ALTITUDES
PARAMETRE DE SORTIE
W = VECTEUR DES VALEURS DE LA FONCTION D'ATTENUATION W(X)
LE PROGRAMME AFFICHE LES VALEURS DU MODULE ET DE L'ARGUMENT DE
IDENTIFICATION DES VECTEURS ET DES VARIABLES UTILISES DANS
LA SUBROUTINE
X = VECTEUR DES DISTANCES
H = VECTEUR DES ALTITUDES CORRESPONDANTES H(X)
HP = VECTEUR DES DERIVEES PARTIELLES DE L'ALTITUDE
DEL = VECTEUR DES IMPEDANCES
D = VECTEUR DEFINISSANT LES LONGUEURS DES INTERVALLES SUR
LESQUELS ON VEUT UTILISER UN CERTAIN INCREMENT POUR
L'INTEGRATION NUMERIQUE
INC = VECTEUR DEFINISSANT LES INCREMENTS CORRESPONDANTS
N = NOMBRE DE POINTS A CALCULER AVEC LE MODELE DE TERRE PLATE
HP2 = VECTEUR DES (1 + H'(X)**2)**.5
DPHASE = DEPHASAGE SECONDAIRE EN MICRO SECONDES.
LES RESULTATS SONT DANS LA FILIERE 14 (RESULTATS.DAT)
C*****
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O)
COMPLEX*16 II, I((:3000)), DEL(0:3000), CIMP(3000)
COMPLEX*16 ZEROC, CU1, SU1, SU2, SU3, SU4, XW, DELTA, UNC, FFC, COEF
REAL*8 A(0:3000), HAUT(0:3000), HP(0:3000), R0, R1, R2, A, ARG
REAL*8 CMCC, EPS1, OMEGA, CVL, CK1, DIS
REAL*8 PE, PEC, PE, PI, FLA, FPRIME, LAT R, LONG R
REAL*8 H2(0:3000), HZ(3000,8), VEC(100)

```



```

0043 C N = NOMBRE DE POINTS A CALCULER AVEC LE MODELE DE TERRE PL/
0044 C HP2 = VECTEUR DES (1 + H*(Y)**2)**.5
0045 C DPHASE= DEPHASAGE SECONDAIRE EN MICRO SECONDES.
0046 C
0047 C LES RESULTATS SONT DANS LA FICHIERE 14 (RESULTATS.DAT)
0048 C
0049 C*****
0050 C
0051 C IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
0052 C COMPLEX*16 II, W(0:3000), DEL(0:3000), CIMP(3000)
0053 C COMPLEX*16 ZEROC,SUM1,SUM2,SUM3,SUMT,S,KW,DELTA,UNC,FFC,COEF
0054 C REAL*8 X(0:3000), HAUT(0:3000), HP(0:3000),RO, P1, R2, A, AF
0055 C REAL*8 CMUC,EPS1,OMEGA,CVL,CK1,BIS
0056 C REAL*8 PE,PE2,PE,PI,FLA,EPRIME,LAT_R,LANG_R
0057 C REAL*8 HP2(0:3000),HZ(3000,5),VEC(100)

```

INTEGRATION

15-APR-1982
15-APR-1982

```

0058 DIMENSION INDC(3000),IDD(5)
0059 PARAMETER(II=(C.DO,1.00))
0060 COMMON/TERRAIN/ X, HAUT, HP, HP2, DEL
0061 COMMON/FACTEUR/ A
0062 COMMON/RO/RO
0063 COMMON/VEC/ VEC
0064 COMMON/HZ/ HZ
0065 COMMON/CIMP/ CIMP
0066 COMMON/CONST5/ A,PE,PE2,PE,PI,FLA,EPRIME
0067 COMMON/CONST4/ CMUC,EPS1,OMEGA,CVL,CK1,BIS
0068 COMMON/NPGAUSS/ GR(100),GP(10)
0069 COMMON/LAGRANGE/ PCIDSL(10),XX(10)
0070 COMMON/INTERPOL/ ICERJT,IMILIFU,IFIN
0071 COMMON/RECEPT/ IBANSE,LATR,ECNOR
0072
0073 600 FORMAT (3(8X,D15.10))
0074
0075 OPEN (10,FILE='IMPED.DAT',STATUS='NEW')
0076 WRITE (10,401)
0077 401 FORMAT (7X,'X(I) M',8X,'HAUT M',8X,'HP(I)',7X,'HP2(I)',14X,
0078 + 'IMPEDANCES',/)
0079
0080 ZEROC=(0.00,C.DO)
0081 UNC=(1.00,0.00)
0082 IDD(1)=0
0083 IDD(2)=8
0084 IDD(3)=16
0085 IDD(4)=24
0086 IDD(5)=36
0087
0088 IDEBUT=0
0089 IFIN=0
0090
0091 OPEN (14,FILE='RESULTATS.DAT',STATUS='NEW')
0092 C
0093 C CALCUL DU NOMBRE MAXIMAL DE POINTS LE LONG DE LA LIGNE
0094 C
0095 NMAX=0
0096 DO 500 I=1,INT(VEC(1)/2)
0097 NMAX=NMAX+INT(VEC(I*2))
0098 INDC(I)=NMAX
0099 550 CONTINUE
0100
0101 DO 500 I=0,NMAX
0102 X(I)=FZ(I+1,3)*1000.00
0103 HAUT(I)=HZ(I+1,4)*1000.00
0104 HP(I)=HZ(I+1,5)*1000.00
0105 HP2(I)=FZ(I+1,6)
0106 DEL(I)=CIMP(I+1)
0107
0108 WRITE (10,501) X(I),HAUT(I),HP(I),HP2(I),DEL(I)
0109 501 FORMAT (2F15.6,2F12.6,2F16.6)
0110
0111 500 CONTINUE
0112
0113 DO 1000 I=1,3000
0114 W(I)=ZEROC

```

```

C101 DO 500 I=0,NMAX
C102 X(I)=FZ(I+1,3)*1000.00
C103 Y(I)=FZ(I+1,4)*1000.00
C104 Z(I)=FZ(I+1,5)*1000.00
C105 W(I)=FZ(I+1,6)
C106 DEL(I)=FZ(I+1,7)
C107
C108 WRITE(10,61) X(I), Y(I), Z(I), W(I), DEL(I)
C109 61 FORMAT (2F13.4, 2F11.4, 2F11.4, 2F11.4)
C110
C111 500 CONTINUE
C112
C113 DO 1000 I=1,2000
C114 W(I)=ZEROC

```

INTEGRATION

```

C115 1000 CONTINUE
C116
C117 C
C118 C DEFINITION DES PARAMETRES
C119 C
C120 C
C121 W(0)=UNC
C122 C
C123 C CALCUL DES PREMIERES VALEURS AU MOYEN DU MODELE DE TERRE PLATE
C124 C
C125 DO K=1,49
C126 CALL PLATE(X(K),W(K), DEL(K), ID)
C127 ARG=ATAN2(DIMAG(W(K)),DBLE(W(K)))
C128 DPHASE=ARG*1.00/OMEGA
C129 WRITE(14,402) X(K)/1.00,HAUT(K),DEL(K),DPHASE
C130 402 FORMAT(2F10.0,2F16.0)
C131 END DO
C132
C133 C
C134 C CUEF= CUEXP(I*PI/4.00)*DSQRT(CR1/(2.00*PI))
C135 C
C136 C DEBUT DU CALCUL DE W AU MOYEN DE L'EQUATION INTEGRALE
C137 C
C138 DO 5000 K=50,NMAX
C139 NTC=N-1
C140 XF=X(K)
C141 RO = DSQRT(HAUT(K)**2 + 2.00*A*(HAUT(K)+A)*PMCOS(X(K)/A))
C142 CXP=CCEXP*RO/XF
C143
C144 C CALCUL DE L'INTEGRALE DE DEBUT
C145 C
C146 X4=X(10)
C147 CALL GAUSSINIT(IDEBUT)
C148 SUM1=ZEROC
C149 SUM2=ZEROC
C150 SUM3=ZEROC
C151
C152 C
C153 DO 1000 I=1,IDEBUT
C154 T=1.00+GN(I)
C155 Y=X4*T*T/4.000
C156 IAA=0
C157 C
C158 DO 1010 IA=0,NMAX
C159 IAA=IAA+1
C160 IF (Y-X(IAA) .LE. 0.00) GOTO 1020
C161 1010 CONTINUE
C162 1020 IA=IAA-2
C163 IF (IA .LT. 0) IA=0
C164 IB=IA+4
C165 IF (IB .GE. N-1) IB=N-1
C166 IF (IB .EC. K-1) IA=IB-4
C167 IJEG=IB-IA+1
C168
C169 DO 1030 JJ=IA,IB
C170 X(JJ-IA+1)=X(JJ)
C171 1030 CONTINUE

```

18-
18-

```

0157 C
0158 DO 1010 IA=0,NMAX
0159 IAA=IAA+1
0160 IF (Y-X(IAA) .LE. 0.00) GOTO 1020
0161 1010 CONTINUE
0162 1020 IA=IAA-2
0163 IF (IA .LT. 0) IA=0
0164 IB=IA+4
0165 IF (IB .GE. K-1) IB=K-1
0166 IF (IB .EQ. K-1) IA=IB-4
0167 IDEG=IB-IA+1
0168
0169 DO 1030 JJ=IA,IB
0170 XX(JJ-IA+1)=X(JJ)
0171 1030 CONTINUE

```

INTEGRATION

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0172 C
0173 C
0174 C CALCULER LES POIDS DE LAGRANGE
0175 C
0176 C
0177 C CALL LAGRANGE(Y, IDEG)
0178 C
0179 C INTERPOLER LES VALEURS AU POINT Y
0180 C
0181 C HS=0.00
0182 C HPS=0.00
0183 C DELTA=ZEROC
0184 C WW=ZEROC
0185 C
0186 C DO 1040 JJ=IA,IB
0187 C IU=JJ-IA+1
0188 C HS=HS+POIDSL(IU)*HAUT(JJ)
0189 C HPS=HPS+POIDSL(IU)*HP(JJ)
0190 C DELTA=DELTA+POIDSL(IU)*DEL(JJ)
0191 C WW=WW+POIDSL(IU)*W(JJ)
0192 1040 CONTINUE
0193 C
0194 C
0195 C HPS2=ESQRT(1.00+HPS*4P.)
0196 C CALL FUNC(XP,Y,HAUT(K),HS,HPS,HPS2,DELTA,FFC)
0197 C SUM1=SUM1+GP(I)*WW*FFC*P
0198 1200 CONTINUE
0199 C
0200 C SUM1=SUM1*Y4/2.00
0201 C
0202 C INTEGRATION DU DERNIER SEGMENT
0203 C
0204 C XN=X(K-10)
0205 C
0206 C DO 1400 I=1,IFIN
0207 C T=1.000+GN(I)
0208 C Y=XP-(XP-XN)*T*T/4.000
0209 C
0210 C IAA=0
0211 C DO 1300 IA=0,NMAX
0212 C IAA=IAA+1
0213 C IF (Y-X(IAA) .LE. 0.00) GOTO 1310
0214 1300 CONTINUE
0215 C
0216 1310 IA=IAA-2
0217 C IF (IA .LT. 0) IA=0
0218 C IB=IA+4
0219 C IF (IB .GE. K) IB=K
0220 C IF (IB .EQ. K) IA=IB-4
0221 C IDEG=IB-IA+1
0222 C
0223 C DO 1320 JJ=IA,IB
0224 C XX(JJ-IA+1)=X(JJ)
0225 1320 CONTINUE
0226 C
0227 C CALL LAGRANGE(Y, IDEG)
0228 C

```

```

0216 1310 IA=IAA-2
0217 IF (IA .LT. 0) IA=0
0218 IB=IA+4
0219 IF (IB .GE. K) IB=K
0220 IF (IB .EQ. K) IA=IB-4
0221 IDEG=IB-IA+1
0222 C
0223 DO 1330 JC=IA,IB
0224 XX(JC-IA+1)=X(JC)
0225 1330 CONTINUE
0226 C
0227 CALL LAGRANGE(Y,IDEG)
0228 C

```

INTEGRATION

10-APR-1988]
13-APR-1988]

```

0229 HS=C.DO
0230 HPS=0.DO
0231 DELTA=ZEROC
0232 WK=ZEROC
0233 C
0234 DO 1340 JC=IA,IB
0235 IC=JC-IA+1
0236 HS=HS+POLISEL(IC)*HOUT(JC)
0237 HPS=HPS+POLISL(IC)*H(JC)
0238 DELTA=DELTA+POLISL(IC)*DEL(JC)
0239 XX=XX+POLISL(IC)*X(JC)
0240 1340 CONTINUE
0241 C
0242 HPS2=HPS*WT(1.CDO+HPS*H)
0243 CALL FORC(XP,Y,HOUT(X),HPS,HPS2,DELTA,FFC)
0244 B=SN(I)*FFC
0245 B=WT
0246 IF (I .GE. IFIN) GOTO 1410
0247 SUM2=SUM2+B*WK
0248 1400 CONTINUE
0249 C
0250 1410 SUM2=SUM2*(XP-XN)/2.DO
0251 B=B*(XP-XN)/2.DO
0252 C
0253 C
0254 C
0255 DO 1450 KK=1,3
0256 IMIL=INT((K-20)/2/100(KK))
0257 IF (IMIL .EQ. 0) GOTO 1455
0258 1450 CONTINUE
0259 1455 IMILIEU=100(KK)
0260 IF ((K-20)/2 .GE. 96) IMILIEU=96
0261 CALL GAUSSINIT(IMILIEU)
0262 C
0263 DO 1500 I=1,IMILIEU
0264 T=SN(I)
0265 Y=((XN-X4)*T+XN+X4)/2.DO
0266 IAA=0
0267 DO 1500 IA=C,K-10
0268 IAA=IAA+1
0269 IF (Y-X(IAA) .LE. 0.00) GOTO 1510
0270 1500 CONTINUE
0271 IA=IAA-1
0272 1510 IF (IA .LT. 0) IA=0
0273 IB=IA+4
0274 IF (IB .GE. K-10) IB=K-10
0275 IF (IB .EQ. K-10) IA=IB-4
0276 IDEG=IB-IA+1
0277 DO 1530 JC=IA,IB
0278 XX(JC-IA+1)=X(JC)
0279 1530 CONTINUE
0280 C
0281 CALL LAGRANGE(Y,IDEG)
0282 C
0283 HS=0.DO
0284 HPS=0.DO
0285

```

```

0271 1500 CONTINUE
0272 1510 IA=IAA-2
0273 IF (IA .LT. 0) IA=0
0274 IB=IA+4
0275 IF (IB .GE. K-10) IB=K-10
0276 IF (IB .EC. K-10) IA=IB-4
0277 IDEG=IB-IA+1
0278 DC 1530 JI=IA,IB
0279 XA(JI-IA+1)=X(JI)
0280 1530 CONTINUE
0281 C
0282 CALL LAGRANGE(Y,IDEG)
0283 C
0284 HS=0.00
0285 HPS=0.00

```

INTEGRATION

18-APR-1988
18-APR-1988

```

0286 DELTA=ZEROC
0287 WW=ZEROC
0288 DC 1540 JI=IA,IB
0289 IC=JI-IA+1
0290 HS=HS+PCIDSL(IC)*HAUT(JI)
0291 HPS=HPS+PCIDSL(IC)*IP(JI)
0292 DELTA=DELTA+PCIDSL(IC)*DEL(JI)
0293 WW=WW+PCIDSL(IC)*W(JI)
0294 1540 CONTINUE
0295 C
0296 HPS2=DSORT(1.00+HPS*HPS)
0297 CALL FUNC(XP,Y,HAUT(K),HS,HPS,HPS2,DELTA,FFC)
0298 SCB3=SUM3+SP(I)*FFC
0299 1600 CONTINUE
0300 C
0301 SUM3=SUM3*(XN-X4)/2.00
0302 SUMT=UNC-(SUM1+SUM2+SUM3)*GXP
0303 W(K)=SUMT/(UNC+B*GXP)
0304 ARG=DATAN2(DIMAG(W(K)),DBL(W(K)))
0305 DPHASE=ARG*1.56/CMEGA
0306 WRITE(14,402) X(K)/1.00,HAUT(K),DEL(K),DPHASE
0307
0308
0309 C
0310 5000 CONTINUE
0311 C
0312 WRITE(6,*) XP/1.00, ARG, DPHASE
0313
0314 CPE(10,FILE='P=S.LAT',STATUS='UNKNOWN')
0315 WRITE(13,403) ISANEC,LATR,LONGR,XP/1.00,DPHASE
0316 403 FORMAT(I4,2F14.4,2F10.0)
0317
0318 CLOSE(14)
0319 CLOSE(15)
0320
0321 RETURN
0322 ENC

```

18-APR-198
10-APR-198

```
0001
0002
0003
0004
0005
0006 SUBROUTINE PLATE(D, FAC, DEL, INC)
0007 C*****
0008 C BUT: CALCULER LA CORRECTION DE PHASE, EN SUPPOSANT DES
0009 C PARAMETRES SELECTRIQUES CONSTANTS, ET EN UTILISANT
0010 C UN MODELE DE PROPAGATION LE LONG DE LA TERRE PLATE.
0011 C
0012 C PARAMETRES D'ENTREE
0013 C
0014 C DEL IMPEDANCE
0015 C D DISTANCE
0016 C CK1 NOMBRE D'ONDE DE L'ATMOSPHERE
0017 C
0018 C CONSTANTE CALCULEE
0019 C
0020 C RHO1 DISTANCE NUMERIQUE DE SOMMERFELD
0021 C
0022 C PARAMETRES DE SORTIE
0023 C
0024 C FAC FACTEUR SECONDAIRE
0025 C INC NOMBRE DE TERMES SOMMES DANS LE CALCUL DE LA FONCTIO
0026 C COMPLEMENTAIRE D'ERREUR
0027 C
0028 C*****
0029 C IMPLICIT REAL*8 (A-H, S-Z)
0030 C COMPLEX*16 II, FAC, DEL, RHO1, UNO, Y
0031 C REAL*8 PR, PI4, PI1, IC, J
0032 C REAL*8 PA, P1, PE1, PE, P1, PLA, PI, P1
0033 C REAL*8 CMUC, EPS1, MWGA, CVL, CK1, DIS
0034 C PARAMETER III=(0.25, 1.00)
0035 C COMMON/CONSTE/ PA, P1, PE2, PA, P1, PLA, PI, IAE
0036 C COMMON/CONST4/ CMUC, EPS1, MWGA, CVL, CK1, DIS
0037 C
0038 C
0039 C
0040 C UNO=(1.00, 0.00)
0041 C
0042 C RHO1= 0*III/2.00*CK1*DEL*DEL
0043 C
0044 C CALL ERFC (COSORT(RHO1),, INC)
0045 C Y=UNO + II*W*COSORT(PI*RHO1)
0046 C FAC= Y
0047 C
0048 C
0049 C
0050 C
0051 C RETURN
0052 C ENO
```

16-APR-1988 11:3
18-APR-1988 11:2

```
0001
0002
0003 SUBROUTINE ERFC(Z,WW,IND)
0004 C*****
0005 C BUT: CALCULER LA FONCTION W(Z) QUI EST RELIEE A LA FONCTION
0006 C COMPLEMENTAIRE D'ERF PAR LA FORMULE
0007 C  $W(Z) = \text{EXP}(-Z**2) * \text{ERF}(-Z)$ 
0008 C
0009 C PARAMETRE D'ENTREE: Z = ARGUMENT DE LA FONCTION W
0010 C PARAMETRE DE SORTIE WW = W(Z)
0011 C*****
0012 C IMPLICIT COMPLEX*16 (A-H,O-Z)
0013 C COMPLEX*16 II
0014 C REAL*8 PRZ,PIA,PI
0015 C DIMENSION T(0:150)
0016 C PARAMETER (II=(0.50,1.00), PI=3.1415926535897932384626)
0017 C
0018 C
0019 C
0020 C
0021 C ZZ=Z
0022 C PRZ= DBLE(Z)
0023 C PIA= DIMAG(Z)
0024 C
0025 C IF (DABS(P-2).LE.3.900.AND.DABS(PIA).LE.3.00) THEN
0026 C T(0) = 1.00
0027 C T(1) = 2.00*II*Z/DSCRT(PI)
0028 C SCN = T(0) + T(1)
0029 C IND = 2
0030 C DO WHILE (DABS(T(IND-1)/SCN).GT.5.0-7.AND.IND.LE.150)
0031 C T(IND) = -2.00*II*I(IND-2)/DFLIAT(IND)
0032 C SCN = SCN + T(IND)
0033 C IND = IND+1
0034 C END DO
0035 C WW = SCN
0036 C ELSE
0037 C IND = 0
0038 C ZZ=Z
0039 C IF (DREAL(Z).LT.-.3901.AND.DABS(DIMAG(Z)).LT.3.00) ZZ= -CONJG(Z)
0040 C IF (DABS(DREAL(Z)).LE.3.900.AND.DIMAG(Z).LT.-3.00) ZZ= -Z
0041 C
0042 C WW = II*ZZ*(.401213500/(ZZ**2-.190163000) + .99992160-1/
0043 C (ZZ**2-.1704492701) + .28035940-2/(ZZ**2-.5525343701))
0044 C
0045 C IF (DREAL(Z).LT.-.3901.AND.DIMAG(Z).LT.3.00) WW = CONJG(WW)
0046 C IF (DABS(DREAL(Z)).LE.3.900.AND.DIMAG(Z).LT.-3.00) WW =
0047 C & 2.00*CDEXP(-Z*Z) - WW
0048 C
0049 C ENDIF
0050 C
0051 C RETURN
0052 C
0053 C
0054 C END
```

18-APR-1988 1
18-APR-1988 1

```

C001 C
C002
C003
C004
C005 REAL*8 FUNCTION HMCCS(TETA)
C006 C*****
C007 C BUT: CALCULER 1-CCS(TETA).
C008 C
C009 C SI TETA EST PETIT, ON UTILISE UNE SERIE DE TAYLOR.
C010 C*****
C011 C IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
C012 C
C013 IF(TETA.GT..1500) THEN
C014 HMCCS=1.00 - DCCS(TETA)
C015 ELSE IF(TETA.LT..5E-9) THEN
C016 HMCCS=0.00
C017 ELSE
C018 T=TETA**2/2.00
C019 S=4.00
C020 SC=T
C021 DO WHILE (ABS(T/SC).GT..5E-9)
C022 T=-T*TETA**2/((2-1.00)*S)
C023 SC = SC + T
C024 S=S+2.00
C025 END DO
C026 HMCCS=SC
C027 ENDIF
C028 C
C029 RETURN
C030 END

```


18-APR-1988 11
 18-APR-1988 11

```

CUC1
CUC2
CUC3      SUBROUTINE TRIANG(X,S,HX,HS,R1,R2)
CUC4      C*****
CUC5      C*****
CUC6      C***** BUT: CALCULER LES LONGUEURS R1, R2 PAR LA LOI DES COSINUS.
CUC7      C*****
CUC8      C*****
CUC9      C***** IMPLICIT REAL*8 (A-H,I,O-Z)
CUC10     C***** PARAMETER( AFG=378200400 )
CUC11     C
CUC12     C      R1 = DSQRT(HS**2 + 2.00*A*(A+HS)*HMCCS(C/A))
CUC13     C
CUC14     C      R2 = DSQRT((HX-HS)**2 + 2.00*(A+HX)*(A+HS)*HMCCS((X-S)/A))
CUC15     C
CUC16     C      RETURN
CUC17     C      END
  
```

PROGRAM SECTIONS

NAME	BYTES	ATTRIBUTES
0 \$CODE	172	PIC CON REL LCL SHR EXE
2 \$LOCAL		PIC CON REL LCL NO SHR NOEXE
TOTAL SPACE ALLOCATED	172	

ENTRY POINTS

ADDRESS	TYPE	NAME
0-00000000		TRIANG

VARIABLES

ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS	TYPE	NAME	ADDRESS
AP-000000100	R*8	H	AP-000000000	R*8	HX	AP-0000000
AP-000000080	R*8	S	AP-000000040	R*8	X	

FUNCTIONS AND SUBROUTINES REFERENCED

TYPE	NAME	TYPE	NAME
R*8	HMCOS	R*8	MTHDSQRT

18-APR-1981
18-APR-1981

```
CO01
CO02
CO03
CO04
CO05
CO06 C*****
CO07 C*****
CO08
CO09 SUBROUTINE LAGRANGE(S,IDES)
CO10
CO11 C*****
CO12 C
CO13 C BUT: INTERPOLATION DE LAGRANGE DES DONNEES RELATIVE AU TERRAIN
CO14 C SOUS LA FONCTION L'ATTENUATION. CE SOUS-PROGRAMME REMPLI
CO15 C LES SOUS-PROGRAMMES FONCTION POL ET RELIEF.
CO16 C
CO17 C*****
CO18
CO19 IMPLICIT REAL*8 (A-H,J-Z)
CO20 COMMON/LAGRANGE/ PCIDS(10), VY(10)
CO21
CO22 K=IDES
CO23
CO24 DO 1000 I=1,K
CO25 PCIDS(I)=1.000
CO26 1000 CONTINUE
CO27
CO28 C
CO29 C CALCUL DES PCIDS
CO30 C
CO31 DO 1100 I=1,K
CO32 DO 1200 J=1,K
CO33 IF (I.EQ.J) GOTU 1200
CO34 PCIDS(I)= (S-VY(J))*PCIDS(I)/(VY(I)-VY(J))
CO35 1200 CONTINUE
CO36 1100 CONTINUE
CO37
CO38
CO39
CO40 RETURN
CO41 END
```

18-APR-198
18-APR-198

```
0001
0002
0003 SUBROUTINE GAUSSINIT(IDEG)
0004 C*****
0005 C
0006 C BUT: INITIALISER LES NOEUDS ET POIDS DE GAUSS POUR LES VALE
0007 C DE N SUIVANTES: 6,16,14,90
0008 C
0009 C*****
0010 C IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
0011 C COMMON/NP/GAUSS/ GN(100), GP(100)
0012
0013 C CHOIX DES NOEUDS ET POIDS DE GAUSS
0014
0015 K=IDEG
0016
0017 IF (K .EQ. 6) THEN
0018
0019 GN(1)=-0.23861918608319700
0020 GN(2)=-0.66120938646626500
0021 GN(3)=-0.93246951420315200
0022
0023 GP(1)=0.46791393457269100
0024 GP(2)=0.36076157304813900
0025 GP(3)=0.17132449237917000
0026
0027 DO 800 J=4,6
0028 GN(J)=-GN(J-3)
0029 GP(J)=GP(J-3)
0030 800 CONTINUE
0031
0032 ELSE IF (K .EQ. 8) THEN
0033
0034 GN(1)=-0.13342464249565000
0035 GN(2)=-0.52553240991632900
0036 GN(3)=-0.79866647741362700
0037 GN(4)=-0.96028985649753600
0038
0039 GP(1)=0.36263378337836200
0040 GP(2)=0.31570664587738700
0041 GP(3)=0.22238103445337400
0042 GP(4)=0.10122852629037600
0043
0044 DO 850 J=5,8
0045 GN(J)=-GN(J-4)
0046 GP(J)=GP(J-4)
0047 850 CONTINUE
0048
0049 ELSE IF (K .EQ. 16) THEN
0050
0051 GN(1)=-0.09501250983763700
0052 GN(2)=-0.28160355077923600
0053 GN(3)=-0.45801677765722700
0054 GN(4)=-0.61787624440264300
0055 GN(5)=-0.75540440835500300
0056 GN(6)=-0.86563120238785100
0057 GN(7)=-0.94457502307323200
```

0047
0048
0049
0050
0051
0052
0053
0054
0055
0056
0057

850

CONTINUE

ELSE IF (K .EQ. 16) THEN

GN(1)=-0.09501250963763710
GN(2)=-0.26160355077423300
GN(3)=-0.45801677765722700
GN(4)=-0.61767624440264300
GN(5)=-0.75540440233500200
GN(6)=-0.86563120238785100
GN(7)=-0.94437501307325200

GAUSSINIT

18-APR-1988 1
16-APR-1988 1

0058
0059
0060
0061
0062
0063
0064
0065
0066
0067
0068
0069
0070
0071
0072
0073
0074
0075
0076
0077
0078
0079
0080
0081
0082
0083
0084
0085
0086
0087
0088
0089
0090
0091
0092
0093
0094
0095
0096
0097
0098
0099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114

1000

GN(8)=-0.98940093499164950
GP(1)=0.18945061045506800
GP(2)=0.18260341504432300
GP(3)=0.16919651939500200
GP(4)=0.14959598891657600
GP(5)=0.12462897125553300
GP(6)=0.09515851160249200
GP(7)=0.06223352395804700
GP(8)=0.027152455941175400

DO 1000 J=3,16
GN(J)=-GN(J-1)
GP(J)=GP(J-1)

CONTINUE

ELSE IF (K .EQ. 24) THEN

GN(1)=-0.06405587924626050
GN(2)=-0.13111178674731600
GN(3)=-0.21904207903115300
GN(4)=-0.31937335071200450
GN(5)=-0.43422147183883900
GN(6)=-0.54809360183697500
GN(7)=-0.74012419157555400
GN(8)=-0.82000192557393200
GN(9)=-0.86415527300440100
GN(10)=-0.93827455200273200
GN(11)=-0.97472855597130900
GN(12)=-0.995117211798752100

GP(1)=0.11795619834675200
GP(2)=0.12582745834632900
GP(3)=0.12167047292700200
GP(4)=0.11355715008225000
GP(5)=0.10744427011546500
GP(6)=0.097617055210411500
GP(7)=0.08617016153170300
GP(8)=0.07334341111110000
GP(9)=0.05924932401549500
GP(10)=0.04427745301741900
GP(11)=0.02853138862095300
GP(12)=0.01234122979993700

DO 1200 J=13,24
GN(J)=-GN(J-1)
GP(J)=GP(J-1)

CONTINUE

ELSE IF (K .EQ. 36) THEN

GN(1)=-0.018277444444400
GN(2)=-0.011111111111100
GN(3)=-0.012074112444400
GN(4)=-0.111111111111100
GN(5)=-0.244444444444400
GN(6)=-0.177777777777700

```

0100 GP(12)=C.C1234122979993700
0101
0102 DO 1200 J=13,24
0103 GN(J)=-GN(J-12)
0104 GP(J)=GP(J-12)
0105 1200 CONTINUE
0106
0107 ELSE IF (K.EQ.96) THEN
0108
0109 GN(1)=-C.C01627674484800200
0110 GN(2)=-C.C04831298513504000
0111 GN(3)=-C.C08129749546442500
0112 GN(4)=-C.C11369585011866500
0113 GN(5)=-C.C14597371485487800
0114 GN(6)=-C.C17825038230761300

```

GAUSSINIT

18-APR-1988
13-APR-1988

```

0115 GN(7)=-C.C21000313104461506700
0116 GN(8)=-C.C241743186163304000
0117 GN(9)=-C.C273198821255174800
0118 GN(10)=-C.C30472044443744900
0119 GN(11)=-C.C33532089522282200
0120 GN(12)=-C.C36586968614723100
0121 GN(13)=-C.C3953797042853900
0122 GN(14)=-C.C4239473930487300
0123 GN(15)=-C.C4514769942215774300
0124 GN(16)=-C.C47834579739203900
0125 GN(17)=-C.C50116941777154000
0126 GN(18)=-C.C52339388104324300
0127 GN(19)=-C.C545638810413513900
0128 GN(20)=-C.C5678930322354773800
0129 GN(21)=-C.C5899941115545000
0130 GN(22)=-C.C6118993403734700
0131 GN(23)=-C.C633667183100422100
0132 GN(24)=-C.C6552258433684217100
0133 GN(25)=-C.C6765876812349936700
0134 GN(26)=-C.C697780030437444800
0135 GN(27)=-C.C718800022341117034700
0136 GN(28)=-C.C73963089343886743300
0137 GN(29)=-C.C7602830874413914300
0138 GN(30)=-C.C7807540031157941100
0139 GN(31)=-C.C80103702231127810700
0140 GN(32)=-C.C8211399933445470100
0141 GN(33)=-C.C841059950399220000
0142 GN(34)=-C.C86079889451749024200
0143 GN(35)=-C.C88036889451749024200
0144 GN(36)=-C.C9000071142231127810700
0145 GN(37)=-C.C9200071142231127810700
0146 GN(38)=-C.C9400071142231127810700
0147 GN(39)=-C.C9600071142231127810700
0148 GN(40)=-C.C9800071142231127810700
0149 GN(41)=-C.C9999999999999999999999
0150 GN(42)=-C.C9999999999999999999999
0151 GN(43)=-C.C9999999999999999999999
0152 GN(44)=-C.C9999999999999999999999
0153 GN(45)=-C.C9999999999999999999999
0154 GN(46)=-C.C9999999999999999999999
0155 GN(47)=-C.C9999999999999999999999
0156 GN(48)=-C.C9999999999999999999999

```

```

0157
0158
0159
0160 GP(1)=C.C0325550614449236300
0161 GP(2)=C.C032516118713386800
0162 GP(3)=C.C03244716371406400
0163 GP(4)=C.C03234382256857500
0164 GP(5)=C.C03220620479403000
0165 GP(6)=C.C03203445623199200
0166 GP(7)=C.C03182875889441100
0167 GP(8)=C.C03158932077072700
0168 GP(9)=C.C03131642559686100
0169 GP(10)=C.C03101033258631300
0170 GP(11)=C.C030071337612360900
0171 GP(12)=C.C03029991542082700

```

```

0159 GP(1)=0.0325506144492366
0160 GP(2)=0.0325516118713869
0161 GP(3)=0.03224471637140642
0162 GP(4)=0.0322243222568575
0163 GP(5)=0.032220620479402
0164 GP(6)=0.032055445023199
0165 GP(7)=0.031828755384411
0166 GP(8)=0.0315893300770727
0167 GP(9)=0.031316425596051
0168 GP(10)=0.03101033259313
0169 GP(11)=0.03067137612234
0170 GP(12)=0.0302999154238
0171

```

GAUSSINIT

16-APR-1988
16-APR-1988

```

0172 GP(13)=0.02989634413632830
0173 GP(14)=0.02946108899551870
0174 GP(15)=0.02849461415055550
0175 GP(16)=0.02849374110650450
0176 GP(17)=0.02797000761684550
0177 GP(18)=0.02741296272603950
0178 GP(19)=0.02682686672329100
0179 GP(20)=0.02621234073567200
0180 GP(21)=0.02557003600534900
0181 GP(22)=0.02490063322243300
0182 GP(23)=0.02420441792304000
0183 GP(24)=0.02348322998899600
0184 GP(25)=0.022737069965532900
0185 GP(26)=0.02196634442074400
0186 GP(27)=0.02117293989119100
0187 GP(28)=0.02035579715433300
0188 GP(29)=0.01951402140145000
0189 GP(30)=0.01866087982741100
0190 GP(31)=0.017782562281004500
0191 GP(32)=0.01688347988424500
0192 GP(33)=0.015970302902562000
0193 GP(34)=0.015038721026994000
0194 GP(35)=0.014090941772314000
0195 GP(36)=0.013128229566961000
0196 GP(37)=0.0121516046710389000
0197 GP(38)=0.0111622102099838000
0198 GP(39)=0.010160770535009000
0199 GP(40)=0.009148671230733000
0200 GP(41)=0.008120876925633000
0201 GP(42)=0.007098470791133000
0202 GP(43)=0.0060605054550423500
0203 GP(44)=0.005014202742937100
0204 GP(45)=0.003964554338444000
0205 GP(46)=0.002910731817934000
0206 GP(47)=0.001853960788946000
0207 GP(48)=0.000796792065552000
0208
0209 DO 1500 J=49,96
0210 GN(J)=-GN(J-48)
0211 GP(J)=GP(J-48)
0212 1500 CONTINUE
0213
0214 ELSE
0215 GOTO 5000
0216
0217 ENDIF
0218
0219 5000 CONTINUE
0220
0221 RETURN
0222 END

```

*A	FIN	JCb	2831	RSCS	2831	1	001	001	RENENF	1130031
*A	FIN	JCb	2831	RSCS	2831	1	001	001	RENENF	1130031
*A	FIN	JCb	2831	RSCS	2831	1	001	001	RENENF	1130031
*A	FIN	JCb	2831	RSCS	2831	1	001	001	RENENF	1130031
*A	FIN	JCb	2831	RSCS	2831	1	001	001	RENENF	1130031

ANNEXE 2
CARTES UTILISÉES

ANNEXE 3
DISQUETTES DU PROGRAMME DEPHASE

ÉVALUATION DES CONSTANTES GÉO-ÉLECTRIQUES POUR
LA PRÉDICTION DU DÉPHASAGE SECONDAIRE DES
ONDES LORAN-C
(EST DU CANADA)

par

Gilbert POULIOT, Jean-Guy LECLERC, Richard MONGEAU,
Pierre BÉLANGER, François BERTRAND et Madeleine BÉRUBÉ

Université Laval

Avril 1988

RÉSUMÉ

Le modèle mathématique de propagation des ondes terrestres doit tenir compte des constantes géoélectriques le long de la trajectoire de propagation, de façon à évaluer le déphasage secondaire permettant un positionnement terrestre, maritime ou aérien avec une précision supérieure à 100 m. Le site choisi pour l'étude est la partie est de la province de Québec, particulièrement le golfe du St-Laurent. Les constantes géoélectriques sont évaluées en tenant compte des recherches déjà effectuées dans cette région. Une classification du territoire est proposée en fonction de la géologie et de la pédologie, de façon à estimer le mieux possible les constantes géoélectriques dont une valeur est proposée en tenant compte également de la teneur en eau des minerais.

REMERCIEMENTS

Nous aimerions remercier Approvisionnement et Services Canada et Pêches et Océans Canada pour leur soutien financier (projet UPL299), MM. Seguin, Têtu et Stein de l'Université Laval, Madame Michaud de la Physique du globe, MM. Fulton et Vincent de la Commission Géologique du Canada, monsieur Dubois de l'Université de Sherbrooke, monsieur Chouteau de l'École polytechnique de Montréal et monsieur Maxant de l'Hydro-Québec pour leur support technique.

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
<u>REMERCIEMENTS</u>	3
<u>TABLE DES MATIERES</u>	4
<u>Introduction</u>	5
<u>Site d'étude et caractéristiques</u>	6
<u>Les paramètres géo-électriques</u>	8
<u>Revue des travaux antérieurs</u>	10
<u>Choix des données géo-électriques</u>	11
<u>Géologie</u>	13
<u>Dépôts de surface</u>	14
<u>Pédologie</u>	16
<u>Choix des épaisseurs de dépôts de géologie de surface</u>	17
<u>Problèmes</u>	18
<u>Conclusion</u>	21
<u>BIBLIOGRAPHIE</u> (livres).....	22
(cartes)	24
<u>ANNEXE 1</u>	25
<u>ANNEXE 2</u> <u>ÉTUDE DE CAS</u>	28
 <u>LISTE DES TABLEAUX</u>	
<u>TABLEAU 1: Données géo-électriques de la géologie de</u> <u> sous-surface</u>	30a
<u>TABLEAU 2: Données géo-électriques et épaisseur de la</u> <u> géologie de surface</u>	30b
<u>TABLEAU 3: Données géo-électriques de la pédologie</u>	31
<u>CURRICULUM VITAE</u>	32

Introduction

Il existe présentement différents systèmes de positionnement en navigation maritime et aérienne. Le système Loran-C qui utilise une fréquence de 100 KHz ($\lambda = 3$ km) est le plus utilisé de ceux-ci pour des raisons de coûts et de convention de la part des autorités canadiennes et américaines. Son ordre de précision varie entre 400 - 500 m en mer et de 3 à 5 km en milieu estuarien et côtier. Selon Johler et al. (1979) les paramètres topographiques et les propriétés géo-électriques de la géologie de sous-surface, celle de surface et de la pédologie, font partie des éléments perturbant le signal, modifiant ainsi considérablement la précision du positionnement.

Toujours selon cette même équipe, l'intégration de ces différents paramètres dans un modèle mathématique adéquat peut corriger sensiblement les erreurs causées par ceux-ci. De plus, selon Mongeau (en préparation) nous pouvons obtenir un positionnement optimum à 30 m dans les conditions idéales d'information avec ce modèle mathématique.

Les buts de cette étude se veulent dans un premier temps bibliographique afin de faire le point sur les données concernant la résistivité électrique des trois différentes couches (géologie de sous-surface, de surface et pédologie) et de leur constante diélectrique pour les différentes associations minéralogiques et organiques et dans un second temps le choix et l'adoption de valeurs numériques de ces deux composantes pour les intégrer au modèle de prédiction du déphasage secondaire des ondes Loran-C. Nous voulons dans un dernier temps soulever les différentes difficultés entourant la problématique des données géo-électriques dans ce modèle de prédiction.

Site d'étude et caractéristiques

Le site d'étude correspond au territoire couvrant la région de Charlevoix, la Côte-Nord, l'Ile d'Anticosti, la Péninsule Nord-Ouest de Terre-Neuve et le Nouveau-Brunswick pour la limite sud; le 56° de latitude nord pour la limite Nord et le 72° de longitude ouest pour la limite Ouest (figure 1).

Son choix est fonction de l'information recueillie pour les trois niveaux lithologiques et de leur complexité dans leur distribution spatiale, de l'activité maritime près des côtes, d'une topographie représentant l'ensemble de l'Est du Canada et de la présence de trois stations émettrices localisées au Labrador (Fox Harbour), à Terre-Neuve (Cap Race) et à la frontière Nouveau-Brunswick - Maine (Caribou).

La géologie de sous-surface de notre site fait partie de six provinces géologiques: celle du Supérieur, du Churchill, du Nain, de Grenville, des Appalaches et des Basses-Terres du St-Laurent (figure 1). Elles sont caractérisées par des assemblages lithologiques et structuraux différents et d'âge allant de l'Archéen (3 600 Ma.) au Dévonien (345 Ma.). Globalement, les faciès observés dans les différentes provinces peuvent se classer selon trois groupes. Le premier correspond aux Basses-Terres du St-Laurent et est principalement composé de roches sédimentaires de plate-forme peu ou pas déformées. Le second groupe, les Appalaches, fait partie de la séquence de roches de grande profondeur où il y a un mélange de roches sédimentaires et volcaniques qui a subi au moins deux phases de plissements (Orogénèses Taconique et Acadienne). Le dernier groupe, avec les provinces du Supérieur, du Churchill, du Nain et du Grenville, s'insèrent dans la catégorie des roches métamorphiques passant du schiste vert aux granulites.

L'information de la géologie de surface met en évidence la dernière glaciation avec ses composantes dont les caractéristiques lithologiques sont reliées à des environnements passant par des faciès marins, glacio-marins, lacustres, glacio-lacustres, glaciaires et fluvio-glaciaires variant en épaisseur selon les endroits.

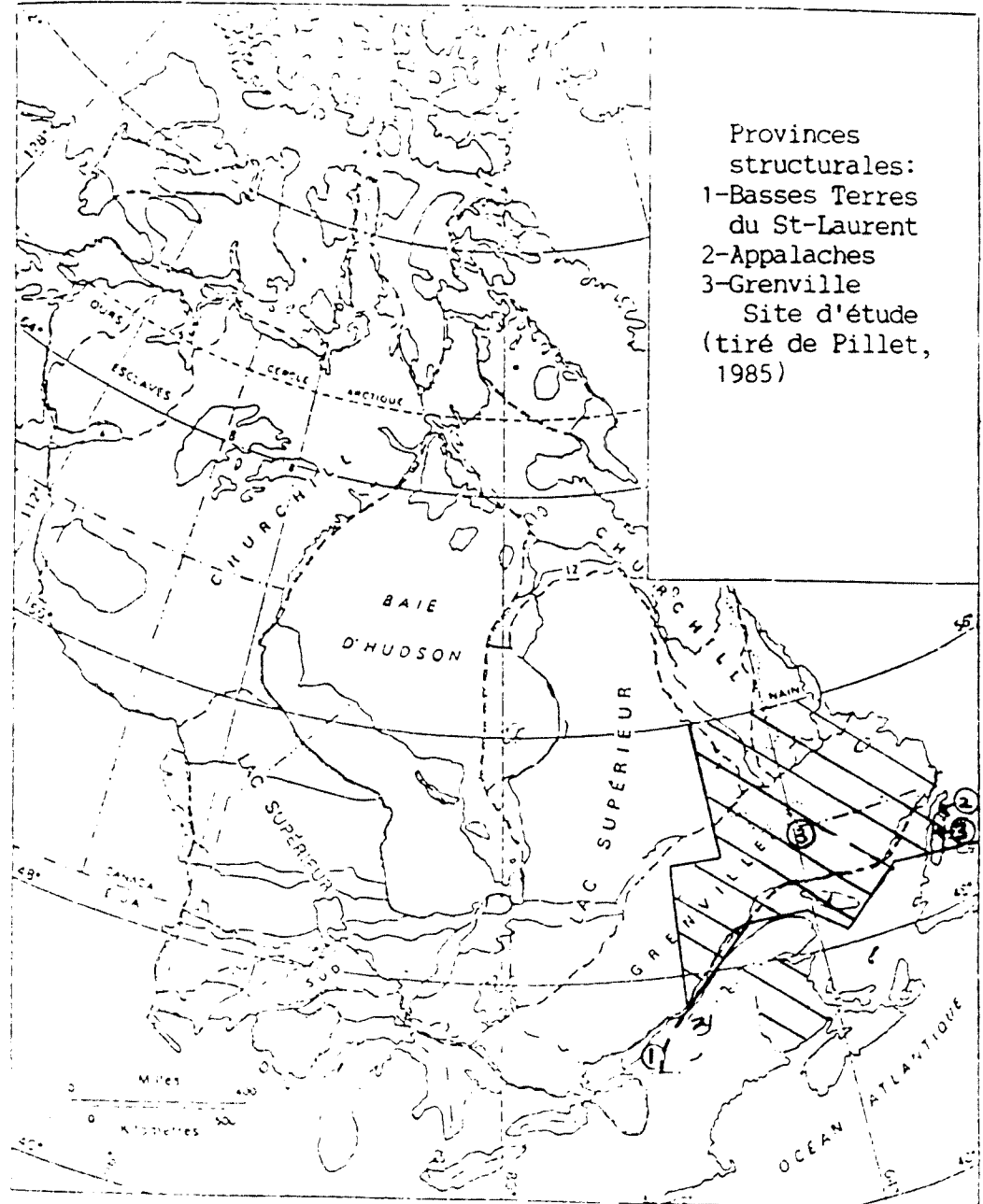


Figure 1. Carte de localisation

Provinces
structurales:
1-Basses Terres
du St-Laurent
2-Appalaches
3-Grenville
Site d'étude
(tiré de Pillet,
1985)

Figure 1. Carte de localisation

La couche pédologique se caractérise surtout par deux grandes catégories de sols, soit: le podzol humo-ferrique et les tourbières. Il est à noter que certains secteurs sont sujets à des saturations en eau plus ou moins prolongées et que la variation de l'épaisseur de sol est variable selon les différents environnements.

Les paramètres géo-électriques

Les différentes études faites par Keller (1966), Parkhomenko (1967), Topp et al. (1980) et Stein et Kane (1983), montrent bien la variation de la constante diélectrique en fonction de la porosité, de la teneur en eau, de la fréquence utilisée, de l'association minéralogique et chimique des roches, du pergilisol, de la pression et de la température, etc. La forme générale de cet élément s'écrit:

$$\epsilon = 1 + 4\pi \kappa$$

où κ est la susceptibilité diélectrique et ϵ est supérieur à 1 (Parkhomenko, 1967).

Dans le cas de la résistivité électrique, Keller (1966), Parkhomenko (1967), Jaeger (1972), Trantina (1962), Seguin et Allard (1984), proposent des valeurs qui fluctuent selon la porosité de la roche ou du matériau non consolidé, de sa teneur en eau et de sa salinité, de sa composition chimique et minéralogique, de la fréquence et des instruments utilisés, du couvert neigeux, du pergilisol, etc.

De façon générale, l'équation de la résistivité électrique s'écrit:

$$\rho = V/I \cdot S/r \text{ (Seguin, 1971)}$$

où

- S = la section des faces en travers desquelles le courant passe,
- V = le voltage entre les électrodes du potentiel P_1 et P_2 ,
- r = la distance entre P_1 et P_2 ,
- R = V/I = la résistance électrique.

La variation des différents paramètres va donc influencer fortement ou faiblement chaque valeur géo-électrique selon l'importance de ceux-ci dans leur environnement.

Ces valeurs géo-électriques permettront la définition, la plus exacte possible, des limites "air/terre" que rencontreront les ondes de basses-fréquences LORAN-C lors de leur propagation. Ces ondes seront exponentiellement atténuées en entrant en contact avec la surface terrestre selon les caractéristiques particulières de la conductivité ou de la résistivité. Quoique le sol en un endroit donné soit subdivisé géologiquement, de telles discontinuités ne représentent pas nécessairement une limite électrique aussi évidente que la limite "air/terre" à la surface du sol. Ainsi, étant donné la variation selon la profondeur de la résistivité ρ_i et de la constante diélectrique ξ_i ($i = 1,2,3,\dots$), le sol sera considéré anisotrope et le concept d'impédance sera introduit afin d'incorporer ces différentes valeurs et de permettre conséquemment une représentation fidèle de la limite électrique "air-terre" sous une forme dite "efficace":

Figure 2. Section géoélectrique du sol montrant les trois couches distinctes.

Revue des travaux antérieurs

Actuellement, les données géo-électriques (résistivité électrique et constante diélectrique) sont rares. Dans l'Est du Canada, certaines études de résistivité électrique par méthodes magnéto-telluriques furent effectuées par Kurtz et al. (1982) et par Chouteau (1985) dans la région de Charlevoix. Les travaux de Kurtz et al. ont porté sur la distribution de la résistivité dans le manteau supérieur et la croûte d'une centaine de mètres à 200 km alors que ceux de Chouteau ont investigué le sous-sol de quelques mètres à 1 km.

Les compagnies minières, étant d'autres utilisateurs de ce paramètre, mettent leurs documents à notre disposition par l'intermédiaire du ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. L'information tirée de ceux-ci est presque exclusivement orientée vers des cibles minéralisées correspondant à des caractéristiques très locales du point de vue lithologique et résistivité électrique. Il est donc difficile, à partir de ces documents, d'établir une bonne relation avec de grands ensembles lithologiques d'autant plus que les explications sur les différentes valeurs obtenues ne sont pas très développées.

La dernière série de données de terrain recueillies pour ce paramètre, met en évidence les variations de résistivité électrique dans les environnements de pergélisol. Seguin et Allard (1984 et 1984*), Seguin (1976), Seguin (1974) et Seguin et Cauchon (1972) démontrent bien l'influence de cet élément sur le paramètre tant pour la géologie de sous-surface que celle de surface et ceci en fonction des différents paramètres géo-électriques cités ci-haut. Dans le cadre de ces études, les méthodes de résistivité électrique utilisées sont: le courant continu, le courant alternatif (fréquence 4 Hz), la polarisation provoquée et la polarisation spontanée (Seguin, 1976).

Dans le cas d'études faites en laboratoire, Keller (1966) et Parkhomenko (1967) présentent la résistivité électrique des roches et minéraux ainsi que de certaines composantes des sols en courant continu. Jaeger (1972) considère les valeurs de résistivité des différentes couches de sédiments meubles (sables, tills et argiles) pour les différents travaux d'ingénierie.

L'étude de la constante diélectrique est beaucoup moins élaborée que la résistivité électrique. Les données prises sur le terrain par Stein et Kane (1983) et Topp et al. (1980) nous proposent des valeurs de constante diélectrique pour les sols minéraux et organiques variant selon la profondeur de l'échantillon et de sa teneur en eau.

Comme dans le cas de la résistivité électrique, Keller (1966) et Parkhomenko (1967) font mention de données obtenues en laboratoire, principalement sur les roches et minéraux.

Choix des données géo-électriques

Il est essentiel, avant toute chose, de faire une mise au point en présentant les différents critères de base qui nous permettent d'introduire dans le modèle mathématique les valeurs de résistivité électrique et de constante diélectrique.

Le premier d'entre eux doit considérer la surface terrestre non pas comme une couche de composition chimique et aux conditions physiques homogènes, mais plutôt comme des couches d'épaisseurs variables se superposant les unes aux autres où les paramètres chimiques et physiques varient. Johler (1979) propose l'utilisation de trois couches qui correspondent à la pédologie, à la géologie de surface ou la géomorphologie et à la géologie de sous-surface ou les différents types de roches (voir figure 2). L'épaisseur de chacune d'elles est variable selon le processus de mise en place et les remaniements subséquents. Dans notre cas, la couche pédologique sera de 1 m puisque de manière générale, on retrouve peu ou pas de classes ayant des valeurs supérieures à celle-ci.

La seconde couche, la géologie de surface, peut varier de 0,5 à 120 m selon le cas (Dubois, 1983). Il est important de mentionner que ces fortes accumulations sont causées par le comblement de dépressions profondes et que cette information est souvent ponctuelle. Leur localisation se trouve presque exclusivement près des côtes et aux endroits des principaux cours d'eau actuels. Nous proposons, compte tenu de ces variations, une épaisseur maximale de 20 m telle que choisie par Johler (1979) puisque globalement cela représente l'ensemble de cette unité.

La dernière couche qui constitue la géologie de sous-surface, peut être affleurante ou se situer à une profondeur quelconque dépendamment de l'épaisseur des couches sus-jacentes. Selon le modèle mathématique, cette couche a une extension infinie vers le bas.

Le second point touche les valeurs de résistivité. En réalité, lorsque l'on parle de résistivité électrique, on ne parle pas de la valeur "réelle" de ρ mais d'une résistivité apparente (ρ_a). Les raisons qui motivent ce choix viennent du fait que pour un flux de courant constant dans le temps, la valeur de ρ est variable en différents points de l'espace et que cette variation dépend, en plus, du choix de la configuration géométrique des électrodes (Seguin, 1971). L'interprétation des courbes obtenues (ρ_a) nous fournit la distribution géométrique des résistivités volumiques vraies du sous-sol.

La configuration du Schlumberger est utilisée dans les différents travaux de Seguin (1974-76) et Seguin et Allard (1984-84*) pour lesquels nous avons choisi certaines valeurs. L'expression mathématique de ρ_a s'écrit comme suit:

$$\rho_a = \frac{\pi}{4r} (d^2 - r^2) \left(\frac{V_1 - V_2}{I} \right)$$

où:

r est la distance séparant les deux électrodes de potentiel;

d est la distance entre les deux électrodes de courant;

V_1 et V_2 est la différence de potentiel entre les électrodes de potentiel;

I est l'intensité du courant aux électrodes de courant (Seguin, 1971).

Dans le cas des études faites en laboratoire, le même principe mathématique est utilisé.

Il faut aussi mentionner que la région étudiée n'est pas déficiente en eau, contrairement au site de Johler (1979) qui était en milieu semi-désertique à désertique. Nous considérons par le fait même que les valeurs choisies seront moins résistives que celles de Johler (1979), sauf pour les secteurs où il y a eu remontée des sels minéraux qui peuvent abaisser considérablement ces valeurs.

Un troisième critère est la géologie de sous-surface qui se présente souvent comme une information en fonction de l'âge. On peut donc, à titre d'exemple, retrouver une intrusion granitique d'âge Ordovicien et une autre d'âge Dévonien ayant des ressemblances minéralogiques. Il s'agit, dans cette situation, de ne pas considérer l'âge comme un critère, comme Johler (1979) le propose, mais l'association minéralogique pour éviter le dédoublement de l'information et une trop longue liste de données qui rendraient long et coûteux le traitement numérique. Dans certains cas, nous n'avons aucune valeur pour des classes retenues. Nous avons donc choisi de les introduire avec la classe qui se rapprochait le plus de celle-ci. Il en est de même pour les deux autres couches et, compte tenu du faible répertoire de données géo-électriques, de leur source, de la variabilité de la résistivité électrique et de la constante diélectrique, et d'un manque d'information pour bien évaluer chaque composante de chaque couche, les valeurs proposées ne sont que des approximations qui sont dans les domaines des possibilités en fonction des indices obtenus par les cartes et certains documents écrits.

Il faut, de plus, considérer la partie occidentale de la province de Québec, d'une part, et la partie septentrionale de la province de Québec et le Labrador, d'autre part, sous deux systèmes. Le premier système n'est pas soumis au pergélisol et le deuxième l'est mais de manière discontinue et en îlots. Selon Seguin (communication personnelle) on peut considérer cette dernière surface comme étant continue par le fait qu'il n'existe présentement aucune carte des îlots de pergélisol sur tout ce territoire, que le pourcentage de surface gelée augmente selon l'élévation topographique et latitudinale, et que la période de dégel qui n'est que de trois à quatre mois et parfois moins n'est pas suffisante pour pénétrer en profondeur et dégeler tous les matériaux. Compte tenu de ces aspects, nous considérons donc que la couche pédologique ne sera pas soumise au pergélisol, mais que la géologie de surface et celle de sous-surface subiront cette influence.

Géologie

Les valeurs de constantes diélectriques pour les ensembles géologiques sont tirées de Keller (1966) et Parkhomenko (1967). Le premier auteur utilise différentes fréquences dont le 100 KHz de façon répétitive, sur des échantillons secs, sauf les grès, pour évaluer cette constante. Le second auteur évalue celle-ci avec différentes fréquences non répétitives sur des échantillons secs. Le choix des valeurs correspond aux constantes diélectriques qui sont le plus près de la fréquence utilisée par la chaîne Loran-C (tableau 1).

La résistivité électrique des associations lithologiques provient essentiellement de quatre auteurs: Keller (1966), Parkhomenko (1967) et Seguin et Allard (1984). Les deux premiers auteurs ont utilisé le courant direct et les deux autres le courant alternatif (4 Hertz).

Les valeurs retenues correspondent, dans les cas où il n'y a pas l'influence du pergélisol, aux plus basses de celles-ci car en se trouvant dans un milieu très métamorphisé et tectonisé, le système de fractures qui est très développé, favorise la pénétration de l'eau et une diminution de la résistivité. Dans le cas où nous sommes en zones de pergélisol, les études de Seguin et Cauchon (1972) et Seguin et Allard (1984) proposent des

valeurs, obtenues surtout dans le secteur de la Baie James, qu'ils évaluent selon les cas de 3 à 4 fois plus résistives qu'une surface dégélée. De plus, d'une façon générale, Keller et Frischknecht (1966) ont évalué que la résistivité d'une roche est d'environ 10 à 100 fois plus grande pour des mesures effectuées à une température de -12°C que celle mesurée à une température standard de 18° . Ceci est causé par la résistivité de l'eau qui est de $30 \Omega\text{-m}$ à l'état liquide et de $4 \times 10^7 \Omega\text{-m}$ à l'état solide. Il est à noter que les valeurs de Keller (1966) sont des échantillons secs et que ceux des autres auteurs ont un contenu en eau (tableau 1).

Dépôts de surface

Les valeurs de constantes diélectriques pour les différents dépôts de surface ne sont pas disponibles. Les valeurs retenues proviennent de Keller (1966) qui utilise des sédiments secs sableux, loameux et argileux à différentes fréquences. Pour celle du Loran-C, il obtient pour les sables 2,65, pour les loams 2,60 et pour les argiles 2,79 (tableau 2).

La résistivité électrique du till à blocs varie de $6\ 600 \Omega\text{-m}$ à $13\ 200 \Omega\text{-m}$ selon les relevés faits par Seguin et Allard (1984). Considérant que l'apport de blocs crée un matériau moins cohésif et plus résistif, dépendamment si la matrice est sableuse, silto-argileuse ou argileuse, nous jugeons adéquat une résistivité de $13\ 200 \Omega\text{-m}$.

Globalement, les tills sont principalement constitués de sables et de graviers avec une partie argileuse et/ou silteuse. Selon Seguin et Allard (1984), les résistivités moyennes d'un till dégélé est de $12\ 000 \Omega\text{-m}$ et gelé $69\ 000 \Omega\text{-m}$. Dans le cas où ceux-ci sont plus limoneux et silteux, les valeurs devraient se rapprocher plus des argiles qui varient de 1 à $150 \Omega\text{-m}$ selon Jaeger (1972) et de 130 à $1\ 000 \Omega\text{-m}$ selon Seguin et Allard (1984). Nous proposons donc $500 \Omega\text{-m}$, ce qui devrait refléter une valeur entre un échantillon sec et un autre saturé en eau.

Le faciès des dépôts marins, glacio-marins et lacustres varient des graviers aux argiles selon leur mode de mise en place et les remaniements qu'ils ont pu subir. Nous considérons donc à l'intérieur de cette classe trois catégories. Celle silto-argileuse dont les valeurs varient de 1 à

150 $\Omega\text{-m}$ selon Jaeger (1972) et de 130 à 1 000 $\Omega\text{-m}$ (Seguin et Allard, 1984); considérant que ce sont des sédiments localisés près des masses d'eau et qu'ils peuvent en contenir une certaine quantité, une valeur de 130 $\Omega\text{-m}$ est acceptable compte tenu que l'eau réduit la résistivité. Dans le cas où le sol est gelé, Seguin et Allard (1984) obtiennent des résultats variant de 370 à 6 000 $\Omega\text{-m}$; nous favorisons la valeur la plus résistive puisque ce type de sédiments contient fréquemment des teneurs élevées en eau. Celle sableuse varie de 1 à 100 $\Omega\text{-m}$ selon la teneur en sel (Jaeger, 1972) et selon Seguin et Allard (1984) obtiennent 3 000 $\Omega\text{-m}$; dans ce cas, nous optons pour 3 000 $\Omega\text{-m}$ qui semble mieux représenter nos conditions environnementales en supposant que le sel qui aurait pu être interstitiel s'est dissout et que le sable ait une cohésion plutôt mauvaise; la dernière catégorie, les sédiments gravelo-sableux sont similaires aux matériaux grossiers de types deltaïques et de paléorivages auxquels Seguin et Allard (1984) attribuent des valeurs de 18 000 $\Omega\text{-m}$.

La dernière classe, le fluvio-glaciaire, est principalement constituée de dépôts sablo-graveleux ou gravelo-sableux. Selon Seguin (1976), la résistivité électrique d'une association similaire variait de 75 000 à 110 000 $\Omega\text{-m}$ dans un milieu gelé. Compte tenu que la fraction plus grossière est plus abondante dans les sédiments gravelo-sableux, la plus forte valeur ($11 \times 10^4 \Omega\text{-m}$) sera utilisée. N'ayant aucune valeur sur ces associations lorsqu'elles sont dégelées, nous proposons les mêmes valeurs (18 000 $\Omega\text{-m}$) que les matériaux grossiers de types deltaïques et de paléorivages puisque ceux-ci ont une granulométrie similaire malgré une génèse différente.

Pédologie

Les différentes valeurs de constantes diélectriques de la pédologie proviennent des études de Stein et Kane (1983) et Topp et al. (1980). Celles-ci sont basées sur une fréquence variant de 1 MHz à 1 GHz selon le type de sédiments et de sa teneur en eau. Le tout s'exprime par l'équation suivante qui donne une constante diélectrique relative à l'air:

$$K^* = K' + J(K'' + (\sigma_{dc}/\omega\epsilon_0))$$

où:

K^* = constante diélectrique complexe,

K' = partie réelle de la constante diélectrique,

K'' = partie imaginaire de la constante diélectrique,

σ_{dc} = fréquence 0 de conductivité,

ω = fréquence angulaire de l'onde ($2\pi f$),

ϵ_0 = 8.854×10^{-12} F/M,

J = $(-1)^{1/2}$

Les valeurs choisies tiennent compte uniquement de la teneur en eau et du type de sédiments (tableau 3).

Les valeurs choisies pour la résistivité électrique proviennent en partie de Jaeger (1972) et sont établies selon des relevés de terrain en courant continu. Dans le cas du gleysol, ces valeurs se situent entre 1 et 150 Ω -m et, considérant que le drainage de cette classe est imparfait, donc possiblement saturé en eau, nous estimons celle-ci à 10 Ω -m. Le brunisol dystrique, variant de 10 à 150 Ω -m, a un drainage moyen d'où une valeur estimée à 100 Ω -m. Le luvisol gris varie dans les mêmes valeurs de résistivité que le gleysol avec un drainage moyen. Sa valeur est estimée à 75 Ω -m. Le podzol humo-ferrique varie entre 80 et 1 500 Ω -m avec un drainage surtout excessif. La valeur de 1 500 Ω -m lui est décernée. Et la classe organique a une valeur supérieure à 10^4 Ω -m selon Seguin et Allard (1986). Compte tenu du mauvais drainage, cette valeur est acceptable. Il est à noter qu'elle correspond à un appareillage utilisant le courant alternatif.

Choix des épaisseurs de dépôts de géologie de surface

Les épaisseurs de dépôts de géologie de surface choisies pour la province de Québec et le Labrador proviennent d'études faites par Dubois au cours des années 1974 à 1977. De façon générale, selon les valeurs recueillies sur le terrain, le till n'excède pas 15,2 m d'épaisseur et se retrouve sous forme de placages inférieurs à 1 m au-dessus de la limite

marine qui est située autour de 131 m. Il est composé de 45 à 75% de sable, de 14 à 31% de gravier et de 22 à 35% de silt et d'argile (Dubois, 1979). Compte tenu de ces informations, ce dépôt aura une épaisseur pour l'ensemble du secteur en-dessous de la limite marine de 5 m et de 1 m au-dessus de cette limite.

Les divers environnements marins et lacustres ont été regroupés en une seule classe car ils présentent globalement les mêmes affinités lithologiques soit de manière décroissante, plus de 50% de silts, entre 10 et 40% d'argile et entre 5 et 15% de sable. Selon les relevés observés par Dubois (1979), cette classe peut varier de 6 à 120 m. Comme nous l'avons cité ci-haut, ces grandes épaisseurs sont très localisées. Nous proposons pour cette classe un minimum de 20 m pour l'ensemble.

Dans la classe fluvio-glaciaire, les graviers et les blocs sont en tête avec 51% et plus, suivis des sables qui peuvent varier entre 12 et 52% et viennent derrière les silts et les argiles (Dubois, 1979). Leur épaisseur se localise entre 2 et 12 m selon les secteurs. Nous suggérons la cote de 8 m comme étant représentative avec un dépôt de type gravelo-sableux.

Le secteur de la Péninsule Nord-Ouest de Terre-Neuve a été cartographié par D.R. Grant et, compte tenu que la carte et le rapport ne sont pas publiés, nous n'avons aucune valeur d'épaisseur pour ce territoire. Malgré tout, deux études faites plus au sud de notre site nous permettent d'estimer ces épaisseurs.

D'après les coupes observées par Brookes (1973) qui sont toutes localisées sur le bord du St-Laurent, l'épaisseur de till et de till à blocs aurait un maximum de 4 m. Selon Grant (1975), on observe à l'intérieur des terres, sur le plateau, des placages de till inférieurs à 2 m et dans les principales cuvettes, supérieurs à 2 m. Considérant que le till est plus gravelo-sableux, selon les légendes, et que le till à blocs est plus grossier, nous admettons deux classes pour cette unité et nous proposons une valeur intermédiaire à 3 m pour l'épaisseur car ces dépôts devraient diminuer verticalement au fur et à mesure que l'on pénètre à l'intérieur du plateau.

Les dépôts d'origine marine sont principalement constitués de sable et de gravier, toujours selon les coupes de Brookes (1973). Les épaisseurs seraient de 3 à 30 m. Il faut considérer que le site où l'on a retrouvé une trentaine de mètres de ces sédiments est localisé dans un milieu bien protégé permettant une bonne accumulation. Dans les autres cas, une quinzaine de mètres fut observée. Nous considérons que cette dernière valeur est acceptable.

Les environnements fluvioglaciers ne sont représentés que dans une coupe où l'épaisseur est de 15 m et dont le type sédimentologique est sablo-graveleux (Brookes, 1973).

Comme Terre-Neuve, le Nouveau-Brunswick aura deux tills. Dans les deux cas, Rampton et al. (1984) ont observé des épaisseurs variant entre 0,5 et 3 m. Le till à blocs, toujours selon ces auteurs, comprend plus de 35% des fragments qui sont supérieurs aux galets (25 - 500 mm) et l'autre till est principalement loameux (silo-sableux). Nous proposons, pour ces deux éléments, une épaisseur de 2 m.

Les dépôts d'origine marine et ceux qui y sont associés, sont principalement composés de sable dont l'épaisseur varie entre 0,5 et 10 m (Rampton et al., 1984). En considérant que la partie côtière possède un type plus abondant de dépôts que tous les autres réunis et que son épaisseur se situe entre 0,5 et 3 m, nous proposons la valeur maximale qui semble bien correspondre comme valeur commune.

La dernière classe, les dépôts fluvioglaciers, ont une lithologie de sable et de gravier. Nous avons associé à ceux-ci les dépôts fluviaux récents qui possèdent ces mêmes caractéristiques (Rampton et al., 1984). Leur épaisseur, dans tous les cas, est estimée à plus d'un mètre cinquante et dans certains cas à plus de 5 mètres. Nous optons pour 4 m, car il nous semble qu'elle soit mieux adaptée pour l'ensemble du contexte.

Problèmes

Dans un premier temps, les difficultés de cette étude se retrouvent sous deux formes. L'information obtenue par les cartes pour les trois couches concernées pose un problème d'échelle qui se reflète par le fait même sur la précision de l'information à cartographier. Il faut aussi associer à cela l'hétérogénéité dans la nomenclature des sigles et dans la description des différents éléments par les différents auteurs de même que l'information erratique laissant de grandes étendues sans aucune interprétation.

En second lieu, dans le cas des données géo-électriques, les difficultés d'intégration se situent à quatre niveaux intimement liés. Le premier concerne les valeurs obtenues en laboratoire où les conditions d'environnement (température, humidité et salinité) ne sont pas respectées et où les échantillons n'ont pas nécessairement les mêmes caractéristiques physiques (porosité, fracture, etc.) et minéralogiques que ceux que l'on retrouve sur notre site d'étude. Au second niveau, les valeurs des données de laboratoire qui peuvent apporter un biais sur les résultats finaux, nous incitent à nous tourner vers les valeurs obtenues sur le terrain qui ne touchent pas les trois couches dans toutes leurs principales variations de faciès et dont le nombre d'observations est très faible. Dans un cas comme dans l'autre, les résultats ne pourront permettre l'optimisation du modèle mathématique et l'estimation des données pour obtenir les meilleurs résultats en est que plus difficile. Le troisième problème relie la résistivité électrique et la constante diélectrique à un milieu de pergélisol qui couvre près de la moitié du Québec et du Canada. Ce paramètre influence le signal au cours de son parcours et par le fait qu'il soit discontinu et en îlots, donc mobile dans l'espace et le temps selon les conditions de navigation, de la proximité de l'eau saline et de son infiltration dans les différentes couches et de la température annuelle (Seguin et Allard, 1984) il est difficile de bien estimer et d'interpréter ces surfaces de façon à ce qu'elles soient représentatives dans le modèle mathématique.

Enfin, le dernier point concerne l'influence de l'eau saline et de son infiltration dans les secteurs côtiers qui ne sont pas sous l'influence du pergélisol, mais pouvant faire baisser considérablement les valeurs de résistivité électrique et faire augmenter la constante diélectrique. Les trois sources pouvant influencer ces valeurs sont:

- 1) invasion des mers post-glaciaires sur le continent et le piégeage du sel dans les dépôts;
- 2) la fluctuation des marées dans les secteurs côtiers peu élevés par rapport au niveau de la mer permettant la mobilisation et la cristallisation des sels
- 3) et la salination par le vent.

Dans tous ces cas aucune donnée n'est disponible.

Conclusion

Il est possible que la précision de 30 m recherchée pour le positionnement LORAN-C ne puisse être atteinte au cours de cette première étape à cause des différentes lacunes déjà mentionnées. L'estimation la plus rigoureuse possible des différents paramètres pour les trois couches selon les conditions minimum d'environnement permettra d'améliorer sensiblement les résultats et il faut malgré tout relancer les différents domaines de recherche qui sont liés de près aux sciences de la terre pour compléter l'information manquante dans le but de rendre plus fiable la chaîne Loran-C comme système de positionnement en navigation maritime et aérienne.

BIBLIOGRAPHIELivres

- CHOUTEAU, M. *The Highly Conductive Structure of Ste-Mathilde (Québec): Interpretation from Magnetotelluric Sounding.* CIM Bulletin, pp. 69-74, 1985.
- DUBOIS, J.M. *Géomorphologie et formations meubles de la zone cotière de la moyenne côte nord du Saint-Laurent (12L, 22I, 22J).* Dép de géographie, Université de Sherbrooke, septembre 1983.
- GRIFFITHS, D.H. et R.F. KING. *Applied Geophysics for Engineers and Geologists.* Pergamon Press, 1965, p. 223.
- HALLOF, P.G. *Electrical: IP and Resistivity, in Practical Geophysics for Exploration Geologist.* Chap. 2, North West Mining Association, 1980.
- JAEGER, C. *Strains, Nodulus of Deformation and Failure - Electrical Resistivity Method, in Rock Mechanics and Engineering.* Chap. 6, Cambridge at the University Press, 1972.
- JAGANNADHA SARMA, V.V. et V. BHASKARA RAO. *Variation of Electrical Resistivity of River Sands, Calcite and Quartz Powders with Water Content, Geophysics.* Vol. 27-4, pp. 470-479, 1962.
- KELLER, G.V. et FRESCHKNECHT. *Electrical Methods in Geophysical Prospecting.* Pergamon Press, p. 526, 1966.
- LASFARGUES, P. *Prospection électrique par courants continus.* Masson et Cie, 1957, p. 290.
- MONGEAU, R. *Étude de la propagation des ondes de basses-fréquences du système de radio-navigation LORAN-C.* Thèse, 1987 (sous rédaction).
- JOHLER, J.R., R.H. DOHERTY et A.R. COOK. *Loran-C Pulse Transient Propagation. Part 1 - Geophysical and Geological Data Base Evaluation for Loran-C Ground Wave Propagation Medium.* CRPL 1-78-9, Final Report, 45 p., 1979.
- KELLER, G.V. *Electrical Properties of Rocks and Minerals, in Handbook of Physical Constants.* Section 26, The Geological Society of America, Memoir 97, pp. 553-577, 1966.
- PARASNIS, D.S. *Mining Geophysics.* Elsevier Scientific Publishing Company, 1973, p. 395.
- . *Principles of Applied Geophysics.* Chapman and Hall Ltd, 1962, p. 176.
- PARKHOMENKO, E.I. *Electrical Properties of Rocks.* Plenum Press, New-York, 314 p, 1967.

Cartes

- AVRAMTCHEV. *Carte géologique du Québec*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, 1982.
- DOUGLAS, R.J.W. *Carte géologique du Canada*. #1250A, Commission géologique du Canada, 1969.
- GRANT, J.R. *Carte 1610A. St-Anthony - Blanc-Sablon*. Commission géologique du Canada, (sous presse).
- *Carte 121, Terre-Neuve*. (non publié).
- POTTER, R.R., J.B. HAMILTON et J.L. DAVIES. *Carte géologique du Nouveau-Brunswick*. Ministère des Ressources naturelles du Nouveau-Brunswick, 1979.
- TARDIF, L. *Carte des grands groupes de sols dominants du Québec méridional*. Ministère de l'Agriculture du Québec, 1977.
- RAMPTON, V.N., R.C. GAUTHIER, J. THIBAUT et A.A. SEAMAN. *Quaternary Geology of New-Brunswick*. Mémoire 416, Commission géologique du Canada, 1984.
- Soils of Canada*. Agriculture Canada, 1977.
- Cartes de géologie de surface*. #NM-19,20 et NN-19,20,21, Commission géologique du Canada (non publié).
- Island of New Foundland (1967) Map*. 1231 A (1:1 000 000) Commission géologique du Canada.

ANNEXE 1

Voici quelques éléments tirés de Parkhomenko (1967), pour évaluer la porosité et la teneur en eau dans la constante diélectrique.

Porosité:

- a) Spécimen contenant des inclusions sphériques où la distance entre les sphères est plus grande que le diamètre des sphères:

$$\epsilon = \epsilon_0 \left(\frac{2\epsilon_0 + \epsilon_1 - 2\theta(\epsilon_0 - \epsilon_1)}{2\epsilon_0 + \epsilon_1 - \theta(\epsilon_0 - \epsilon_1)} \right)$$

(équation de Maxwell, p. 20)

ϵ_0 = perméabilité diélectrique du spécimen,

ϵ_1 = perméabilité diélectrique des inclusions,

θ = le rapport volume/inclusions.

- b) avec des sphères ayant d'autres diamètres:

$$\epsilon = \epsilon_0 \left(1 - \frac{3\theta}{\theta + \left(\frac{2\epsilon_0 + \epsilon_1}{\epsilon_0 - \epsilon_0} \right) - 0,523 \left(\frac{\epsilon_0 - \epsilon_1}{4/3\epsilon_0 + \epsilon_1} \right) \theta^{10/3} + \dots} \right)$$

- c) avec un spécimen ayant 2 composantes données par la formule de Lichteniker:

$$\log \epsilon = \theta_1 \log \epsilon_1 + \theta_2 \log \theta \epsilon_2$$

S'il y a une grande différence dans les perméabilités diélectriques, on utilise la formule de θ de Levskie:

$$\epsilon = \beta + \sqrt{\beta^2 + \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{2}}$$

où:

$$\beta = \frac{(3\theta_1 - 1)\epsilon_1 + (3\theta_2 - 1)\theta_2}{4}$$

ϵ = perméabilité du spécimen,
 ϵ_1 et ϵ_2 = perméabilité des composantes,
 θ_1 et θ_2 = fraction de volumes des 2 composantes où
 $\theta_1 + \theta_2 = 1$

Pour calculer la constante diélectrique selon une teneur en eau supérieure à 1% pour les roches sédimentaires:

$$\epsilon = \epsilon_0 \omega^n$$

(Parkhomenko, p. 45)

où:

ω = contenu en eau de la roche,
 ϵ_0 = constante diélectrique de la roche sèche,
 n = paramètre empirique de 0,3 à 0,33.

Dans le cas de la résistivité, Keller et Frischknecht (1966) ont observé que la résistivité varie de façon inversement proportionnelle au carré de la porosité et ceci pour des roches calcaires et de grès:

$$Q = a Q_\omega \varphi^{-m}$$

(Loi d'Archie, p. 21)

où:

Q = résistivité apparente,
 Q_ω = résistivité de l'eau dans les pores,
 φ = porosité exprimée en fraction par unité de volume de la roche,
 a et m = paramètres assignés arbitrairement où a est un peu moins que 1 et m est un peu plus que 2 pour une roche bien cimentée et à grains moyens et moins que 2 pour l'inverse.

Toujours selon ces mêmes auteurs, l'équation pour trouver la résistivité d'une roche à un degré de saturation est:

$$\frac{Q}{Q_{100}} = a S_\omega^{-n_2}; \quad S_\omega < S_\omega c$$

où:

Q = résistivité apparente d'une roche partiellement désaturée,

Q_{100} = roche complètement saturée avec la même solution électrolyte,

S_{ω} = fraction totale des pores remplis par la solution,

a = 0,05 pour un grès et 0,5 roches ignées,

n_2 = entre 4 et 5,

$S_{\omega C}$ = valeur critique de saturation

pour le grès = 25% du total des pores

pour les roches ignées = 70 à 80% du total des pores.

ANNEXE 2ÉTUDE DE CAS

Suite à la cartographie des trois couches représentant la pédologie, la géologie de surface et celle de sous-surface, certaines anomalies sont ressorties en fonction des différentes sources de données qui ont servi à la présentation graphique de l'information.

En premier lieu, la carte pédologique nous indique des secteurs représentant le roc alors que sur la carte de dépôts meubles il y a des dépôts de géologie de surface pour ces mêmes zones. Nous proposons donc trois solutions:

- a) laisser l'information telle qu'elle est sans aucune modification;
- b) ne pas se préoccuper de la couche pédologique mais en conservant les zones de dépôts organiques (tourbières) car elles sont très résistives. Le reste de l'information est habituellement contenu dans la partie des dépôts de géologie de surface;
- c) considérer les trois couches mais en ne s'occupant pas, pour les deux premières couches, des zones qui sont sur le roc ce qui éviterait certaines confusions.

Les solutions b et c me semblent les plus acceptables.

Certaines anomalies sur l'épaisseur de la couche de géologie de surface peuvent engendrer des erreurs de positionnement. Il faudra augmenter principalement celle du milieu côtier et plus particulièrement celle des rivières actuelles selon les épaisseurs proposées par Dubois (1979).

Pour la géologie de sous-surface, la partie du Labrador comporte de grands ensembles qui sont plus ou moins en accord avec la réalité. Une carte, plus détaillée, augmentera le rendement du modèle.

Pour terminer, les différentes valeurs de résistivité électrique et de constante diélectrique peuvent être modifiées en respectant dans la mesure du possible les critères environnementaux tels que la proximité de l'eau saline, le pergélisol, la granulométrie des sédiments meubles et la porosité des roches.

	ϵ (constante diélectrique)	ρ (résistivité)
Granite	6,11 (10^5 Hz)* sec	dégelé: 4 500 Ω -m** gelé : 62 000 Ω -m***
Anorthosite	10,9 (10^5 Hz)* sec	dégelé: 4 000 Ω -m** gelé: (40 000)
Basalte	10,3 (5×10^5 Hz)** sec	dégelé: 1 600 Ω -m** gelé : 36 000 Ω -m***
Granulite	9,0 (5×10^7 z)** sec	dégelé: 3 600 Ω -m*** gelé : (36 000 Ω -m)
Gneiss	8,5 (10^5 Hz)* sec	dégelé: 68 000 Ω -m** gelé: 160 000 Ω -m ⁺
Gabbro	8,56 (10^5 Hz)* sec	dégelé: 1 600 Ω -m** gelé :
Marbre	9,0 (10^7 Hz)** sec	dégelé: 14 000 Ω -m** gelé : (140 000 Ω -m)
Quartzite	4,4 (5×10^5 Hz)** sec	dégelé: 4 000 Ω -m*** gelé : 600 000 Ω -m ⁺⁺⁺
Dolomie	8,1 (10^5 Hz)* sec	dégelé: 350 Ω -m** gelé : (3 500 Ω -m)
Calcaire	8,86 (10^5 Hz)* sec	dégelé: 292 Ω -m* gelé : (3 000 Ω -m)
Shale	45 (10^6 Hz)** sec	dégelé: 163 Ω -m* gelé : (1 600 Ω -m)
Grès	6 (10^5 Hz)* 0,7% d'eau	dégelé: 35 000 Ω -m** gelé : (350 000 Ω -m)

*	Keller (1966)	+	Seguin (1976)
**	Parkhomenko (1967)	++	Seguin (1974)
***	Seguin et Allard (1984)	+++	Seguin (1972)

N.B.: Pour les valeurs de résistivité sous condition de gel non retrouvées dans les différentes références, un facteur multiplicatif de 10 est considéré.

Tableau 1: Données géo-électriques de la géologie de sous-surface

	Terre-Neuve	Côte Nord et I. d'A.	Québec et Charl.	Nouveau-Brunswick
Till à blocs	. 3 m d'épaisseur . blocs, sables et graviers . $\rho = 13\ 200\ \Omega\text{-m}^*$. $\epsilon = 2,65\ (10^5\ \text{Hz})^{***}$			. 2 m d'épaisseur . blocs et loameux . $\rho = 13\ 200\ \Omega\text{-m}^*$. $\epsilon = 2,60\ (10^5\ \text{Hz})$
Till	. 3 m d'épaisseur . sablo-graveleux . $\rho = 12\ 000\ \Omega\text{-m}^*$. $\epsilon = 2,65\ (10^5\ \text{Hz})^{***}$	. 5 m d'épaisseur . sablo-graveleux . $\rho = 12\ 000\ \Omega\text{-m}^*$. $\epsilon = 2,65\ (10^5\ \text{Hz})$. $P^* = 69\ 000\ \Omega\text{-m}$	. 5 m d'épaisseur . sablo-graveleux . $\rho = 12\ 000\ \Omega\text{-m}^*$. $\epsilon = 2,65\ (10^5\ \text{Hz})$	. 2 m d'épaisseur . loameux . $\rho = 500\ \Omega\text{-m}$. $\epsilon = 2,65\ (10^5\ \text{Hz})$
Dépôts marins glacio- marins et lacustres	. 15 m d'épaisseur . gravelo-sableux . $\rho = 18\ 000\ \Omega\text{-m}^*$. $\epsilon = 2,65\ (10^5\ \text{Hz})^{***}$	. 20 m d'épaisseur . silto-argileux . $\rho = 130\ (\Omega\text{-m})$. $\epsilon = 2,79\ (10^5\ \text{Hz})$. $P^* = 6\ 000\ \Omega\text{-m}$	. 20 m d'épaisseur . silto-argileux . $\rho = 130\ (\Omega\text{-m})$. $\epsilon = 2,79\ (10^5\ \text{Hz})$	. 3 m d'épaisseur . sableux . $\rho = 18\ 000\ \Omega\text{-m}^{****}$. $\epsilon = 2,65\ (10^5\ \text{Hz})$
Fluvio- glaciaire	. 15 m d'épaisseur . sablo-graveleux . $\rho = 18\ 000\ \Omega\text{-m}^*$. $\epsilon = 2,65\ (10^5\ \text{Hz})^{***}$	. 8 m d'épaisseur . gravelo-sableux . $\rho = 18\ 000\ \Omega\text{-m}^*$. $\epsilon = 2,65\ (10^5\ \text{Hz})$. $P^* = 110\ 000\ \Omega\text{-m}$	. 8 m d'épaisseur . gravelo-sableux . $\rho = 18\ 000\ \Omega\text{-m}^*$. $\epsilon = 2,65\ (10^5\ \text{Hz})$	. 4 m d'épaisseur . sableux-graveleux . $\rho = 18\ 000\ \Omega\text{-m}^*$. $\epsilon = 2,65\ (10^5\ \text{Hz})$

* Certaines parties de ces régions sont sous l'influence du pergélisol discontinu.
Les travaux de Séguin (1971) et Séguin et Allard (1984) proposent l'interprétation de certains résultats.

** Séguin, 1976.

*** Keller, 1966.

**** Séguin et Allard, 1984.

Tableau 2: Données géo-électriques et épaisseur de la géologie de surface

Classification

	ϵ	ρ
. Gleysol: argile et loam argileux, drainage imparfait	26*	10 Ω -m (Jeager 1972)
. Brunisol dystrique: loam et loam sableux, drainage moyen	13*	100 Ω -m (Jeager 1970)
. Luvisol gris: loam, loam argileux et argile, drainage moyen	17*	75 Ω -m (Jeager 1972)
. Podzol humo-ferrique: loam sableux pierreux, drainage variable (surtout excessif)	4*	1 500 Ω -m (Jeager 1972)
. Fibrisol: matière organique et couche de sphaine, drainage mauvais	34*	10 ⁴ Ω -m (Seguin & Allard 1986)

* Toop et Al. (1980), Stein et Kane (1983)

Tableau 3: Données géo-électriques de la pédologie

CURRICULUM VITAE

Pierre BÉLANGER a terminé un baccalauréat ès Sciences (Géodésie) en 1983 à l'Université Laval. Il a entrepris une maîtrise en Géodésie sur l'étude du positionnement cinématique du système hyperbolique LORAN-C au Département des Sciences géodésiques et de télédétection de l'Université Laval qu'il terminera à l'automne 1986.

François BERTRAND a obtenu en 1983 un baccalauréat ès Sciences (Mathématiques) à l'Université Laval. Il a aussi complété en décembre 1985 une maîtrise ès Sciences (analyse numérique) au même endroit.

Madeleine BÉRUBÉ étudiante de 2ième cycle à l'Université Laval. Sujet de maîtrise: Application de la théorie des variables régionalisées à la résolution des problèmes aux valeurs limites de la géodésie physique.

1976-1978 - D.E.C. ès Sciences - CEGEP de Sept-Iles.

1978-1982 - Baccalauréat ès Sciences (Géodésie) - Université Laval

Jean-Guy LECLERC détient un baccalauréat ès Sciences en Arpentage de l'Université Laval (1968), une maîtrise ès Sciences (Géodésie) de cette même institution (1972), un doctorat ingénieur-technologue de l'Institut Royal Polytechnique de Stockholm (1975). Professeur agrégé à l'Université Laval depuis 1978, il agit comme conseiller technique auprès du ministère des Terres et Forêts et de diverses compagnies privées.

Richard MONGEAU a terminé un baccalauréat ès Sciences appliquées en Sciences géodésiques en 1984 à l'Université Laval. Récipiendaire d'une bourse du CRSNG en 1984, il a entrepris une maîtrise en géodésie sur la propagation des ondes basses-fréquences LORAN-C au Département des sciences géodésiques et de télédétection de l'Université Laval.

Gilbert POULIOT a terminé un baccalauréat ès Sciences en géographie en 1981 à l'Université du Québec à Montréal, ainsi qu'un baccalauréat ès Sciences en géologie en 1984 à ce même institut. Il a entrepris une maîtrise en géographie, option télédétection, en 1983 à l'Université de Sherbrooke et graduera à l'automne 1986.