

251828

DÉTERMINATION DE LA FLÉCHETTE DES FILS À
HAUTE-TENSION TRAVERSANT LES VOIES NAVIGABLES

Projet de recherche effectué grâce à une subvention
du programme de développement de l'emploi accordée au
SERVICE HYDROGRAPHIQUE DU CANADA

Équipe:

Pierre BÉLANGER,
Chercheur principal

Dr Jean-Guy LECLERC,
Directeur de la recherche

Québec, novembre 1986

TK 3144 B44
Belanger, P.
Determination de la
flechette des fils a...
251828 14048397 c.1

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	3
CHAPITRE 1. MODÈLE DE LA CHAÎNETTE	4
1.0 Introduction	4
1.1 Modèle général	5
1.2 Détermination des constantes C_0 et C_1	8
1.3 Évaluation de l'intégrale $I(x)$	10
1.4 Solution explicite de $y(x)$	11
CHAPITRE 2. LES COMPOSANTES DE CHARGE SUR LE CÂBLE	14
2.1 Introduction	14
2.2 Charge du vent	15
2.3 Charge de la glace	17
2.3.1 Définitions générales	17
2.3.2 Modèle du givrage	18
CHAPITRE 3. DESCRIPTION DE L'EXPÉRIENCE ET RÉSULTATS OBTENUS	22
3.1 Description de la méthodologie	22
3.2 Analyse des résultats	25
3.3 Coûts d'opérations des deux méthodes	31
CONCLUSION	33
REMERCIEMENTS	34
ANNEXE A. PROCÉDURE DE LA MÉTHODE CONVENTIONNELLE	
ANNEXE B. CALCULS DES POINTS GÉODÉSIQUES	
ANNEXE C. RÉSULTATS DES ORIENTATIONS DES PHOTOS	
ANNEXE D. GUIDE D'UTILISATION DU PROGRAMME CHAINETTE	
ANNEXE E. LISTE DU PROGRAMME CHAINETTE	

AVANT-PROPOS

Dans le cadre d'une subvention du programme PDE (programme du développement de l'emploi) accordée à l'Association Canadienne d'Hydrographie, le Dr Jean-Guy Leclerc a reçu le mandat d'effectuer une étude sur la détermination des fléchettes des fils à haute-tension traversant les voies navigables.

L'une des tâches du Service Hydrographique du Canada consiste à indiquer sur les cartes marines les hauteurs libres des fils à haute-tension traversant les voies navigables. Actuellement, le Service Hydrographique du Canada inscrit sur les cartes marines les données fournies par l'Hydro-Québec.

En vue de remplir son mandat plus efficacement, le Service Hydrographique du Canada a demandé de développer des méthodes et les modèles mathématiques appropriés pour déterminer les hauteurs libres des fils à haute-tension afin de corroborer les valeurs déterminées par l'Hydro-Québec.

CHAPITRE 1MODELE DE LA CHAINETTE1.0 Introduction

Dans ce premier chapitre, nous développons le modèle mathématique général d'un fil suspendu à ses deux extrémités. Les hypothèses les plus générales sont acceptées et on admet également que les extrémités des fils peuvent ne pas être aux mêmes altitudes.

1.1 Modèle général

En référence à la figure 1.1, considérons un câble suspendu aux points O et A. La direction de la tension T_0 au point O fait un angle θ_0 par rapport à l'axe (OX) et la direction de la tension T au point A fait un angle θ .

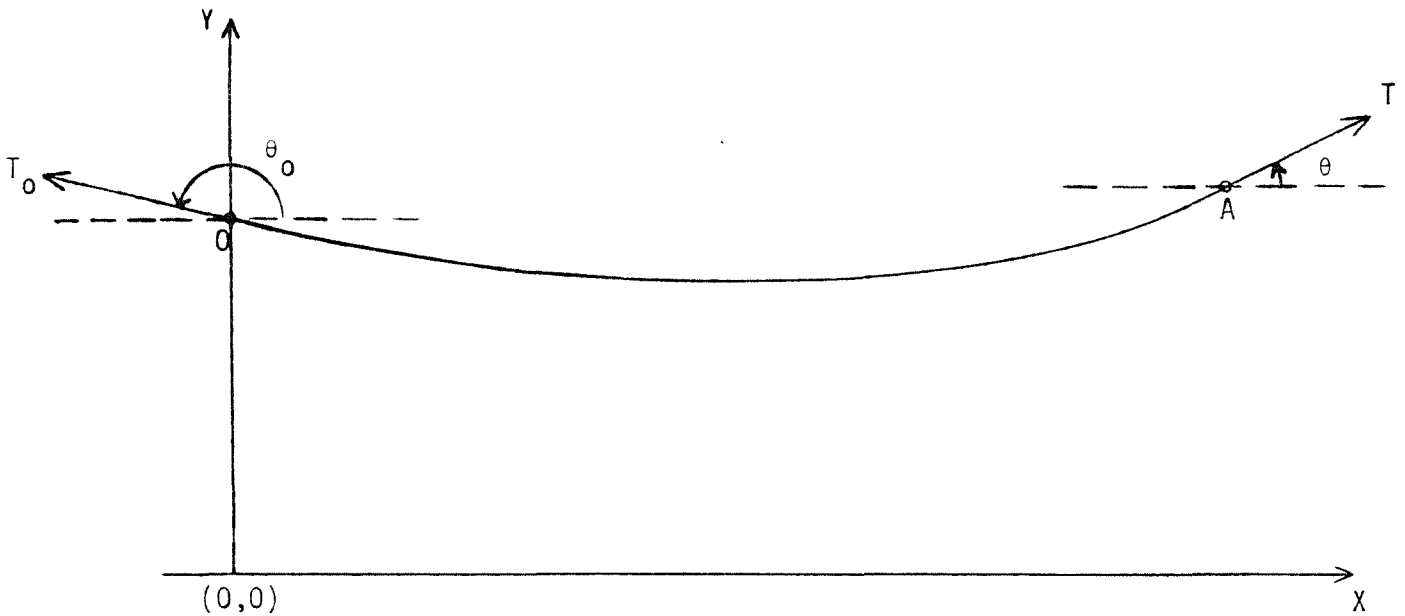


Figure 1.1

Les limites normales de θ_0 et de θ sont:

$$\begin{aligned} \pi/2 &\leq \theta_0 \leq \pi \\ 0 &\leq \theta \leq \pi/2 \end{aligned}$$

Le poids total W du câble a pour valeur:

$$W(s) = \int_0^s w(s) ds$$

(1.1.1)

dans laquelle on peut poser:

$$ds = [1 + (dy/dx)^2]^{1/2} dx$$

et $w(x)$ est le poids unitaire de l'élément ds .

L'équilibre statique des forces, s'exerçant en un point quelconque du câble, s'écrit:

$$T_0 \cos\theta_0 + T \cos\theta = 0 \quad (1.1.2)$$

pour les forces horizontales. Pour les forces verticales, on déduit de la même façon que:

$$T_0 \sin\theta_0 + T \sin\theta = W(x) \quad (1.1.3)$$

La pente θ de la tension, en un point quelconque, s'écrit:

$$\tan\theta = dy/dx$$

Des équations 1.1.3 et 1.1.2, on déduit:

$$\tan\theta = \frac{T_0 \sin\theta_0 - W(x)}{T_0 \cos\theta_0} \quad (1.1.4)$$

La dérivée de cette dernière équation donne:

$$dy^2/dx^2 = w(x) (1+y'^2)^{1/2} / (-T_0 \cos\theta_0)$$

Pour intégrer cette équation, posons:

$$v = dy/dx$$

d'où:

$$\frac{dv}{dx} = w(x) (1+v^2)^{1/2} / (-T_0 \cos\theta_0)$$

ce qui donne la relation principale de la courbe:

$$\int \frac{dv}{(1+v^2)^{1/2}} = - \int \frac{w(x)dx}{T_0 \cos\theta_0}$$

L'intégration donne:

$$\sinh^{-1}(v) = - I(x)/(T_0 \cos\theta_0) + C_0 \quad (1.1.5)$$

dans laquelle C_0 est une constante à déterminer et qui dépend des conditions d'équilibre du fil et:

$$I(x) = \int_0^x w(x)dx$$

De 1.1.5 on obtient:

$$\tan\theta = v = \sinh\{- I(x)/(T_0 \cos\theta_0) + C_0\} \quad (1.1.6)$$

et puisque par définition $dy/dx = v$, on déduit:

$$y(x) = \int dy = \int \sinh\{- I(x)/(T_0 \cos\theta_0) + C_0\}dx + C_1 \quad (1.1.7)$$

où C_1 est une deuxième constante d'intégration.

L'équation 1.1.7 est l'équation générale d'une courbe (ou d'un fil) dont les extrémités ne sont pas à la même altitude.

Pour simplifier l'écriture, nous posons:

$$R = C_0 - I(x)/(T_0 \cos\theta_0) \quad (1.1.8)$$

de telle sorte que l'équation 1.1.7 s'écrive:

$$y(x) = \int \sinh R dx + C_1 \quad (1.1.9)$$

1.2 Détermination des constantes C_0 et C_1

Les constantes C_0 et C_1 dépendent uniquement des conditions d'équilibre statique du câble. Il s'agit de les évaluer en des points connus et faciles à identifier.

Soit par exemple au point 0 où θ_0 est déjà défini. Le point $O(x_0, y_0)$ peut représenter l'origine du système de coordonnées et dans ce cas, sans enlever de généralité à la solution, on peut poser:

$$x_0 = 0$$

et on déduit alors que $I(x_0) = 0$. D'où, de l'équation 1.1.6:

$$\begin{aligned} \tan\theta_0 &= \sinh(C_0) \\ C_0 &= \sinh^{-1}(\tan\theta_0) \end{aligned} \tag{1.2.1}$$

Si $x_0 \neq 0$, on pose $I(x_0) = 0$, ce qui donne le même résultat. De l'équation 1.1.7, on déduit aussi:

$$y_0 = y(x_0) = C_1 \tag{1.2.2}$$

Les équations 1.2.1 et 1.2.2 donnent la solution explicite $y(x)$ sous la forme:

$$y(x) - y(x_0) = \int_0^x \sinh R \, dx$$

avec

$$R = \sinh^{-1}(\tan\theta_0) - I(x)/(T_0 \cos\theta_0)$$

On peut encore simplifier la valeur de R si on réalise que la pente du fil est nulle en son point le plus bas (x_1, y_1) .

De l'équation 1.1.6 on déduit à (x_1, y_1) que:

$$I(x_1) = T_0 \cos\theta_0 \sinh^{-1}(\tan\theta_0) \quad (1.2.4)$$

Cette valeur permet d'écrire R sous la forme:

$$R = [I(x_1) - I(x)] / (T_0 \cos\theta_0) \quad (1.2.5)$$

ou bien

$$R = C_0 [1 - I(x)/I(x_1)] \quad (1.2.6)$$

1.3 Évaluation de l'intégrale I(x)

L'intégrale I(x) est définie par:

$$I(x) = \int_0^x w(x)dx \quad (1.3.1)$$

avec $w(x)$ le poids unitaire du fil. On peut évaluer numériquement cette intégrale si les $w_i = w(x_i)$ sont connus entre 0 et x . Ce n'est pas toujours le cas et il est souvent préférable de poser que:

$$w(x) = a + bx + cx^2 \quad (1.3.2)$$

dans laquelle a , b et c sont des constantes à évaluer pour chaque situation. Ces variables représentent les différentes charges sur le fil [glace, neige, vent, etc.].

Si on accepte l'équation 1.3.2, on déduit:

$$I(x) = ax + bx^2/2 + cx^3/3 \quad (1.3.3)$$

et il est possible d'évaluer la fonction $y(x)$ de l'équation 1.1.9.

1.4 Solution explicite de $y(x)$

L'équation 1.2.5 peut s'exprimer sous la forme générale:

$$F(x, y, a, b, c, \theta_0, T_0) = 0$$

dans laquelle $\{x, y\}$ sont des observations et $\{a, b, c, \theta_0, T_0\}$ sont des paramètres à déterminer. Selon le mode opératoire considéré, $\{x, y\}$ peuvent aussi dépendre d'observations de directions ou de distances. Dans notre cas, nous considérons que $\{x, y\}$ sont des observations indépendantes.

Notre modèle est fondé sur l'utilisation de l'équation 1.1.9 qui nous semble la plus avantageuse.

On admet également que les observations sont assez nombreuses pour offrir une surabondance de mesures. Avec des valeurs approchées des paramètres, on déduit l'équation d'observation sous la forme:

$$AX + BV + U = 0 \tag{1.4.1}$$

dans laquelle comme d'habitude X représente les corrections aux valeurs approchées des paramètres et V est le vecteur des corrections aux observations. Les éléments des matrices A et B ont les valeurs suivantes:

$$\frac{\partial F}{\partial a} = - \int_0^x \cosh R \frac{\partial R}{\partial a} dx$$

$$\frac{\partial F}{\partial b} = - \int_0^x \cosh R \frac{\partial R}{\partial b} dx$$

$$\frac{\partial F}{\partial c} = - \int_0^x \cosh R \frac{\partial R}{\partial c} dx$$

$$\frac{\partial F}{\partial x} = - \sinh R$$

$$\frac{\partial F}{\partial y} = 1$$

$$\frac{\partial F}{\partial \theta_0} = - \int_0^x \cosh R \frac{\partial R}{\partial \theta_0} dx$$

$$\frac{\partial F}{\partial T_0} = - \int_0^x \cosh R \frac{\partial R}{\partial T_0} dx$$

(1.4.2)

Avec $R = [I(x_1) - I(x)]/T_0 \cos \theta_0$, on déduit:

$$\frac{\partial R}{\partial a} = (x_1 - x)/(T_0 \cos \theta_0)$$

$$\frac{\partial R}{\partial b} = (x_1^2 - x^2)/(2T_0 \cos \theta_0)$$

$$\frac{\partial R}{\partial c} = (x_1^3 - x^3)/(3T_0 \cos \theta_0) \quad (1.4.3)$$

$$\frac{\partial R}{\partial \theta_0} = R \tan \theta_0$$

$$\frac{\partial R}{\partial T_0} = - R/T_0$$

Si on utilise $R = \sinh^{-1}(\tan \theta_0) - I(x)/T_0 \cos \theta_0$, on obtient des résultats équivalents mais sous une forme différente.

Les coefficients des matrices A et B ont donc les valeurs suivantes:

$$\frac{\partial F}{\partial a} = -1/(T_0 \cos \theta_0) \int_0^x (x_1 - x) \cosh R dx$$

$$\frac{\partial F}{\partial b} = - [1/(2T_0 \cos \theta_0)] \int_0^x (x_1^2 - x^2) \cosh R dx$$

$$\frac{\partial F}{\partial c} = - [1/(3T_0 \cos \theta_0)] \int_0^x (x_1^3 - x^3) \cosh R dx \quad (1.4.4)$$

$$\frac{\partial F}{\partial x} = - \sinh R, \quad \frac{\partial F}{\partial y} = -1$$

$$\frac{\partial F}{\partial \theta_0} = - \tan \theta_0 \int_0^x R \cosh R \, dx$$

$$\frac{\partial F}{\partial T_0} = (1/T_0) \int_0^x R \cosh R \, dx$$

Les intégrales 1.4.4 peuvent être évaluées avec une solution numérique, comme par exemple la méthode de Simpson.

Soit par exemple à évaluer l'intégrale:

$$F(x) = \int_a^b f(x) dx \quad (1.4.5)$$

Subdivisons l'intégrale $[a, b]$ en $2m$ valeurs égales de telle sorte:

$$h = [b-a]/2m$$

et

$$x_k = a + kh \quad (k = 1, 2, \dots, m)$$

La fonction $f(x)$ est connue aux points x_k et on pose:

$$f(x_k) = f_k$$

$$\int_a^b f(x) dx = (h/3) \{ f(a) + f(b) + 2 \sum_{k=1}^{m-1} f_{(2k)} + 4 \sum_{k=1}^m f_{(2k-1)} \} \quad (1.4.6)$$

L'intégration numérique est souvent une méthode qu'il convient d'utiliser, particulièrement lorsque les fonctions à intégrer ne donnent pas de relations finies simples comme c'est le cas des équations 1.4.4

CHAPITRE 2

LES COMPOSANTES DE CHARGE SUR LE CÂBLE

2.1 Introduction

Dans ce chapitre nous traitons des principales variables qui viennent affecter le poids du câble. Il s'agit particulièrement de l'accumulation de glace, de neige ainsi que de l'effet du vent.

De nombreuses études et expériences ont été mises en oeuvre pour décrire, modéliser et quantifier ceux-ci. Cependant, dû aux conditions aléatoires et de la disposition d'une maigre banque de données, ces éléments sont peu connus et il est difficile actuellement de bien les décrire mathématiquement.

Dans ce chapitre, nous décrivons les principes fondamentaux et nous présentons un algorithme de solution développée par le *Cold Regions Research and Engineering Laboratory New-Hampshire*.

2.2. Charge du vent

D'une façon générale, un courant d'air se déplaçant à la vitesse V exerce une force "q" par unité de surface, où "q" est appelé la force dynamique de l'air:

$$q = 1/2 \rho V^2 \quad (2.2.1)$$

où " ρ " est la densité de l'air qui est fonction de l'humidité et de la pression à cette altitude et " V " la vitesse.

D'autre part, la force du vent est proportionnelle au carré de la vitesse, de telle sorte que sur la surface de la structure nous avons:

$$W = CV^2 \quad (2.2.2)$$

où C est le facteur aérodynamique du corps. Pour les surfaces semi-aérodynamiques, telles que les cylindres, le facteur C n'est pas constant pour toutes les vitesses de vents mais il dépend du nombre de Reynolds (Re) qui est défini par le rapport de la force d'inertie du vent sur la structure ($\rho V^2 D^2$) et l'élément de viscosité ($\mu D V$), c'est-à-dire:

$$Re = \frac{\rho V^2 D^2}{\mu V D} = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Déterminons l'interrelation entre le facteur aérodynamique de la structure et le nombre de Reynolds (Re).

Soit:

$$W \propto \rho^\alpha \mu^\beta V^\gamma D^\delta$$

où ρ est la densité de l'air; μ , la viscosité; V , la vitesse du vent; D , le diamètre du corps. D'autre part, soit:

$$W \propto \rho V^2 D^2 \left(\frac{\rho V D}{\mu} \right)^{-\beta}$$

En introduisant le terme $\left(\frac{\rho V D}{\mu}\right)^{-\beta}$ dans une constante de proportionnalité dénotée C_F , nous avons:

$$W = C_F A_q$$

où C_F dépend des conditions du vent, de la dimension D de la structure et de la turbulence autour de celle-ci.

Il est important de noter, pour une ligne de transport d'énergie, que nous avons un ensemble de quatre conducteurs flexibles séparés uniformément par des supports métalliques. Le nombre de Reynolds de ce type de structure varie de la zone normale à la zone hypercritique de l'aérodynamique, ce qui implique que la détermination du coefficient C_F peut être difficile à évaluer dans certaines situations. D'autre part, il est également important de considérer les effets d'interférences. Pour une structure semi-aérodynamique, il y a des effets statiques et dynamiques qui créent de la turbulence entre ceux-ci, ce qui a pour effet d'introduire des éléments perturbateurs lors de l'évaluation de C_F .

2.3 Charge de la glace

2.3.1 Définitions générales

Il y a quatre principaux types d'accumulation de glace que nous retrouvons sur les conducteurs, ce sont: le frimas, le givre, le verglas et la neige.

Voici une description brève de ceux-ci:

Le **frimas** apparaît le plus fréquemment dans les régions montagneuses. Il est blanc, opaque et sa structure est du type granuleuse. La densité de frimas est décrite entre 0.3 à 0.6 g/cm³ et sa force d'adhésion sur le conducteur est faible, de telle sorte qu'il peut être facile d'enlever celui-ci par un léger mouvement ondulatoire des conducteurs. Le frimas est principalement favorisé lorsque de petites gouttelettes d'eau sont transportées sous la vitesse du vent entre 1 à 5 m/s et à la température ambiante variant de -5 à -25°C.

Le **givre** est, par définition, une couche de glace extrêmement tenue et blanche, provenant de la cristallisation de fines gouttelettes d'eau en surfusion avec le contact d'un corps solide exposé à l'air froid. Contrairement au frimas, le givre n'a pas une structure granuleuse et sa densité est de l'ordre de 0.6 à 0.9 g/cm³. La force d'adhésion de celui-ci sur les conducteurs est très forte.

Le givre est formé lorsque de petites gouttelettes d'eau frappant une surface sous une température ambiante variant de -3 à -8°C avec des vents de 5 à 10 m/s.

Le **verglas** est une couche de glace qui se forme lorsqu'il y a de la pluie surfondue qui entre en contact avec des surfaces. Le verglas est formé par de grosses gouttelettes gelées qui frappent une surface sous la température ambiante de 0 à -3°C et sous des vents variant de 0 à -20 m/s. Le verglas est quelque fois appelé la glace bleue et sa densité est du même ordre que la glace pure, c'est-à-dire entre 0.9 à 0.917 g/cm³. La force d'adhésion du verglas est très forte.

L'accumulation de la neige sur les lignes de transmissions est favorisée lorsque la température ambiante varie de -1° à -5°C avec des vents variant de 1 à 20 m/sec. La densité de l'accumulation de la neige est de l'ordre de 0.3 à 0.8 g/cm³.

Les conditions météorologiques nécessaires pour permettre la formation de ces types d'accumulation autour des conducteurs sont décrites par la température de l'air, la vitesse du vent, le diamètre de la gouttelette d'eau, la quantité d'eau contenue dans un volume unitaire d'air. D'autre part, lorsque les gouttelettes surfondues entrent en contact avec la surface, le temps requis pour compléter la congélation de celles-ci n'est pas nécessairement instantanée. Le temps requis pour la congélation est fonction du taux de transfert de la chaleur latente de la gouttelette d'eau. Le critère pour la formation de la glace autour des conducteurs est décrit par soit " T ", le temps requis pour compléter la congélation d'une gouttelette d'eau et soit " ϵ ", l'intervalle de temps entre deux gouttelettes d'eau qui entrent en contact avec le conducteur, nous avons:

- $T < \epsilon$ est une croissance sèche (frimas) où cette condition est satisfaite lorsque la température de l'air et la vitesse du vent sont faibles et que le diamètre des gouttelettes est petit,
- $T > \epsilon$ est une croissance humide (verglas) où cette condition est satisfaite lorsque la température et la vitesse du vent sont élevées et que le diamètre de la gouttelette d'eau est grand,
- $T \approx \epsilon$ lorsqu'il y a du givre.

2.3.2 Modèle du givrage

On peut visualiser la notion d'accumulation de glace sur des objets cylindriques par le diagramme d'écoulement des conducteurs illustré à la figure 2. La manière dont l'air s'écoule autour d'un cylindre s'étudie à

partir de la théorie du givrage et des trajectoires des gouttelettes mises au point par Langmuir [1944]. Fondamentalement, il y a deux forces qui agissent sur les gouttelettes:

- i - la force de trainée,
- ii - la force d'inertie.

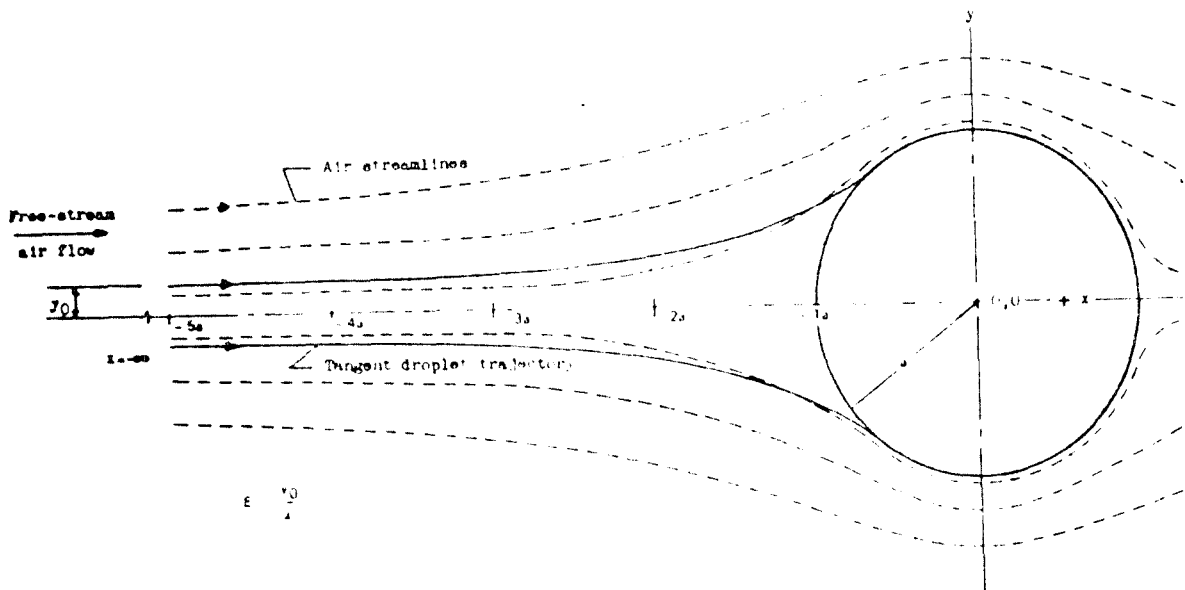


Figure 2.3.1

Diagramme d'écoulement de l'air autour d'un conducteur.

La force de trainée oblige les gouttelettes à suivre la trajectoire d'écoulement de l'air tandis que la force d'inertie les oblige à suivre une ligne droite.

La grandeur de la force de trainée est donnée par:

$$F_D = \frac{\pi}{2} C_D \rho_a a^2 V^2 \quad (2.3.1)$$

est fonction de la masse volumique de l'air (ρ_a), du coefficient de trainée des gouttelettes (C_D), de la vitesse relative de l'air, des gouttelettes (V) et de la projection frontale d'une gouttelette (a) où a est le rayon de la gouttelette.

La force d'inertie est donnée par:

$$F_I = k a^3 \rho_W \left(\frac{dV}{dT} \right) \quad (2.3.2)$$

et dépend surtout de la masse de la gouttelette ($\rho_W a^3$) et de la dérivée de la vitesse relative.

Les équations aux énoncés (2.3.1) et (2.3.2) démontrent que la dimension de la gouttelette influence d'une façon plus importante la force d'inertie que la force de traînée, ce qui signifie que les grosses gouttelettes sont moins déviées que les petites gouttelettes.

En raison du coefficient de traînée, plus un objet est grand, plus il fait dévier les gouttelettes. Cet effet peut être décrit par le coefficient d'efficacité de collecte, tel que:

$$E = \frac{Y}{D} \quad (2.3.3)$$

où Y est la projection frontale de la trajectoire des gouttelettes d'eau qui frappent le cylindre et D est le diamètre de l'objet. La grandeur de Y est déterminée par l'équation différentielle du mouvement de la goutte dans le flux d'air aux environs du conducteur.

Le champ électrique forme des dipôles dans les gouttes d'eau qui sont entraînées vers le conducteur. L'intensité du champ électrique étant E' et le diamètre de la gouttelette d'eau A = 2a, la force d'attraction sera:

$$\bar{F}_e = \frac{1}{16} A^3 \text{ grad } \bar{E}'^2 \quad (2.3.4)$$

La disposition des charges électriques dans la goutte change en tension alternative mais la force active est toujours dirigée vers le conducteur.

L'attraction des gouttes du brouillard et du givre par le champ électrique fait augmenter la largeur active Y de la couche et par la suite la charge du givre.

La torsion du conducteur à l'engivrement facilite la formation du givre. L'angle de déplacement du conducteur et du câble de garde en cas de charge excentrique est proportionnel au rapport ℓ^2/d^4 . La longueur de la portée étant $\ell \gg d$, le conducteur est facilement sujet à la torsion en cas de givre et devient recouvert de givre de tous les côtés.

D'une façon générale, la loi principale de la formation de la glace sur les conducteurs peut être représentée par:

$$G = \{ \{ (G_o K_h) K_a \} K_T \} K_e \quad (2.3.5)$$

où les coefficients K_h , K_a , K_T et K_e tiennent compte respectivement de la hauteur du conducteur, du diamètre des gouttelettes, de l'intensité du champ électrique et de la torsion du conducteur.

A ce niveau, les nombreuses études ont été effectuées pour décrire, en fonction d'un ensemble exhaustif de paramètres et le plus exactement possible, le modèle de la charge de la glace sur les conducteurs. Dans le cadre de cette étude, nous avons complété une revue bibliographique sur le sujet et nous avons retenu le modèle numérique et l'algorithme de solution de Ackley & Templeton, crrel Report 79-4, New Hampshire. A priori, ce modèle nous semble un des modèles les plus complets pour le but de cette étude.

CHAPITRE 3

DESCRIPTION DE L'EXPÉRIENCE ET RÉSULTATS OBTENUS

3.1 Description de la méthodologie

En deuxième partie à cette étude, le travail consistait à développer des méthodes pour relever des câbles traversant les voies navigables.

Au cours du mois d'août dernier, nous avons effectué un ensemble de mesures sur les conducteurs de la ligne de transmission hydro électrique 735 kv Manicouagan-Boucherville, traversée du St-Laurent, numéro 703.

Lors de cette expérience, nous avons utilisé deux méthodes de relevé. La première méthode consistait à utiliser un théodolite et un appareil électronique de distance pour mesurer des points distribués le long des conducteurs. La deuxième méthode consistait à utiliser une caméra métrique Wild RC-8 installée verticalement à l'intérieur d'un hélicoptère pour photographier les conducteurs suivant différents recouvrements longitudinales.

Le but de cette expérience consistait principalement à vérifier la possibilité d'utiliser les techniques de la photogrammétrie en vue d'effectuer la restitution de tous conducteurs traversant les voies navigables. Les avantages de favoriser cette méthode par rapport aux méthodes conventionnelles sont principalement qu'elle offre la possibilité au Service Hydrographique du Canada d'effectuer le relevé de l'ensemble des conducteurs traversant les voies navigables dans un laps de temps très court, à un faible coût et à différentes périodes de l'année.

Dans la première étape de l'expérience, nous avons implanter deux points géodésiques le long de la rive nord du site et deux autres points géodésiques le long de la rive sud. Ces quatre points seront ultérieurement classifiés dans le réseau géodésique de 3ième ordre du Québec.

En deuxième étape, nous avons relever un ensemble de points de repères sur chacune des tours de la ligne électrique dans le but de les utiliser comme points de contrôles lors de l'orientation des photographies aériennes. Ces points de repères furent relevés suivant les normes de 3ième ordre du Québec.

En troisième étape, avec la collaboration des techniciens de la Garde Côtière du Canada et du personnel spécialisé de la compagnie Aérophoto Inc., un montage temporaire fut construit pour installer une caméra métrique Wild RC-8 dans un hélicoptère Bell 206B de la Garde Côtière du Canada. Les difficultés rencontrées au cours de cette étape consistaient principalement à construire un montage répondant aux normes de sécurité pour les vols aéroportés, réduisant au maximum toutes vibrations pouvant détériorer la qualité des photos, assurant le bon fonctionnement de la caméra, facilitant les opérations du photographe dans un espace restreint et suivant un budget très limité.

D'une façon brève, la caméra RC-8 fut installée sur la banquette arrière de l'hélicoptère avec l'aide d'un montage constitué de mousse de polystyrène extrudé et de coussins spéciaux épousants la forme de la caméra. La caméra fut installée parallèlement au cadre de l'hélicoptère pour assurer la verticalité de l'axe de l'objectif par rapport aux conducteurs lors de la prise de photos. Finalement, la caméra fut attachée solidement aux parois intérieures de l'hélicoptère avec l'aide de courroies de caoutchouc. Le montage fut inspecté et approuvé par les responsables de la Garde Côtière.

Une fois que ces étapes préliminaires furent complétées, l'expérience s'est déroulée le 7 août dernier en effectuant d'une façon simultanée la prise de mesures avec les théodolites et les prises de photos aériennes. Les conditions météorologiques lors de cette journée étaient les suivantes: ciel ensoleillé avec des nuages dispersés, visibilité de 10 km, température de 23°C avec des vents de 15 km/h suivant la direction sud-est.

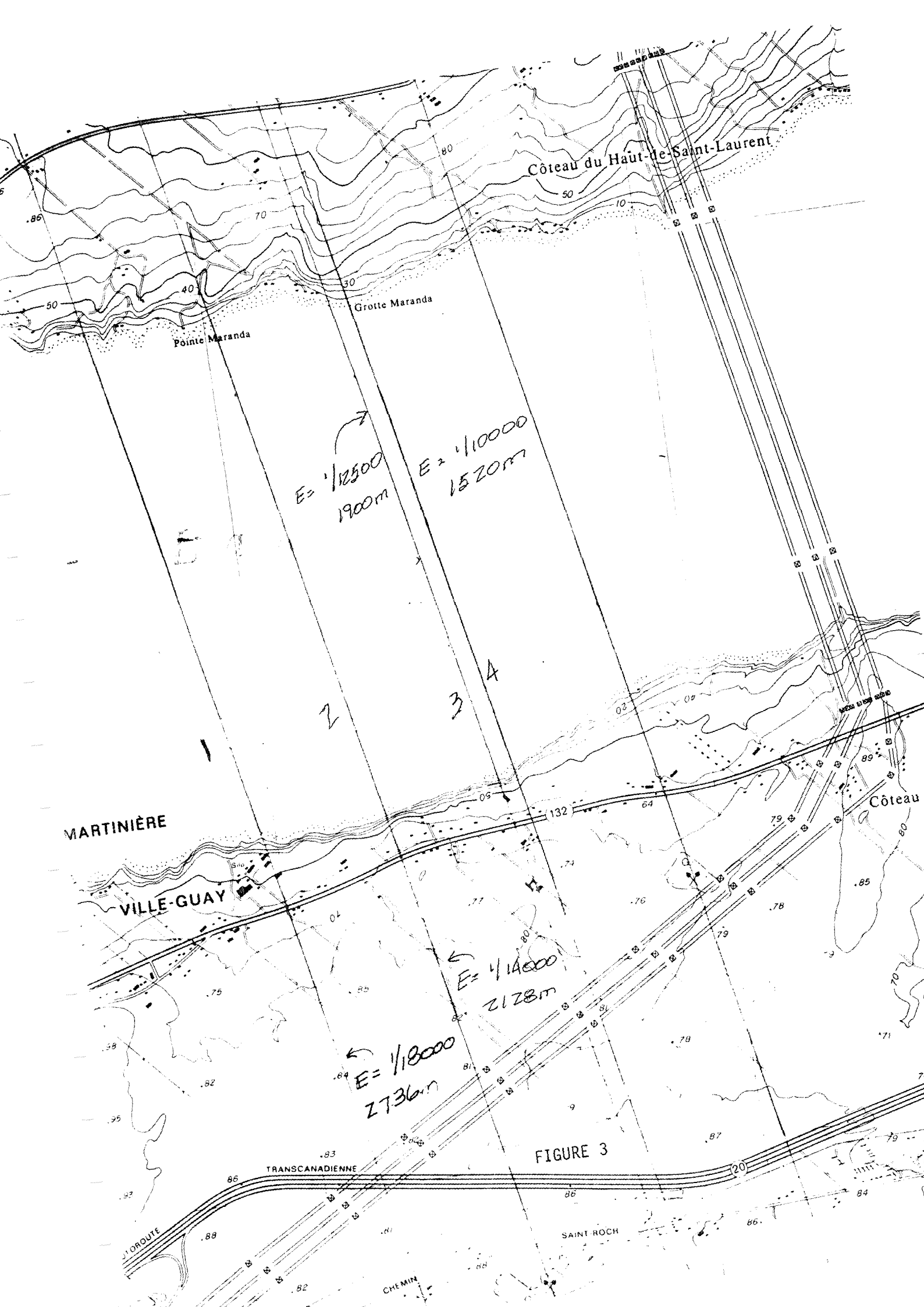
Au total, trois séries de mesures furent effectuées lors de cette journée. La première série était effectuée avec l'aide d'un théodolite et d'un appareil électronique de distance installés sur un point géodésique localisé du côté de la rive nord du site. De la même façon, pour la deuxième série, nous étions installés avec une autre équipe sur un point géodésique localisé sur la rive sud du site. La troisième série constituait l'ensemble des photos aériennes prises à des échelles différentes le long des lignes de vols prévues.

Les détails techniques de la méthode photogrammétrique sont résumés au tableau 1 et le croquis du plan de vol est donné à la figure 3.

La procédure suivie lors du relevé avec les théodolites était celle décrite et utilisée par le Service de la Protection des eaux navigables de la Garde Côtière Canadienne. Une copie de cette procédure est en annexe A.

Tableau 3.1
Détails techniques du plan de vol
pour la prise des photos

No de la ligne	Échelle	Recouvrement (%)	Distance (m)	nombre de clichés
1	1:18 000	80	2736	2
2	1:14 000	60	2128	2
3	1:12 500	80	1900	2
4	1:10 000	60	1520	2



Côteau du Haut-de-Saint-Laurent

Grotte Maranda

Pointe Maranda

MARTINIÈRE

VILLE-GUAY

Côteau

SAINT ROCH

E = 1/12500
1900m

E = 1/10000
1520m

E = 1/14000
2128m

E = 1/18000
2736m

FIGURE 3

TRANSCANADIENNE

D'ROUTE

CHEMIN

3.2 Analyse des résultats

Dans un premier temps, les calculs et les résultats de l'implantation des points géodésiques et des points de contrôle sur les tours de la ligne électrique sont présentés à l'annexe B.

Les résultats de la méthode conventionnelle utilisant un théodolite et un appareil électronique de distance pour la rive nord et la rive sud du site sont présentés respectivement aux tableaux 3.2 et 3.3. Les résultats de l'orientation relative et de l'orientation absolue des photos sur le stéréorestituteur sont en annexe C et les résultats de la restitution le long des conducteurs sont présentés au tableau 3.4. Les orientation et la restitution des photos furent effectuées sur un stéréorestituteur Wild BC-1 en utilisant les logiciels de l'appareil.

Suite à l'examen des tableaux 3.2, 3.3 et 3.4, il est intéressant de noter que les résultats obtenus avec la méthode conventionnelle sont approximativement similaires entre eux (c'est-à-dire ceux de la rive nord et de la rive sud). La hauteur libre obtenue de ce groupe de résultats est approximativement de l'ordre de 81 m. Du côté de la méthode photogrammétrique, nous soulignons qu'il a été possible d'orienter et de restituer seulement les clichés à l'échelle 1:18 000 car le recouvrement de 80% couvrait complètement la longueur de la traversée sur uniquement deux photos consécutives, ce qui permettait d'utiliser des points communs pour compléter avec succès les étapes d'orientations relative et absolue des photos.

Tableau 3.2
Observations de la méthode conventionnelle

<u>012</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>
A	0	0
1	26.493	-8.523
2	82.136	-18.905
3	138.434	-37.528
4	195.544	-37.528
5	253.616	-45.833
6	312.831	-53.368
7	373.366	-60.099
8	435.419	-66.027
9	499.209	-71.095
10	564.967	-75.311
11	632.957	-78.405
12	703.468	-80.330
13	776.826	-80.913
14	853.396	-79.871
15	933.596	-77.281
16	1017.897	-72.518
17	1106.851	-66.158
18	1201.078	-56.775
B	1584.273	0.027

Tableau 3.3
Observations de la méthode conventionnelle

<u>E105</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>
A	0	0
1	188.160	-32.748
2	328.380	-52.287
3	452.238	-65.187
4	562.760	-73.319
5	662.284	-78.002
6	752.638	-80.055
7	835.278	-80.146
8	911.375	-78.547
9	981.886	-75.817
10	1047.599	-72.079
11	1109.175	-67.538
12	1167.161	-62.387
13	1222.031	-56.688
14	1274.181	-50.557
15	1323.962	-44.046
16	1371.675	-37.205
17	1417.584	-30.056
18	1461.924	-22.654
B	1584.273	0.027

Tableau 3.4
 Résultats de la restitution des photos à l'échelle 1:18 000

<u>PT</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>
A	0	0
1	55.621	-12.974
2	117.942	-24.976
3	192.762	-38.488
4	263.648	-49.655
5	336.715	-59.276
6	432.676	-69.888
7	563.262	-79.288
8	638.013	-82.395
9	696.069	-83.477
10	761.036	-83.823
11	824.423	-82.941
12	874.888	-81.099
13	912.002	-79.298
14	967.189	-76.614
15	1010.666	-72.434
16	1052.940	-68.145
17	1148.663	-57.461
18	1195.247	-52.180
B	1236.945	-46.839

D'autre part, nous remarquons que la hauteur libre obtenue des photos à l'échelle de 1:18 000 est de l'ordre de 83.8 m ce qui correspond à un écart approximatif de 3.1 m entre la méthode conventionnelle et la méthode photogrammétrique. Cet écart peut-être expliqué a priori par les remarques suivantes:

- 1- à l'échelle 1:18 000, il fut difficile de distinguer les conducteurs de l'expérience par rapport aux autres groupes de conducteurs des lignes électriques voisines,

- 2- à cette échelle, il fut difficile de restituer les conducteurs de l'expérience car ils apparaissaient sur les clichés à la grosseur d'un fil de soie. D'autre part, la présence d'une mince couche nuageuse dans le fond de photo a eu comme effet de détériorer à certains endroits la définition nette des conducteurs, car la couleur des conducteurs s'avoisinait à celle de certains nuages.

Dans un deuxième exercice, nous avons calculé la hauteur libre des conducteurs pour chacune des séries de mesure effectuée avec l'aide du programme CHAINETTE. Le programme CHAINETTE fut développé en Fortran 77 ANSI sur le système VAX/VMS. Les modèles mathématiques utilisés dans ce programme sont ceux développés à la section précédente.

Le but de cet exercice consistait principalement à vérifier la solution analytique et la solution numérique de ces modèles mathématiques. Il est à noter cependant que les solutions numériques pour l'évaluation de la charge des vents et celle de la glace n'ont pas été introduites dans le programme CHAINETTE dû à un ensemble insuffisant de données pertinentes pour vérifier ces solutions.

Les résultats obtenus du programme CHAINETTE, pour les trois séries de mesures, sont présentés au tableau 3.5.

En comparant ces résultats avec ceux présentés aux tableaux 3.2, 3.3 et 3.4, nous remarquons que les hauteurs libres calculées avec le programme CHAINETTE sont différentes de l'ordre de 0.2 m avec celles obtenues des groupes de mesures respectifs. En complément à cette remarque, nous notons également l'homogénéité de l'écart entre les hauteurs libres calculées avec le programme de la méthode conventionnelle et ceux de la méthode photogrammétrique.

Tableau 3.5

Hauteur libre évaluée à l'aide du programme CHAINETTE

<u>Identification</u>	<u>Hauteur</u>	<u>Distance du point A</u>
Rive sud (méthode conv.)	-80.168	792.117
Rive nord (méthode conv.)	-81.291	985.080
Photogrammétrie	-83.816	737.807

3.3 Coûts d'opération des deux méthodes

En complément à cette étude, nous effectuons dans cette section une comparaison avec la méthode photogrammétrique et la méthode conventionnelle en considérant parallèlement les facteurs coût et productivité afin de situer la technique photogrammétrique par rapport à celle déjà existante tant du point de vue économique que pratique.

Dans le calcul des coûts, nous posons les hypothèses suivantes:

- i - Pour la méthode conventionnelle, l'implantation et le rattachement des points de repères utilisés sont complétés et non inclus dans l'estimé.
- ii - Pour la méthode photogrammétrique, le relevé des points de contrôle utilisés lors des étapes d'orientations est complété et non inclus dans l'estimé.
- iii - Pour la méthode conventionnelle, le temps correspond au temps requis pour faire le relevé le long du conducteur. Ce temps est référé aux données recueillies lors de cette étude et de l'expérience des relevés antécédants utilisant cette méthode.

La comparaison des coûts d'opérations des deux méthodes est présentée au tableau 3.6.

Tableau 3.6
 Comparaison des coûts d'opérations entre la méthode conventionnelle
 vs la méthode photogrammétrique

<u>Item</u>	<u>Conventionnelle</u>	<u>Photogrammétrique</u>
Location matériel	25\$/jour (T-2, DI20, embasses, trépieds, etc.)	← 500\$
Personnel	30\$/hr x 3 per x 6 hr	
Transport	50\$/jour	
Calculs	100\$ (calculs + rapport)	100\$ (restitution + calculs + rapport)
Productivité par jour	1 site	5 sites et plus
TOTAL	665\$	600\$

CONCLUSION

L'idée d'utiliser les techniques photogrammétriques pour tracer le profil des fils à haute tension traversant les voies navigables a démontré plusieurs avantages par rapport aux techniques conventionnelles. Le principal avantage de cette méthode est que le temps requis pour le relevé est cinq fois plus rapide pour une faible différence des coûts entre les méthodes.

Cependant, dans l'optique d'utiliser cette dernière dans un cadre de production, il sera important, lors des prochains développements, d'établir un mode opératoire bien défini. Par exemple, il serait intéressant de vérifier la possibilité d'installer des repères (du type ballons ou cones) le long des conducteurs météorologiques acceptables pour une bonne qualité de prises de photos.

D'autre part, pour faire suite à cette étude, nous vous suggérons quelques idées qui pourraient faire l'objet de développements intéressants:

- effectuer des essais avec des photos verticales,
- utilisation d'un appareil électronique de distance sans réflecteurs du type Wild DIOR 3001 installé à l'intérieur d'un hélicoptère et relié à un ordinateur qui pourrait calculer en temps réel la hauteur libre des conducteurs,

- regroupement des différentes données des organismes tels que Hydro-Québec, Environnement Canada, compagnies de fabrication des conducteurs, etc., pour créer une banque de données,
- mises à jour et développements mathématiques des principaux éléments de problème dont, par exemple, la glace, le vent, la fatigue des conducteurs, les effets thermiques et les effets électromagnétiques.

REMERCIEMENTS

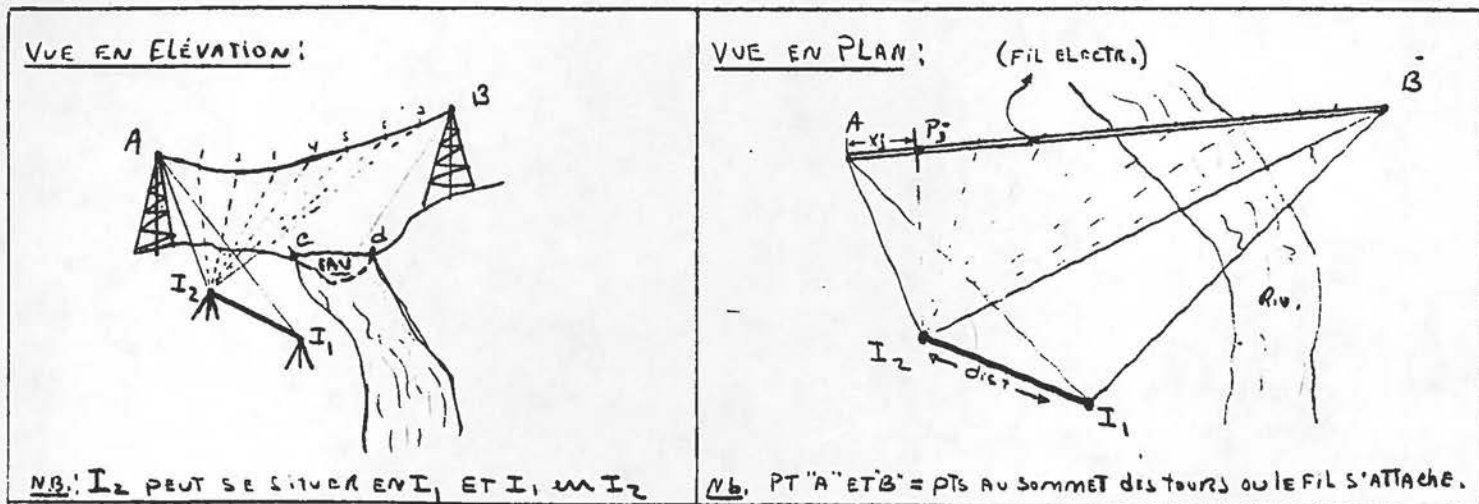
Nous aimerions remercier spécialement messieurs Guy Lafont de la Garde Côtière du Canada, Michel Pigeon d'Aérophoto Inc. et Gilles Martel d'Hydro-Québec pour la précieuse collaboration qu'ils ont apportée au cours de cette étude.

Également, nous aimerions souligner l'apport important du soutien technique du personnel de la section des Marées du Service Hydrographique du Canada, section Champlain ainsi que le personnel du Département des sciences géodésiques et de télédétection pour l'aérotriangulation des modèles photogrammétriques.

ANNEXE A

PROCÉDURE DE LA
MÉTHODE CONVENTIONNELLE

PROCÉDURE À SUIVRE POUR RELEVER LES CÂBLES AÉRIENS : (AVEC PGM. "HAUT FIL")



1.0 PROCÉDURE GÉNÉRALE :

A PARTIR DE 2 STATIONS QUE NOUS IMPLANTONS (I₁ ET I₂), IL S'AGIT DE RELEVER DE FAÇON RÉCIPROQUE L'UNE ET L'AUTRE DES STATIONS DE MÊME QUE LES 2 POINTS D'ATTACHE DU FIL ÉLECTRIQUE AU HAUT DES 2 TOURS (PT. A ET PT. B) ET A PARTIR DE L'UNE DES 2 STATIONS (CELLE JUGÉE LA MIEUX SITUÉE) DE RELEVER ENVIRON 8 A 10 PTS. SUR CE FIL.

IL FAUT AUSSI RATTACHER LES POINTS VISÉS EN ÉLEVATION (PAR NIVELLEMENT TRIGONOMETRIQUE OU GÉOMÉTRIQUE) PAR RAPPORT À UN NIVEAU DE RÉFÉRENCE : QUI PEUT ÊTRE LE "FIL DE L'EAU" DU COURS D'EAU PASSANT SOUS LE FIL ÉLECTRIQUE (PRENDRE L'HEURE AU MOMENT DE LA VISÉE) OU UN B.M. CONNU TOUT PRÈS.

2.0 INSTRUMENTATION :

1 THEODOLITE de Type "T-2" de WILD AVEC Embase + TRÉPIED,

1 TÉLÉMETRE (AVEC LE PRISME + CANNE À PRISME).

1 CIBLE AVEC L'ADAPTEUR + Embase + TRÉPIED

1 CHAÎNE

1 RUBAN A MESURER

1 BAROMÈTRE

1 PSYCHROMÈTRE (SINON, 1 THERMOMÈTRE)

Si NÉCESSAIRE : 1 NIVEAU "NI-2 WILD" + MIRE

1 CAMERA A PHOTOS

Nb: S'ASSURER QUE LA HAUTEUR DE L'ADAPTEUR CORRESPONDE A LA HAUTEUR DE L'INSTRUMENT UTILISÉ → "T-2".

Nb: S'ASSURER AUSSI QUE LES 2 Embase SONT COMPATIBLES AVEC LE T-2

[PIQUETS, PEINTURE, PETITS CLOUS

3.0 LE CHOIX DES EMPLACEMENTS DES 2 STATIONS SERA FONCTION DE:

LA STABILITE' DU SOL ENVIRONNANT.

L'ACCESSIBILITE' AUX STATIONS

L'INTERVISIBILITE' DES STATIONS ET DES POINTS.

LES ANGLES ZENITHAUX NE DEVRAIENT PAS ÊTRE PLUS PETIT QUE 60° EN LECTURE DIRECTE DE L'INSTRUMENT \rightarrow (DIST. ENTRE 400 à 800 M. DU FIL ELECTRI.)

LA DISTANCE ENTRE LES 2 STATIONS (I_1 & I_2) NE DEVRAIT PAS ÊTRE PLUS COURTE QUE LE $\frac{1}{10}$ DE LA DISTANCE ENTRE LES TOURS "A" ET "B"

IMPORTANT: NE PAS ÉTABLIR LA 2^È STATION (I_1 ou I_2) SUR LA MÊME LIGNE DE VISÉE DE LA 1^È STATION (I_1 ou I_2) VERS "A" ou "B".

4.0 LA PRISE DES MESURES:

1 - AYANT MIS L'INSTRUMENT EN STATION SUR LE PT. I_1 ou I_2 , LUNETTE DIRECTE, PLACER COMME ANGLE HORIZONTAL DE DÉPART: $0^\circ 00' 00''$ (OU ZÉRO ET QUELQUES SECONDES). EN POINTANT SUR L'AUTRE STATION ET COMMENCER LA SÉRIE DE VISÉES SUR LES AUTRES POINTS EN PARTANT DU PT A (TOUR A) ET LES AUTRES VERS LA DROITE. (VOIR LA FORMULE DE LA PRISE DES DONNÉES à la P. 4)

NB: PRENDRE LA DISTANCE $\overline{I_1 - I_2}$ (ou $\overline{I_2 - I_1}$), INSCRIRE A LA FORMULE QUE LA MOYENNE D'AU MOINS 3 LECTURES COMPATIBLES.

NB: PRENDRE L'ANGLE HORIZONTAL ET VERTICAL POUR CHACUNE DES VISÉES... INCLUANT LA VISÉE SUR L'AUTRE STATION (I_1 ou I_2). (VOIR LA FORMULE... P. 4)

2 - EN POSITION DE LUNETTE RENVERSÉE, DE LA MÊME STATION, REFAIRE LES ÉTAPES DU 1^È PARAGRAPHE, MAIS PLACER COMME ANGLE HORIZONTAL DE DÉPART $180^\circ 00' 00''$ (OU $180^\circ 00'$ ET QUELQUES SECONDES), ET PAS DE MESURE DE DIST. ENTRE LES STATIONS.

3 - SE POSITIONNER SUR L'AUTRE STATION ET REFAIRE LES MÊMES PRISES DE DONNÉES QU'aux PARAGRAPHEs 1 et 2.

NB: NE PRENDRE DES LECTURES D'ANGLES HORIZONTALS ET VERTICAUX (LUNETTE DIRECTE ET RENVERSÉE) SUR LE FIL ELECTRIQUE QUE D'UNE DES 2 STATIONS (VOIR LA FORMULE DE PRISE DES DONNÉES à la P. 4).

NB: LA FACON DE DÉTERMINER LES ENDROITS À VISER SUR LE FIL ELECTRIQUE SERAIT DE PRENDRE LA DIFFÉRENCE ANGULAIRE HORIZONTALE ENTRE LES PTS "A" ET "B" A PARTIR DE LA STATION CHOISIE ET DE DIVISER CET ANGLE EN "n" VISÉES (OU $n \approx 8$ à 10)

PLACER AU NIVEAU HORIZONTAL LES "n" VISÉES ET PRENDRE LA LECTURE DE

L'ANGLE VERTICAL LORS QUE LE FIL HORIZONTAL DU RETICULE DE LA LUNETTE SERA TANGENT AU FIL ELECTRIQUE EN CHAQUE POINT,

IMPORTANT: PRENDRE SOIN QUE LES VISEES EN POSITION RENVERSEE CORRESPONDE AUX VISEES EN POSITION DIRECTE, EX: VISEE AU PT A $\rightarrow (H_{DA} - H_{DA} = H_{R2} - H_{R1})$

4 - POUR RÉFÉRENCER EN ÉLEVATION LES POINTS VISÉS:

a) SI ON UTILISE LE NIVELLEMENT TRIGONOMETRIQUE, PRENDRE LES DONNÉES SUIVANTES

- STATION DE L'OBSERVATION: (I_1 ou I_2)
- \angle HORIZONTAL (LUNETTE DIRECTE + RENVERSEE)
- \angle VERTICAL (" " " ")
- DISTANCE (LA MOYENNE D'AU MOINS 3 LECTURES COMPATIBLES)
- LA RÉFÉRENCE: EX. FIL DE L'EAU --- BM GEODESIQUE
- HEURE DE LA VISEE (+ FUSEAU HORAIRES ---)
- HAUTEUR DU PRISME (CANNE A PRISME)

Voir LA FORMULE de la prise des données

b) SI ON UTILISE LE NIVELLEMENT GEOMETRIQUE, PRENDRE LES DONNÉES SUIVANTES:

- STATION DE DÉPART (I_1 ou I_2) au PT, $\rightarrow E_{I_1}$ ou E_{I_2} b) au HI, $\rightarrow HI_{I_1}$ ou HI_{I_2}
- POINT DE RÉFÉRENCE EX. FIL DE L'EAU --- BM. GEODESIQUE #'
- HEURE DU LEVEE (+ FUSEAU HORAIRES ---)

IMPORTANT: - VÉRIFIER SI LES ANGLES SE COMPLÈTENT ENTRE LES LECTURES DIRECTES ET RENVERSEES LORS DE LA PRISE DES DONNÉES

- Si possible, RELEVER les 2 pts c et d qui sont la limite des EAUX sous le fil.
-

LIEU:

DATE:

PROQUIS (INDIQUER LE NORD)

IDENTIFICATION DE LA LIGNE ELECTRIQUE:

I1 EST EN AMONT OU EN AVAL DE LA LIGNE ELECTR.
I2 EST EN AMONT OU EN AVAL DE LA LIGNE ELECTR.

TEMPERATURE: PRESION:
ECLAI: HUMIDE:

VENT: ENSOLEILLEMENT:
FORCE: DIRECTION:

INSTRUMENTS UTILISES.	# SERIE	SPÉCIFICATIONS (S'IL Y A LIEU)	EQUIPIERS	FONCTIONS	REMARQUES

POINT	ANGLE HORIZONTAL: ΔH.		ANGLE VERTICAL: ΔV.		DISTANCE (OBLIQUE) (MIN. DE 3 DIST.)
	VERS	DIRECT	RENVERSE	DIRECT	
I1	I2				
	A				(NIL)
	B				(NIL)

I2	I1				
	A				(NIL)
	B				(NIL)
	1				(NIL)
	2				(NIL)
	3				(NIL)
	4				(NIL)
	5				(NIL)
	6				(NIL)
	7				(NIL)
	8				(NIL)
	9				(NIL)
	10				(NIL)

NIVELLEMENT TRIGO:				NIVELLEMENT GEOM. (ANNEXER LES NOTES TERRAINS)					
POINT	A	ΔH0:	ΔV0:	DIST (obliq.)	DE	VERS (REFERENCE)	ALLER	RETOUR	MOYENNE
		ΔHR:	ΔVR:						
		ΔH _{MOY}	ΔV _{MOY}						

NOMBRE D'OBSERV. FUSEAU HORAIRE ELEVATION DU PT. (SOUS L'INSTRUMENT): HAUTEUR DE L'INSTRUMENT: HAUTEUR DU PRISME

ANNEXE B

CALCULS DES POINTS GÉODÉSIQUES

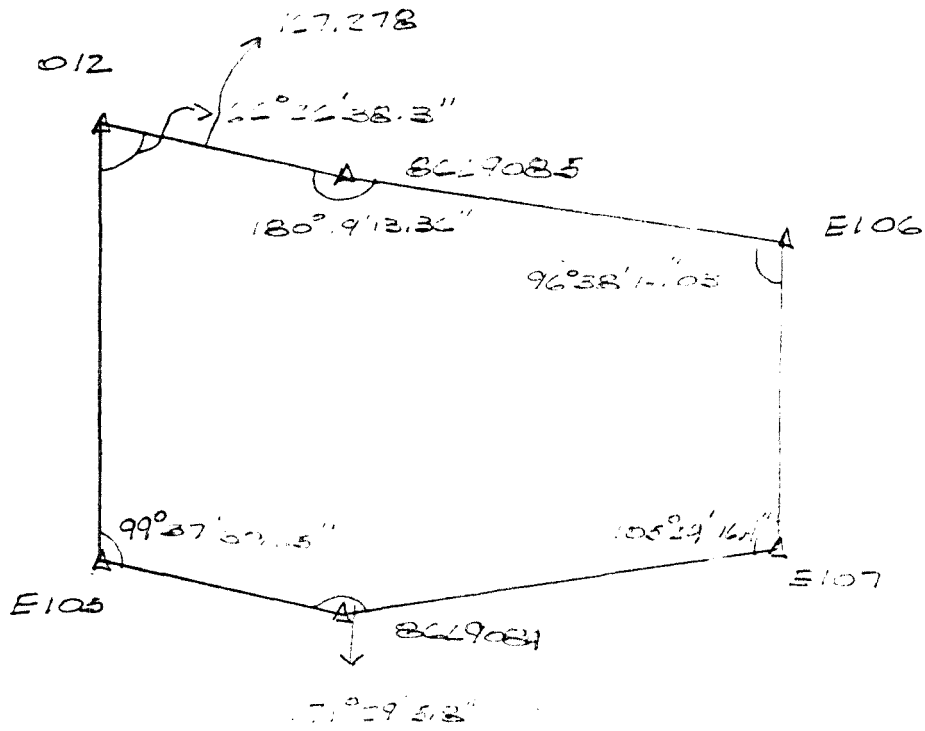


Tableau des Limites

De	A	Limite
E105	8629034	72° 18' 40.65"
8629034	E107	22° 42' 51.45"
E107	E106	247° 12' 12.85"
E106	8629085	225° 50' 23.88"
8629085	012	233° 01' 40.24"
012	E105	32° 26' 2.54"

Fermeture = 8.71"

Tolérance en angle = 18.28"

Tolérance en longueur = 27.27"

Fermeture en longueur avec méthode graphique est satisfaisante

Point	Y (cm)	X (cm)
E105	5122262.7	242428.24
8619024	5122410.480	242555.1878
E107	5122557.22	242446.0751
E106	5122524.802	242157.3006
8619035	5122553.352	241629.7244
012	5122543.57	241957.8517
E105	5122522.252	242428.1252

$$y = 2.0083 \text{ m}$$

$$x = 0.0542 \text{ m}$$

$$\text{Relative Accuracy} = \frac{\left\{ \frac{y^2 + x^2}{210.707} \right\}^{1/2}}{210.707} = \frac{2.0512}{210.707} = \frac{1}{17451}$$

Tolerance on x double distance = 6.12 cm
 " " " " " " " " " " = 4.16 cm

Tolerance on y double distance = 2.82 cm
 " " " " " " " " " " = 4.16 cm

From the above calculations we see that the
 tolerance of the instrument is

ANNEXE C

RÉSULTATS DES ORIENTATIONS DES PHOTOS

ORIENTATION PROTOCOL
MODEL NAME HYDROLIS

P M C - PROGRAM
RELEASE 3.10

=====

INITIALIZATION - PARAMETERS
=====

INSTRUMENT TYPE ANALYT 801
OPERATOR'S NAME JEAN-PAUL
ORIENTATION DATE 15 08 86

CONTROL POINT FILE HYDRO3

PHOTO NUMBER LEFT HYD2

CAMERA NUMBER UAG268

CAMERA ORIENTATION 3

PRINCIPAL DISTANCE (MM) 152.29

PHOTO NUMBER RIGHT HYD3

CAMERA NUMBER UAG268

CAMERA ORIENTATION 3

PRINCIPAL DISTANCE (MM) 152.29

TYPE OF PHOTOGRAPHY 1

TYPE OF PHOTO CORRECTION 1

TYPE OF TRANSFORMATION 0

PHOTO BASE (MM) 80.00
 CAMERA HEIGHT ABL (TERP. UNITS) ... 2460.48
 GROUND HEIGHT ABL (TERP. UNITS) ... 200.00
 DISTANCE CAMERA - OBJECT 2786.00
 MODEL NUMBER (11-10)

ORIENTATION PROTOCOL
 MODEL NAME : HY0218

PROGRAM
 PAGE 2

=====

INNER ORIENTATION

LEFT PHOTO: HY02

FID. COORDS. AND RESIDUALS IN MICRONS

PT.NO.	XT	OX	YT	OY
1	-106007.	7.	106000.	0.
2	105986.	-6.	105990.	4.
3	105927.	3.	-105987.	-3.
4	-105935.	-4.	-105989.	-1.

DX0 = -621.3 SFX = 1.00001 KAPA = .03128
 OY0 = -2229.7 SFY = 1.00001 ALFA = .00000

RIGHT PHOTO: HY03

FID. COORDS. AND RESIDUALS IN MICRONS

PT.NO.	XT	OX	YT	OY
1	-106013.	10.	106002.	-2.
2	106012.	-12.	105989.	11.
3	105997.	3.	-105981.	-9.
4	-105995.	-4.	-106000.	0.

DX0 = 76.5 SFX = 1.00001 KAPA = -.64912
 OY0 = 1627.5 SFY = 1.00001 ALFA = .00000

ORIENTATION PROTOCOL
 MODEL NAME : HYD012

P M O - PROGRAM
 PAGE 3

=====

OUTER ORIENTATION

PT. NO.	RESIDUALS ON PHOTO COORD. (MICRONS) AND					GROUND COORD. METRES		
	DXL	DYL	DXR	DYR	PY	DXG	DYG	ZZG
2	3.1	-3.6	-2.4	4.5	9.8	.328	.347	.235
3	-1.1	-2.3	-1.1	2.6	5.6			
4	.1	4.9	-1.3	-4.6	9.3			
5	.3	16.3	-1.1	-13.0	26.9			
6	-1.1	-3.9	-1.3	5.7	11.6			
7	.1	3.8	-1.1	-2.6	5.7			
8	.3	3.7	.0	-3.6	7.6			
9	3.3	-13.4	-4.1	2.6	9.3	-1.256	.076	.373
10	.6	15.0	.1	-15.7	31.0			
11	.1	-3.7	.0	5.9	11.7			
13	.1	-3.0	.0	5.9	11.7			
14	.1	.3	.0	-1.3	.7			
1	-3.8	-13.6	3.6	12.3	26.7	-1.301	-1.603	-1.320
12	-2.9	-1.1	3.4	.2	6.4	.124	-1.444	-1.381
15	.0	.1	.5	.7	.8	.109	.423	.311
RMS :				11.7		.240	.456	.345

PHOTO NO	ORIENTATION ELEMENTS AND THEIR STAND. DEVIATIONS			OMEGA	PHI	KAPPA
	XC	YC	ZC			
HYD2	-1628.35	45.15	2412.60	4.782	-7.357	-199.159
	2.21	4.30	1.52	.124	.057	.011
HYD3	-956.26	34.39	2516.59	3.670	-11.132	199.755
	3.69	5.00	.59	.124	.084	.011

ANNEXE D

GUIDE D'UTILISATION DU PROGRAMME CHAINETTE

1. Introduction

Le programme développé pour le calcul de la chaînette est écrit en FORTRAN 77 et est opérationnel sur un ordinateur VAX 785. Aucune particularité de système n'a été utilisée dans l'analyse et le développement du programme de calcul.

On utilise trois disques à accès direct pour garder temporairement en mémoire les données nécessaires aux calculs.

2. Principes de fonctionnement du programme CHAINETTE

Le programme CHAINETTE, dans sa forme actuelle, permet de calculer uniquement la chaînette d'un fil à haute tension traversant une voie navigable. L'option de l'évaluation de l'accumulation de la glace et du poids des vents par simulation n'est pas incluse dans cette version.

Les données requises pour l'exécution du programme sont divisées sur deux fichiers que vous devez créer. Les noms des fichiers sont respectivement INOBSCH.DAT et INPARCH.DAT.

Le fichier INOBSCH.DAT contient les coordonnées X, Y obtenues des relevés conventionnels et/ou photogrammétriques. Le nombre minimum de points de ce fichier est de 3 (c'est-à-dire 3 coordonnées X et 3 coordonnées Y) et le nombre maximum de points du fichier est de 20 (c'est-à-dire 20 coordonnées X et 20 coordonnées Y). Les coordonnées doivent être introduites selon l'ordre logique suivant:

<u>Identification</u>	<u>Colonnes</u>
X_A	1-15
Y_A	...
X_1	...
Y_1	...
X_2	...
Y_2	...
.	.
.	.
.	.
X_B	...
Y_B	...

A noter que les coordonnées des points A et B délimitent le début et la fin du fichier. Leur présence est obligatoire pour tous projets soumis au programme CHAINETTE.

Le fichier INPARCH.DAT contient les valeurs des différents paramètres du programme CHAINETTE. La liste et l'ordre chronologique de ces paramètres dans le fichier sont les suivants:

<u>Identification</u>	<u>Colonnes</u>
T_0	1-15
θ_0	...
SGMA02	...
SIGMA	...
EPS	...
ITERMAX	...
AW	...
TOL	...
NOBS	...

- où T_0 = tension approximative au point d'attache A. (kg)
 θ_0 = angle approximatif entre le vecteur tangent au câble avec l'axe horizontal (rad).
 SGMA02 = facteur de variance a priori.
 SIGMA = variance des observations.

- EPS = critère d'arrêt du processus itératif pour estimer T_0 et θ_0 .
- ITERMAX = nombre d'itérations maximum pour estimer T_0 et θ_0 .
- AW = poids unitaire des câbles (kg/m).
- TOL = critère d'arrêt du processus itératif pour évaluer la valeur de la chaînette au point le plus bas.
- NOBS = nombre de coordonnées totales contenues dans INOBSCH.DAT.

Remarques

- 1- La tension approximative T_0 au point d'attache A doit être estimée avec une bonne précision. Pour un groupe de 4 fils, la tension T_0 est la tension totale de ce groupe.
- 2- L'angle θ_0 est délimité par:
$$\pi < \theta_0 < \pi/2$$
- 3- Les valeurs par défaut des paramètres suivants sont:
SGMA02 = 1
EPS = 1
ITERMAX = 15
TOL = 0.001
- 4- Pour un groupe de 4 fils, le poids unitaire AW est le poids unitaire total de ce groupe.
- 5- La valeur NOBS pour 20 points observés est de 40. Pour 6 points, vous avez 12. NOBS doit toujours être un nombre pair et est délimité par:
$$12 \leq \text{NOBS} \leq 40.$$

Il est important de souligner que les valeurs T_0 et θ_0 , introduites comme paramètres initiaux dans l'initialisation du programme, doivent être proches des vraies valeurs car autrement le processus pour estimer les paramètres de la chaînette a tendance à diverger rapidement dû aux contraintes numériques des modèles utilisés.

Le fichier de sortie du programme CHAINETTE est COMPCH.OUT. Pour visionner ce fichier, utilisez simplement les commandes de système tel que TYPE ou PRINT.

3.0 Description des sous-programmes utilisés

PROGRAMME PRINCIPAL

Contrôle la séquence d'exécution des sous-programmes.

SOUS-PROGRAMME COMPENSATION

Estime les paramètres T_0 et θ_0 .

SOUS-PROGRAMME INVERSE

Calcul de l'inverse d'une matrice.

SOUS-PROGRAMME FACTOR

Factorisation (LU) d'une matrice.

SOUS-PROGRAMME SUBST

Descente et remontée triangulaire (substitution).

SOUS-PROGRAMME PMAT

Impression d'une matrice.

SOUS-PROGRAMME ADD

Addition de deux matrices.

SOUS-PROGRAMME SOUST

Soustraction de deux matrices

SOUS-PROGRAMME SCALAIRE

Multiplication d'une matrice par un scalaire.

SOUS-PROGRAMME TRANSPOS

Transposition d'une matrice.

SOUS-PROGRAMME MULT

Multiplication de deux matrices.

SOUS-PROGRAMME DIAGONAL

Création d'une matrice diagonale.

SOUS-PROGRAMME INITIAL

Initialisation d'une matrice.

SOUS-PROGRAMME INFO

Impression des informations initiales.

SOUS-PROGRAMME ABWB

Formation des matrices A, B et W.

SOUS-PROGRAMME SIMPSONA

Solution numérique des intégrales avec le modèle de Simpson pour évaluer les éléments de la matrice A.

SOUS-PROGRAMME FA01

Fonction de theta.

SOUS-PROGRAMME FT01

Fonction de T_0

SOUS-PROGRAMME SIMPSONYX

Solution numérique de l'intégrale de la chaînette avec le modèle de SIMPSON.

SOUS-PROGRAMME FX1

Fonction de la chaînette.

SOUS-PROGRAMME NEWTON

Solution numérique pour trouver les racines d'une équation différentielle.

SOUS-PROGRAMME DASINH

ARCSINH.

ANNEXE E

LISTE DU PROGRAMME CHAINETTE


```

0043 COMMON/A8/VC(40),VCT(1,40),VRC(40),BVC(20),PVC(40)
0044 COMMON/A9/SGMAX(2,2),SGMAV(40,40),QV(40,40)
0045 COMMON/A10/SGMALBC(40,40),QK(20,20),ZID(20,20)
0046 COMMON/A11/ZZ(20,2),ZZZ(20,20),PINVTOK(40,20)
0047 COMMON/A12/ESGMAX(2,2),ESGMALBC(40,40),AA(40,40),OLBC(40,40)
0048 COMMON/A13/IDUMMOBS(40),IDUMMPAR(2),IDUMMNR(20)
0049 COMMON/A14/DUMMOBS(40),DUMMPAR(2),DUMMNR(20)
0050
0051 C      OUVERTURE DES FICHIERS
0052 C
0053 OPEN(1,FILE='INDORSCH.DAT',STATUS='OLD')
0054 OPEN(2,FILE='INDARCH.DAT',STATUS='OLD')
0055 OPEN(6,FILE='COMPCH.OUT',STATUS='NEW')
0056
0057 C      LECTURE DES PARAMETRES INITIALX
0058 C
0059 READ(2,*) (XBC(I),I=1,2)
0060 READ(2,*) SGMA02,SIGMA,ERS,ITERMAX,AW,TOL,NCHS
0061 IF((NCHS.LT.6).OR.(NCHS.GT.40)) THEN
0062     WRITE(6,30)
0063     GOTO 40
0064 ELSE
0065     NR=NCHS/2
0066     NU=NR-IDAR
0067 ENDIF
0068
0069 C      ESTIMATION DES PARAMETRES TO ET THETA AU POINT
0070 C      D'ATTACHE A DU PYLONE DE LA LIGNE DE TRANSMISSION
0071 C
0072 CALL COMPENSATION(NR,NCHS,NLAR,SGMA02,SIGMA,ERS,
0073     +             ITERMAX,NU,AW,PW,CX)
0074
0075 C      SOLUTIONS NUMERIQUES DU MODELE DE LA CHAINETTE
0076 C
0077 CALL NEWTON(AW,PA,C*,XBC,TOL,ITERMAX,X)
0078 CALL SIMPSONYA(AW,PA,C*,XBC,NCHS,X,Y)
0079
0080 C      SORTIE DES RESULTATS
0081 C
0082 WRITE(6,20) (Y+ZLHC(2)),X
0083 20  FORMAT(//////,3X,'FACTEUR LIBRE DES FILS : ',F15.3,
0084     +     /,3X,'DISTANCE DU PT. A : ',F15.3)

```


COMPENSATION

15-DEC-1986 08155135
15-DEC-1986 08155122

VAX FORT
SYS&USER(

```

0085      CALL INFO(NOBS,NPAR,NU,EPS,ITERMAX)
0086      CALL PMAT(ZLB,NOBS,1,'OBSERVATIONS INITIALES      ')
0087      CALL PMAT(XBC,NPAR,1,'VALEURS APPR. DES PARAMETRES ')
0088      CALL PMAT(SGMALB,NOBS,NOBS,'SIGMA(LB)            ')
0089      CALL PMAT(P,NOBS,NOBS,'MATRICE DES POIDS         ')
0090      WRITE(6,3) SGMALB
0091      FORMAT(///,3X,'FACTEUR DE VARIANCE A PRIORI = ',F18.13,///,
0092      +      2(3X,(100(1*1),/)),///)
0093      C
0094      C      INITIALISATION DE LA MATRICE VCZERO ET XCZERO
0095      C
0096      CALL INITIAL(0.00,NOBS,1,VC)
0097      CALL INITIAL(0.00,NPAR,1,XCZERO)
0098      C
0099      ITER=1
0100      C
0101      C      FORMATION DES MATRICES A, B ET W
0102      C
0103      C      CALL ABWB(NOBS,NPAR,NR,ZLBC,XBC,XA,BA,CA,A,R,VB)
0104      CALL MULT(B,NR,NOBS,VC,1,BVC)
0105      CALL SUBST(WB,PVC,NR,1,W)
0106      C
0107      C      CALCUL DE M, N, U ET LES AUTRES
0108      C
0109      CALL TRANSPOS(B,NR,NOBS,BT)
0110      CALL MULT(PINV,NOBS,NOBS,BT,NR,PINVRT)
0111      CALL MULT(B,NR,NOBS,PINVRT,NR,ZM)
0112      C
0113      CALL TRANSPOS(A,NR,NPAR,AT)
0114      CALL INVERSE(ZM,AA,NR,1,DUMMNR,DLZMNR,ZMINV)
0115      CALL MULT(AT,NPAR,NR,ZMINV,NR,ATZMINV)
0116      CALL MULT(ATZMINV,NPAR,NR,A,NPAR,ZN)
0117      CALL INVERSE(ZN,AA,NPAR,1,DUMMDAR,DUMMDAR,ZMINV)
0118      C
0119      CALL MULT(ATZMINV,NPAR,NR,VB,1,VB)
0120      CALL MULT(ZMINV,NPAR,NPAR,VB,1,XC)
0121      CALL SCALAIRE(XC,NPAR,1,-1.00,XC)
0122      C
0123      CALL MULT(A,NR,NPAR,XC,1,AXC)
0124      CALL ADD(AXC,W,NR,1,AXC-W)
0125      CALL MULT(ZMINV,NR,NR,AXC-W,1,ZK)
0126      CALL SCALAIRE(ZK,NR,1,-1.00,ZK)

```

COMPENSATION

15-DEC-1986 08:55:35
15-DEC-1986 08:55:22

VAX FOR
SYSSUSE

```

0127 C
0128 CALL MULT(PINVBT,NOBS,NR,ZK,1,VBC)
0129 CALL ADD(ZLBC,VBC,NOBS,1,ZLBC)
0130 CALL SOUST(ZLBC,ZLB,NOBS,1,VC)
0131 CALL ADD(XC,XBC,NPAR,1,XBC)
0132 C
0133 C
0134 IF (ITEST.EQ.1) GOTO 200
0135 DO 85 I=1,NR
0136 J=3*I+MOD(I,2)
0137 CALL STIMPSONYX(AW,BW,CW,XBC,J,ZLBC(2*I-1),Y)
0138 IF(DABS(Y+ZLHC(2)-ZLBC(2*I)).GT.EPS) GOTO 87
0139 85 CONTINUE
0140 GOTO 100
0141 C
0142 C
0143 87 IF (ITER.EQ.ITERMAX) GOTO 120
0144 IF (IMPRIME.EQ.1) GOTO 200
0145 C
0146 C
0147 90 ITER=ITER+1
0148 GO TO 5
0149 C
0150 C
0151 100 WRITE(6,101) ITER
0152 101 FORMAT(///,3X,'ITERATION NO ',I3,'=====> CONVERGENCE',//)
0153 SWITCH=.FALSE.
0154 ITEST=1
0155 GOTO 5
0156 C
0157 C
0158 120 IF (ITERMAX.EQ.1) GOTO 130
0159 WRITE(6,121) ITER
0160 121 FORMAT(///,3X,'NON-CONVERGENCE APRES',I3,' ITERATIONS',//)
0161 SWITCH=.FALSE.
0162 GOTO 200
0163 C
0164 130 SWITCH=.FALSE.
0165 WRITE(6,131) ITER
0166 131 FORMAT(///,3X,'APRES SEULEMENT',I3,' ITERATION :',//)
0167 C
0168 C IMPRESSION DES MATRICES

```

```

0169 C
0170 C 200 WRITE(6,201) ITER
0171 C 201 FORMAT(////.JX,' ITERATION NO ',I3,/,3X,'-----',I,/)
0172 C
0173 C CALL PMAT(A,NR,NPAR,IMATRICE A )
0174 C CALL PMAT(B,NR,NCBS,IMATRICE B )
0175 C CALL PMAT(WB,NR,1,IMATRICE *WF(X,L) )
0176 C CALL PMAT(*,NR,1,IMATRICE *WF(X,L)-B*V )
0177 C CALL PMAT(XC,NPAR,1,IMATRICE X(CHAP) )
0178 C CALL PMAT(VBC,NORS,1,TEST, PAR M.C. DES RESIDUELLES )
0179 C CALL PMAT(ZLRC,NORS,1,OBSERVATIONS COMPENSEES )
0180 C CALL PMAT(VC,NORS,1,V(CHAP)=L(I)-L(O) )
0181 C CALL PMAT(XBC,NPAR,1,TEST, PAR M.C. DES PARAMETRES )
0182 C
0183 C
0184 C IF (SWITCH.FCV..TRUE.) GOTO 90
0185 C
0186 C MATRICES DE VAR.-COV. POUR X, L(COMP.) ET V
0187 C
0188 C CALL SCALAIRE(ZINV,NPAR,NPAR,SGMA02,SGMAX)
0189 C CALL DIAGONAL(1,CC,NR,ZID)
0190 C CALL MULT(B,NR,NCBS,PINV,NORS,PDINV)
0191 C CALL MULT(A,NR,NPAR,ZINVT,NPAR,ZZ)
0192 C CALL MULT(ZZ,NR,NPAR,ATZINVT,NR,ZZZ)
0193 C CALL SOUST(ZID,ZZZ,NR,ND,ZZZ)
0194 C CALL MULT(ZMINV,NR,NR,ZZZ,NR,OK)
0195 C CALL MULT(PINVT,NCBS,NR,OK,NR,PINVTOK)
0196 C CALL MULT(PINVTOK,NORS,NR,PDINV,NORS,OV)
0197 C CALL SCALAIRE(OV,NCBS,NCBS,SGMA02,SGMAV)
0198 C CALL SOUST(SGMALE,SGMAV,NCBS,NCBS,SGMALEBC)
0199 C
0200 C ESTIME DU FACTEUR DE VARIANCE
0201 C
0202 C CALL TRANSPOSE(VC,NORS,1,VCT)
0203 C CALL MULT(P,NCBS,NCBS,VC,1,PVC)
0204 C CALL MULT(VCT,1,NCBS,PVC,1,ESGMA02)
0205 C ESGMA02=ESGMA02/AL
0206 C
0207 C IMPRESSION DES MATRICES DE VAR.-COV. POUR X ET L(COMP)
0208 C
0209 C CALL SOUST(PINV,OV,NORS,NCBS,CLPC)
0210 C CALL SCALAIRE(ZMINV,NPAR,NPAR,ESGMA02,ESGMAX)

```

COMPENSATION

15-DEC-1986 08:55:35
15-DEC-1986 08:55:22

VAX FOR
SYS\$USER

```
0211 CALL SCALAIRE(QLBC,NOBS,NOBS,ESGMA02,ESGMALRC)
0212 C
0213 C IMPRESSION DES MATRICES DE VAR.-COV.
0214 C
0215 C CALL DMAT(SGMAX,NPAR,NPAR,'MATRICE SIGMA(X)')
0216 C CALL DMAT(SGMAY,NOBS,NOBS,'MATRICE SIGMA(Y)')
0217 C CALL DMAT(SGMALBC,NOBS,NOBS,'MATRICE SIGMA(L COMP.)')
0218 C
0219 C WRITE(6,210) ESGMA02
0220 210 FORMAT(//,3X,'ESTIME DU FACTEUR DE VARIANCE : ',F15.10)
0221 C
0222 C CALL DMAT(ESGMAX,NPAR,NPAR,'ESTIME DE LA MATRICE SIGMA(X)')
0223 C CALL DMAT(ESGMALBC,NOBS,NOBS,'ESTIME DE SIGMA(I)HAPPE CHAP.1')
0224 C
0225 C RETURN
0226 C END
```



```
0043 C      DOUBLE PRECISION D(N),W(N,N),AWIKOD,COLMAX,RATIO,ROWMAX,TEMP
0044      DIMENSION IPIVOT(N)
0045      IFLAG = 1
0046
0047 C
0048 C      INITIALISATION DE IPIVOT ET DE D
0049 C
0050      DO 10 I=1,N
0051          IPIVOT(I)=1
0052          ROWMAX=0.00
0053          DO 5 J=1,N
0054              ROWMAX=DMAX1(ROWMAX,ABS(W(I,J)))
0055          CONTINUE
0056          IF (ROWMAX.EQ.0.00) THEN
0057              IFLAG=0
0058              ROWMAX=1.00
0059          END IF
0060          D(I)=ROWMAX
0061      CONTINUE
0062 C
0063 C      IF (N.LE.1) RETURN
0064 C
0065 C      FACTORISATION
0066 C
0067 C      DO 80 K=1,N-1
0068 C
0069 C      DETERMINATION DE LA LIGNE SERVANT DE PIVOT
0070 C
0071 C          COLMAX=ABS(W(K,K))/D(K)
0072          ISTAR=K
0073          DO 20 I=K+1,N
0074              AWIKOD=ABS(W(I,K)/D(I))
0075              IF (AWIKOD.GT.COLMAX) THEN
0076                  COLMAX=AWIKOD
0077                  ISTAR=I
0078              END IF
0079          CONTINUE
0080 C
0081 C
0082 C      IF (COLMAX.EQ.0.00) THEN
0083          IFLAG=0
0084
```

FACTOR

15-DEC-1986 08:55:35
15-DEC-1986 08:55:22

VAX FORTRAI
SYS\$USER02

```
0085     ELSE
0086     IF (ISTAR.GT.K) THEN
0087     C
0088     C     LA LIGNE K DEVIENT LA LIGNE DE PIVOT
0089     C
0090         IFLAG=-IFLAG
0091         I=IPIVOT(ISTAR)
0092         IPIVOT(ISTAR)=IPIVOT(K)
0093         IPIVOT(K)=I
0094         TEMP=D(ISTAR)
0095         D(ISTAR)=D(K)
0096         D(K)=TEMP
0097         DO 30 J=1,N
0098             TEMP=W(ISTAR,J)
0099             W(ISTAR,J)=W(K,J)
0100             W(K,J)=TEMP
0101     30     CONTINUE
0102     END IF
0103     C
0104     C     ELIMINATION DE X(K) DES LIGNES K+1,.....N
0105     C
0106         DO 40 I=K+1,N
0107             W(I,K)=W(I,K)/W(K,K)
0108             RATIO=W(I,K)
0109             DO 50 J=K+1,N
0110                 W(I,J)=W(I,J)-RATIO*W(K,J)
0111     50     CONTINUE
0112     40     CONTINUE
0113     END IF
0114     C
0115     C
0116     80     CONTINUE
0117     C
0118     IF (W(N,N).EQ.0.00) IFLAG=0
0119     C
0120     C
0121     RETURN
0122     END
```


SUBRT

```
0043      B(K)=1.00
0044      IP=IPIVOT(I)
0045      WINV(I,K)=B(IP)
0046      DO 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  C
0056      WINV(N,K)=WINV(N,K)/W(N,N)
0057      DO 30 I=N-1,1,-1
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      B(K)=0.00
0065  CONTINUE
0066  C
0067  C
0068  50  RETURN
0069  END
```


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

C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
C
10
20
C
C
C

```
SUBROUTINE ADD(A,B,N,M,C)
-----
ADDITION DE DEUX MATRICES
-----
INPUT :
  A ET B : MATRICES DE DIMENSION (N,N)
OUTPUT :
  C = A + B
*****
DOUBLE PRECISION A(N,M),B(N,M),C(N,M)
DO 20 I=1,N
  DO 10 J=1,M
    C(I,J)=A(I,J)+B(I,J)
  CONTINUE
CONTINUE

RETURN
END
```



```

0043         CALL FT01(X,AW,BW,CW,XBC(1),XBC(2),FT0)
0044         XII=XI1+FT0
0045     END IF
0046 10 CONTINUE
0047     AFT0=H*(XI0+2.00*XI2+4.00*XI1)/3.00
0048     C
0049     C     INTEGRALE DE THETA
0050     C
0051     CALL FA01(0.00,AW,BW,CW,XBC(1),XBC(2),FA)
0052     CALL FA01(LS,AW,BW,CW,XBC(1),XBC(2),FB)
0053     XI0=FA+FB
0054     XII=0.00
0055     XI2=0.00
0056     DO 20 I=1,2*I-1
0057         X=I*H
0058         IF (MOD(I,2).EQ.0) THEN
0059             CALL FA01(X,AW,BW,CW,XBC(1),XBC(2),FA0)
0060             XI2=XI2+FA0
0061         ELSE
0062             CALL FA01(X,AW,BW,CW,XBC(1),XBC(2),FA0)
0063             XI1=XI1+FA0
0064         END IF
0065 20 CONTINUE
0066     AFA0=H*(XI0+2.00*XI2+4.00*XI1)/3.00
0067     C
0068     C
0069     RETURN
0070     END

```



```
0001 SUBROUTINE NEWTON(A*,B*,C*,XRC,TOL,NO,P1)
0002 C
0003 C -----
0004 C
0005 C SOLUTION NUMERIQUE POUR TROUVER LES RACINES D'UNE
0006 C EQUATION DIFFERENTIELLE
0007 C
0008 C -----
0009 C
0010 C INPUT :
0011 C X : VALEUR APPROCHEE DE X
0012 C AW : COEFFICIENT A
0013 C BW : COEFFICIENT B
0014 C CW : COEFFICIENT C
0015 C XRC : VALEUR APPROCHEE DES PARAMETRES
0016 C TOL : CRITERE DE TOLERANCE
0017 C NO : NOMBRE D'ITERATION MAXIMUM
0018 C OUTPUT :
0019 C P1 : RACINE DE L'EQUATION
0020 C
0021 C *****
0022 C
0023 C
0024 C DOUBLE PRECISION A*,B*,C*,XRC(2),PC,TCC,P1,FP,FP1,ASHX
0025 C I=1
0026 C PC=0.00
0027 C DO 10 WHILE(I.LE.NO)
0028 C CALL DASHX(PC,TCC,XRC(2),ASHX)
0029 C FP=A*PC+B*PC*PC+C*PC/2.00+XRC(1)*PC(5(XRC(2))*
0030 C + ASHX
0031 C FP1=A*PC+B*PC*PC+C*PC*PC/2.00
0032 C P1=PC-FP/FP1
0033 C IF (DABS(P1-PC).LE.TOL) THEN
0034 C WRITE(6,19)
0035 C GO TO 25
0036 C END IF
0037 C I=I+1
0038 C PC=P1
0039 C 10 CONTINUE
0040 C WRITE(6,20)
0041 C 15 FORMAT(///,3X,'SOLUTION DE NEWTON-RAPHSON COMPLETEE ')
0042 C 20 FORMAT(///,3X,'SOLUTION DE NEWTON-RAPHSON NON-COMPLETEE')
```

```
0001 SUBROUTINE DASINH(ABC,ASHX)
0002 C
0003 C -----
0004 C
0005 C ARCSINH
0006 C
0007 C -----
0008 C
0009 C INPUT :
0010 C ABC : VALEUR DE X
0011 C
0012 C OUTPUT :
0013 C ASHX : VALEUR DE ARCSINH(X)
0014 C
0015 C *****
0016 C
0017 C
0018 C DOUBLE PRECISION ARC,ASHX
0019 C ASHX=DLG(ARC+DSQRT(ARC*ARC+1))
0020 C
0021 C
0022 C RETURN
0023 C END
```