

**OBTENTION DE COTES ALTIMÉTRIQUES CARROYÉES À PARTIR DE  
CARTES EN COURBES DE NIVEAU AU MOYEN D'UN MINI-ORDINATEUR**

**Rapport d'information PI-X-18F**

**P.H. Kourtz**

**Institut forestier national de Petawawa  
Service canadien des forêts  
Ministère de l'Environnement  
1983**

•Ministère des Approvisionnements et Services du Canada, 1983  
N° de catalogue Fo46-11/18-1983F  
ISSN 0228-0736  
ISBN 0-662-92033-3

On peut obtenir des exemplaires supplémentaires de la  
présente publication auprès du

Centre de distribution et d'information technique  
Institut forestier national de Petawawa  
Environnement Canada  
Chalk River (Ontario)  
K0J 1J0

Tél.: 613 589-2880

This publication is also available in English under the title  
Mini-computer Production of Gridded Elevation Data from  
Contour Maps.

## Table des matières

|   |   |
|---|---|
| 1 | Résumé/Abstract                                       |
| 1 | Introduction  |
| 3 | Extraction des cotes altimétriques                    |
| 3 | Programme de lecture des bandes                       |
| 4 | Programme d'extraction des niveaux cotés              |
| 7 | Programme pour carroyer des cotes espacées de<br>50 m |
| 8 | Calcul des pentes et de l'exposition                  |
| 8 | Discussion  |
| 9 | Références  |

### *Figures*

|   |  |
|---|--|
| 2 | 1. Partie de carte originale et gabarit correspondant de courbes de niveau   |
| 5 | 2. Bloc cartographique prêt à coter  |
| 6 | 3. Partie agrandie d'un bloc montrant les segments cotés et non cotés de courbes de niveau. Le trait plein dénote les courbes qui font actuellement l'objet d'une attribution de cotes. Les points très espacés orientés horizontalement près du centre de l'image représentent une courbe déjà cotée. Les deux ensembles de points au bas de l'image restent à coter. |
| 7 | 4. Ordre de la recherche d'une ligne dans le sens nord-est   |
| 8 | 5. Interpolation des altitudes   |

## OBTENTION DE COTES ALTIMÉTRIQUES CARROYÉES À PARTIR DE CARTES EN COURBES DE NIVEAU AU MOYEN D'UN MINI-ORDINATEUR

---

### Résumé

Ce rapport décrit une solution de rechange économique pour calculer des cotes altimétriques carroyées en évitant le traçage manuel et coûteux de chaque courbe de niveau au moyen d'un numériseur. Au lieu de cela, on utilise un densitomètre à balayage pouvant lire automatiquement des gabarits qui ne portent que des courbes en noir sur fond transparent. Ces gabarits, employés dans l'impression de cartes géographiques, sont disponibles pour chaque coupure de carte et coûtent environ 35 \$. Les données binaires du lecteur sont affichées en infographie, puis l'opérateur attribue une altitude à chaque courbe de niveau. Une fois la courbe ainsi "cotée", le logiciel extrait automatiquement son polygone. Un autre logiciel produit un carroyage de cotes altimétriques interpolées à partir desquelles on peut calculer les pentes et les expositions.

### Abstract

This report describes an inexpensive alternative for producing gridded elevation data that avoids the costly process of manually tracing each contour with a digitizer. Instead, a scanning densitometer is used to automatically scan contour templates containing only black contour lines on a transparent background. These templates, used in the map printing process, are available for every mapsheet at a cost of about \$35. The binary output from the scanner is displayed on a computer graphics display, where an operator assigns an elevation to each contour. Once a contour has been labelled, the program automatically extracts the associated contour polygon. A separate program produces a grid of interpolated elevation points from which slopes and aspects can be computed.

---

### INTRODUCTION

Dans l'avenir, pour maîtriser les feux de forêt, il faudra s'appuyer sur des bases de données géographiques concernant le type de combustible forestier, le terrain et les antécédents culturels. Ces renseignements devront être mémorisés selon une structure qui permettra d'accéder rapidement par ordinateur soit à des points géographiques précis, soit à des superficies rectangulaires. Les données seront mémorisées sous forme étagée, point à point, chacun représentant une aire géographique précise (p. ex., 50 m ) et chaque étage représentera un champ de données tel que la couverture forestière

ou les cotes altimétriques. Cette méthode de mémorisation prévaudra sur le stockage polygonal en raison de la forte variabilité géographique des données, de sa rapidité de recouvrement et d'accès, de la modicité relative des mémoires modernes de masse, et de la puissance de calcul qu'exige actuellement la manipulation des polygones mais que n'offrent pas les mini-ordinateurs. Ces données permettront la modélisation de la croissance des incendies, de la construction des lignes d'arrêt et la prise de décisions concernant la riposte initiale.

Par le passé, au Canada, les cotes ont été carroyées par numérisation manuelle des cartes en courbes de niveau et par conversion des polygones cotés ainsi obtenus en tableaux de cotes (Travis et coll., 1973). Le prix de revient de ce travail dépassait plusieurs milliers de dollars par feuille à l'échelle de 1/50 000,

---

P.H. Kourtz est chercheur à l'Institut forestier national de Petawawa.

Publication approuvée en mai 1982.



octet. L'unité de résolution ou bit égale à 1 si l'élément de colonne balayé contient un segment de courbe de niveau; dans le cas contraire, elle égale 0. Le balayage typique d'une feuille cartographique se fait en 1000 colonnes de 5500 octets.

Le balayage prend environ 10 mn et coûte environ 20 \$. Les données lues sont stockées sur bande magnétique, selon une structure lisible par la plupart des mini-ordinateurs. Pour une feuille ordinaire qui représente une région de l'est du Canada, la bande renfermera 44 millions de nombres binaires.

### EXTRACTION DES COTES ALTIMÉTRIQUES

Trois programmes permettent d'obtenir un quadrillage de cotes altimétriques à partir de ces données binaires. Ils sont rédigés en Fortran 77 sur un mini-ordinateur à 16 bits Digital PDP-11 et sont conçus pour lire et condenser les données binaires du balayage, pour visualiser, coter et extraire les polygones des courbes de niveau, pour produire un quadrillage uniforme de cotes altimétriques distantes de 50 m et pour déterminer la pente et l'exposition de tous les points du quadrillage.

#### Programme de lecture des bandes

La résolution finale au sol retenue pour la base de données est de 50 m; celle du balayage correspond à environ 5 m. L'expérimentation de différents degrés de réduction des données a montré que la suppression systématique de rangées et de colonnes de bits se traduisait par une augmentation très marquée du nombre de courbes de niveau qui se touchaient. Comme la méthode d'extraction automatique des courbes de niveau repose sur la présence d'un zéro entre les courbes de niveau en cours de traçage et les courbes adjacentes, le nombre de corrections manuelles nécessaires augmente vertigineusement en fonction de celui des colonnes et des rangées supprimées. Des expériences minutées ont montré qu'il est beaucoup mieux d'extraire les courbes de niveau à pleine résolution plutôt que de gaspiller du temps d'opérateur à corriger les lignes qui

se touchent.

Beaucoup de modalités de condensation des données dans les mémoires à disque ont été essayées. La meilleure, pour ce qui est de l'économie de l'espace de mémoire et de la facilité de décodage par ordinateur, consiste à mémoriser les données d'une carte sous forme de deux vecteurs très longs constitués d'une série d'articles de 512 multipléts. Le premier vecteur contient les distances, dans le sens des rangées, entre les multipléts non nuls. Comme un seul multipléte est réservé pour chacune de ces distances, la distance maximale permise est de 128. Le second vecteur contient les multipléts non nuls initiaux correspondants. Si 128 rangées sont balayées sans qu'on y trouve un multipléte non nul, un 0 est placé dans le multipléte correspondant du second vecteur. Dans un tableau séparé, on dispose le numéro initial de l'article de 512 multipléts de chaque colonne de multipléts ainsi que sa position dans l'article. Ainsi, on peut comprimer en moins de 1 million de multipléts une carte qui au départ renferme 44 millions de bits.

Un terminal graphique Tektronix 4014 sert à visualiser la carte en courbes de niveau. La visualisation mesure 28 cm de hauteur sur 35 cm de largeur et sa résolution graphique est de 1024 colonnes sur 780 rangées. Afin de visualiser la résolution complète de la carte et de réduire l'encombrement en mémoire interne, la carte est découpée en blocs contenant 978 rangées et colonnes de bits. Ceci correspond à un carré de 5 km (ou de 100 unités de 50 m au sol) de côté. Chaque carte est ainsi constituée d'environ 48 de ces blocs. Le programme permettant de coter et d'extraire les courbes de niveau (TERRA) et d'interpoler les cotes (ELEVATE) est appliqué chaque fois à un seul de ces blocs.

Le programme READ sert à lire les données initiales du balayage, à les condenser et à les mémoriser sur disque. Lors du balayage, une somme considérable de données est acquise à l'extérieur des limites de la carte réelle. Le programme READ permet à l'utilisateur de délimiter les bornes rectangulaires d'une superficie à mémoriser, ce qui permet d'économiser

la capacité de mémoire. La localisation réelle de la carte parmi les données se fait de façon empirique, au moyen de la fonction de visualisation du programme TERRA.

Les données condensées sont mémorisées dans des articles à 512 multipliets au moyen d'un ensemble de sous-programmes spéciaux à accès direct (DKIO) mis au point par le Centre canadien de télédétection (EMR) (Princz, 1979). Ces sous-programmes permettent l'accès rapide et direct à tout article et permettent d'éviter l'important encombrement supplémentaire de mémoire du Fortran de Digital. La table qui renvoie à l'ensemble approprié d'articles pour les données d'une colonne particulière est aussi mémorisée par le programme READ, sur le même disque.

#### **Programme d'extraction des niveaux cotés**

Le programme TERRA permet de visualiser et d'agrandir un bloc de données cartographiques, de corriger les courbes qui se touchent ou qui sont interrompues, d'attribuer une cote altimétrique à chaque courbe, d'extraire automatiquement chaque polygone de courbes de niveau et de déterminer les coordonnées relatives de tout ensemble de points directeurs du bloc afin d'établir un quadrillage UTM. Lors de son exécution, il est demandé à l'opérateur d'introduire la rangée et la colonne du bloc à traiter. Grâce aux sous-programmes DKIO, le programme TERRA extrait du disque les données cartographiques appropriées des colonnes de multipliets et ne mémorise que celles du bloc dans la mémoire interne de l'ordinateur. Ici, la méthode de condensation des données est identique à celle qui sert à mémoriser les données cartographiques initiales sur disque. Une table modifiée à consulter est alors créée pour localiser en mémoire les données de colonne d'un bloc précis.

Pour la représentation cartographique d'une région de l'est du Canada, un bloc cartographique typique contient environ 20 000 multipliets non nuls; toutefois, ce chiffre peut varier considérablement selon la pente du terrain. Le

code machine du programme TERRA et l'espace de mémoire exigent environ 100 000 multipliets de mémoire interne. Afin de satisfaire à cette demande d'espace, des sous-programmes de gestion des mémoires (Roosen, 1981) servent à accéder à 48 000 multipliets de plus de mémoire externe à celle qui est attribuée à la segmentation du programme. Cet espace de mémoire supplémentaire permet de stocker un bloc cartographique contenant 24 000 multipliets non nuls.

Dès que les données du bloc sont mémorisées, le programme TERRA visualise les courbes de niveau sur l'écran Tektronix au moyen du facteur de visualisation des rangées et colonnes précisé par l'opérateur (fig. 2). À cette fin, chaque multipliet non nul est décodé en octet et un point correspondant à chaque emplacement d'un bit égal à 1 est visualisé sur l'écran. La visualisation complète de toutes les données des rangées et colonnes prend environ 5 min; toutefois, on peut accélérer le processus en ne faisant visualiser qu'une seule rangée et colonne de bits sur  $n$  ( $n=2,3,4\dots$ ). La visualisation de toutes les cinquièmes rangées et cinquièmes colonnes prend environ 1 min et permet de visualiser la plupart des blocs cartographiques.

Lorsque la bloc est visualisé, le programme TERRA passe en mode de correction, par lequel il est demandé à l'utilisateur de préciser la tâche à effectuer, qui peut être l'une des suivantes:

- a. Agrandir toute partie du bloc.
- b. Ajouter ou supprimer des points de courbes de niveau.
- c. Coter et extraire des polygones de niveau.
- d. Obtenir les coordonnées de bloc pour toute position du curseur.
- e. Revisualiser le bloc ou la partie agrandie.
- f. Mettre fin au programme.

La tâche agrandissement permet d'agrandir aux dimensions de l'écran une superficie correspondant à 150 rangées et colonnes de bits. L'opérateur doit positionner le curseur graphique commandé par manche à balai au centre

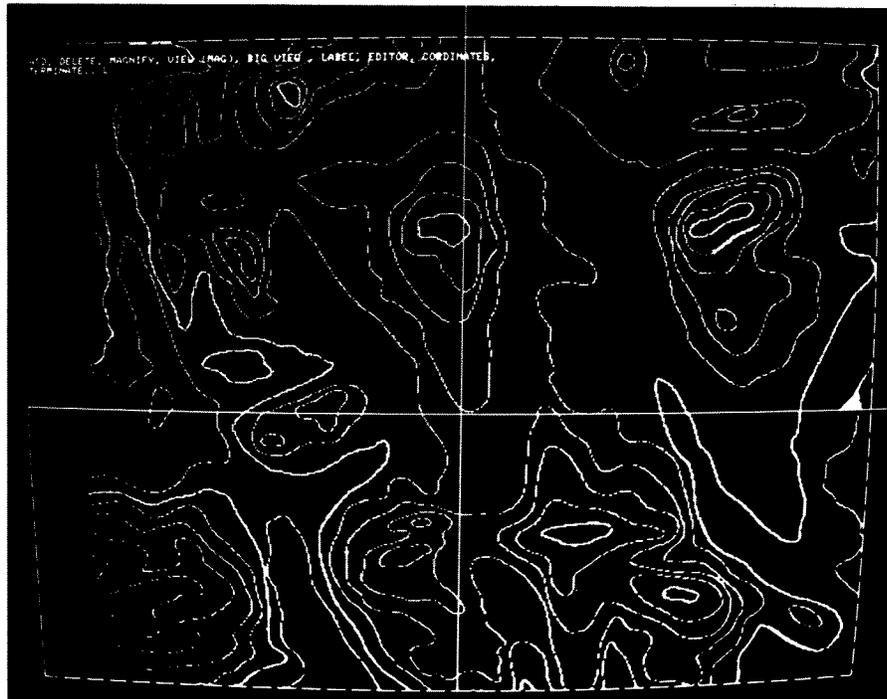


Figure 2. Bloc cartographique prêt à coter

de la superficie à agrandir. On peut alors voir chaque point de données (fig. 3). Les courbes de niveau en terrain abrupt qui touchent des courbes adjacentes peuvent être modifiées par suppression des points aux intersections. Les courbes interrompues peuvent être complétées par l'ajout de points. L'emplacement de chaque ajout ou suppression est commandé par le curseur. Lorsqu'un point est supprimé, le sous-programme de correction modifie le bit approprié en l'égalant à 0. On ajoute un point soit en modifiant le bit approprié, c'est-à-dire à l'égalant à 1 si le multiplét correspondant à cette rangée existe ou en versant dans une liste distincte l'emplacement du nouveau bit créé. On évite ainsi de réorganiser les données initiales condensées en colonnes de multipléts.

Pour l'attribution de cotes altimétriques, le curseur est positionné en un endroit quelconque de la courbe de niveau à extraire. Un code altimétrique à trois

chiffres (cote altimétrique divisée par 10) est alors introduit. Si l'emplacement de départ est trouvé, le programme suit automatiquement la courbe jusqu'à ce qu'il se heurte à une limite ou ferme la courbe de niveau. L'altitude codée et toutes les coordonnées x et y des points du bloc rencontrés le long de la courbe de niveau sont mémorisées dans un fichier sur disque distinct. À mesure que chaque point d'une courbe de niveau est identifié et que ses coordonnées sont mémorisées, le bit 1 correspondant est réglé à 0. En même temps, une ligne continue est dessinée sur l'écran entre les emplacements du dernier point mémorisé et du point où on se trouve. Ainsi, l'opérateur peut surveiller le tracé de la ligne (fig. 3). À la fin du traçage, on entend une sonnerie. On peut alors accepter ou rejeter la ligne. On la rejette si elle traverse une autre ligne contiguë.

Le traçage et l'extraction des



Figure 3. Partie agrandie d'un bloc montrant les segments cotés et non cotés de courbes de niveau. Le trait plein dénote les courbes qui font actuellement l'objet d'une attribution de cotes. Les points très espacés orientés horizontalement près du centre de l'image représentent une courbe déjà cotée. Les deux ensembles de points au bas de l'image restent à coter

courbes de niveau commencent par la recherche par l'ordinateur d'un point de départ, à l'emplacement du curseur. Ce dernier est soit un 1 ou un 0. Si c'est un 0, le programme cherche un 1, d'abord parmi les 8 points orthogonaux qui l'entourent, puis parmi les 16 points orthogonaux qui entourent ces derniers. Si aucun 1 n'est trouvé, il est demandé à l'opérateur d'essayer un autre point de départ sur la courbe de niveau. Le tracé de la ligne débute dès que le premier 1 est repéré. Dès lors, le bit de départ est mis égal à 0 et une autre recherche similaire est faite autour de ce point afin de localiser un second point voisin sur la ligne. Lorsque ce point est repéré, son emplacement est mis en mémoire et le bit qui y correspond est mis égal à 0.

Tous les points ultérieurs sont repérés par détermination de la direction de déplacement le long de la ligne et recherche dans un secteur en forme d'éventail orienté dans la direction du déplacement. Cette direction se fonde sur l'emplacement des deux points antérieurs. Huit secteurs correspondant à chaque direction de déplacement sont utilisés pour mettre en branle la recherche. La priorité est donnée au point immédiatement en avant. La figure 4 montre l'ordre de recherche d'une ligne dans le sens nord-est. L'ordre de la recherche par rapport à l'orientation du secteur en éventail reste le même pour les autres directions. Cette recherche méthodique permet de tracer rapidement une courbe et empêche les virages en U qui mettent fin au tracé.

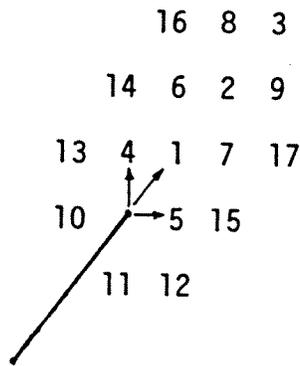


Figure 4. Ordre de la recherche d'une ligne dans le sens nord-est

Ce ne sont pas tous les points d'une courbe qui sont extraits. Le traçage néglige fréquemment des points adjacents qui restent non cotés. De plus, il n'est pas rare que le traçage fasse deux fois le tour d'une courbe épaisse. Dans les deux cas, les erreurs introduites sont négligeables à cause de la fine résolution des données de lecture et du degré relativement brut exigé pour les résultats.

Un rappel permet à l'opérateur de visualiser pour un bloc ou une partie agrandie de ce dernier les courbes non cotées seulement. Les courbes déjà cotées et mémorisées n'y paraissent pas.

On a beaucoup expérimenté sur l'élagage des données de balayage, pour obtenir des courbes d'un seul point de largeur (Woetzel, 1979). Les inconvénients étaient plus nombreux que les avantages. D'abord, il fallait beaucoup d'heures de temps-machine et de temps d'opérateur pour élaguer les données d'une carte. Deuxièmement, l'élagage introduisait beaucoup d'interruptions dans les courbes, ce qui entravait énormément l'attribution de cotes aux courbes et leur extraction. Troisièmement, il subsistait des lignes qui se touchaient. Enfin, la condensation des données élaguées prenait presque autant de mémoire que celle des données non élaguées.

#### Programme pour carroyer des cotes espacées de 50 m

Le programme TERRA emmagasine les polygones cotés dans un fichier de disque. Le programme ELEVATE lit ces données et transforme les coordonnées de bloc de chaque point en coordonnées UTM, détermine l'altitude moyenne de tous les points à 25 m près pour chaque point UTM espacé de 50 m, visualise les courbes de niveau ramenées aux coordonnées UTM, interpole l'altitude des points non associés à une ou à plusieurs courbes de niveau et mémorise le carroyage ainsi corrigé sur disque.

Il est impossible d'aligner exactement une carte sur le lecteur à tambour de sorte que les colonnes lues seront parallèles au quadrillage UTM. Au début, les bords du gabarit initial sont coupés parallèlement aux traits du quadrillage UTM afin de réduire les écarts d'alignement sur la carte numérisée. Un dernier alignement est réalisé en ajustant chaque point de chaque polygone de niveau de façon qu'il sera associé avec le bon point du quadrillage à espacement de 50 m. Ce travail se fait en deux étapes. D'abord, des points directeurs dont les coordonnées UTM sont exactement connues sont déterminés sur la carte initiale. Ensuite, à l'aide d'une option spéciale commandée par le curseur et exécutable grâce au programme TERRA, les coordonnées de bloc de ces points sont établies. Le programme ELEVATE demande à l'opérateur d'entrer de 3 à 8 de ces points directeurs puis calcule les coefficients de rotation qui permettent de transformer les coordonnées de bloc en coordonnées UTM (Steward et Comeau, 1974). Ce programme lit ensuite tous les points de chaque polygone de niveau et les convertit en coordonnées UTM et fait correspondre chaque point avec le point le plus rapproché au quadrillage UTM à espacement de 50 m. Au cours de ce travail, la cote moyenne de tous les points les plus rapprochés de chaque point du quadrillage est déterminée. Le programme ELEVATE visualise alors le quadrillage à espacement de 50 m du bloc de la carte initiale, sur

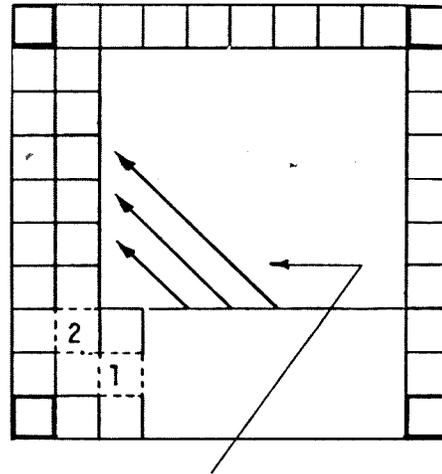
laquelle les points de chaque polygone de niveau sont associés au point du quadrillage à espacement de 50 m le plus rapproché.

La fonction interpolation du programme ELEVATE demande à l'opérateur d'introduire l'altitude des points des quatre coins du bloc. La deuxième étape consiste en l'interpolation linéaire des altitudes à équidistance de 50 m le long de la bordure de la carte. Les altitudes des quatre points du coin et des points des courbes de niveau qui touchent ou qui traversent les bords servent à ce calcul.

La dernière étape établit sur d'établir une surface plane la cote des points non cotés résiduels (Travis et coll., 1973). L'itération commence à la deuxième rangée du bas et à la deuxième colonne et s'engage verticalement vers le haut jusqu'à ce que toutes les altitudes de la colonne ont été établies. Pour le point non coté de la colonne qui suit verticalement par le haut, l'altitude des deux points adjacents situés au-dessus et à gauche sert de sommet d'un triangle plat d'où l'altitude du point d'intérêt sera interpolée (fig. 5). Pour chacune de ces paires, un balayage diagonal vers l'extérieur sert à localiser la cote altimétrique interne existante la plus rapprochée. Ce point sert de troisième point pour déterminer la géométrie du plan altimétrique, ce qui complète l'information nécessaire à l'interpolation. Le processus est répété à partir du bas de chaque colonne jusqu'à ce que la bordure droite soit atteinte, ce qui complète le quadrillage altimétrique. Le programme ELEVATE mémorise ces cotes à quatre chiffres sur un fichier distinct du disque.

#### CALCULS DES PENTES ET DE L'EXPOSITION

Aux fins de la lutte contre les incendies de forêt, on a souvent besoin de renseignements sur les pentes plutôt que sur l'altitude. Le sous-programme SLOPE tire des données altimétriques carroyées les composantes nord-sud et est-ouest des pentes, ainsi que la valeur de la pente et l'exposition de chaque point interne du quadrillage altimétrique (Sharpnack et



Balayages diagonaux regardant pour le troisième point  
Figure 5. Interpolation des altitudes

Akin, 1969). Les composantes de la pente sont calculées à partir des 8 cotes altimétriques orthogonales.

Emplacement des cotes altimétriques orthogonales.

Z(1) Z(2) Z(3)

Z(4) Z(5) Z(6)

Z(7) Z(8) Z(9)

Z(i) est l'altitude de l'ième point du quadrillage et le point 5 est le point d'intérêt.

Les composantes nord et est de la pente (B1 et B2) sont

$$B1 = (Z(1) + Z(2) + Z(3) - Z(7) - Z(8) - Z(9)) / 6a$$

$$B2 = (Z(3) + Z(6) + Z(9) - Z(1) - Z(4) - Z(7)) / 6a$$

où "a" est la distance entre des points uniformément espacés du quadrillage. La pente dans la direction nord-sud est égale à  $1/B1$  et la pente dans la direction est-ouest à  $1/B2$ . La pente la plus raide est  $(B1^2 + B2^2)^{0,5}$ , et l'exposition du quadrant est  $ARCTAN(B2/B1)$ .

#### DISCUSSION

En vertu du projet de lutte contre les

incendies de forêt de l'Institut forestier national de Petawawa, on constitue actuellement une vaste base de données concernant le terrain et le combustible pour 50 feuilles cartographiques (à 1/50 000) représentant le sud-ouest du Québec. Les programmes que j'ai décrits sont actuellement utilisés pour obtenir les données altimétriques qui seront incluses dans cette base de données. Jusqu'ici, l'expérience nous renseigne qu'un bloc cartographique typique peut être coté en 20 min, les points directeurs peuvent être obtenus en 10 autres min et l'interpolation et la manipulation des fichiers de données peut se faire en environ 10 min. Il faut environ 1 heure pour lire et localiser la carte sur la bande originale de données de lecture par balayage. Une carte peut être réalisée en 4 ou 5 journées-personnes de travail. Avec des frais de main-d'oeuvre de 5 \$/h et des frais d'utilisation d'un mini-ordinateur à utilisateurs multiples qui s'élèvent à 50 \$/h de traitement, le coût de chaque carte est d'environ 750 \$, ce qui représente une économie considérable comparativement aux méthodes actuelles.

L'exactitude de la carte initiale est préservée pendant le balayage, l'attribution de cotes et l'alignement. L'hypothèse de l'existence d'une surface plane entre les courbes de niveau introduit évidemment des erreurs dans l'altitude; toutefois lorsqu'on considère que les erreurs d'élévation des courbes de niveau de la carte initiale peuvent facilement égaler l'équidistance entre les courbes, cette erreur n'est probablement pas significative.

Un inconvénient majeur du programme TERRA est l'encombrement de mémoire interne nécessaire à son exécution. Cet encombrement réduit, pour de nombreux utilisateurs, la possibilité d'utiliser un mini-ordinateur en partage de temps. La génération montante de mini-ordinateurs à 32 bits possède une mémoire interne plus grande

et une puissance de calcul plus rapide, ce qui permettra de résoudre beaucoup d'inconvénients des programmes actuels. L'utilisation de blocs plus vastes, le traçage plus rapide des courbes de niveau, un nombre moindre de points directeurs et une gestion moins fastidieuse des fichiers pourrait accélérer la production d'une carte numérisée. Entretemps, les programmes actuels nous permettent d'obtenir des cartes relativement modiques qu'il était jusqu'ici impossible de produire.

## RÉFÉRENCES

- Princz, G. 1979. UNIDISK-11 File format specifications DPD technical memo 79-094A, Canada Center for Remote Sensing.
- Roosen, B. 1981. Memory management users' guide. Unpubl. rep., Environ. Can., Can. For. Serv., Petawawa Nat. For. Inst.
- Sharpnack, D.A.; Akin, G.A. 1969. An algorithm for computing slope and aspect from elevations. *J. of Photog. Eng.*, March.
- Steward, K.W.; Comeau, M.A. 1974. Stream programmer's manual. Inland Waters Directorate, Environment Canada.
- Travis, M.; Elsner, G.; Kourtz, P.H. 1973. A computer software package to convert digitized geographic boundary and contour data to a uniform grid structure. *Environ. Can., Can. For. Serv., Forest Fire Res. Inst. Inf. Rep. FF-X-44.*
- Woetzel, G. 1979. A fast and economic scan-to-line conversion algorithm. *Ges Math. Datenverarb. D-5205, St. Augustin 1, West Germany.*