

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

GC, 0220

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR DE CONCEPTION

TITRE : ETUDE GEOMETRIQUE DES ROUTES ASSISTEE
PAR ORDINATEUR.

DATE : JUIN 1990

AUTEUR : Abdoulaye SENE
DIRECTEUR : El Hadj Moustaph MBAYE
CO-DIRECTEUR : Massamba Sall SAMB

D E D I C A C E

A mon père

A ma mère

A mes frères et soeurs

A tous ceux qui me sont chers

pour :

-- les sacrifices consentis,

-- les encouragements promulgués,

-- l'affection qu'ils ont toujours portée;

à mon égard .

R E M E R C I E M E N T S

Ce projet m'a permis de travailler avec des personnes dont leur assistance m'a été d'un grand profit. Et je désire ici les remercier sincèrement de leur disponibilité et de leur soutien.

Je voudrais exprimer d'abord toute ma gratitude à mon directeur de projet, monsieur Moustaph MBAYE, pour l'assistance permanente qu'il m'a toujours accordée.

Je remercie également monsieur Jean Charles SISI, professeur d'informatique et madame Elisa Lopez NDIAYE, technicienne en informatique, pour leur disponibilité et l'assistance précieuse qu'ils ont bien voulu m'offrir.

Mes remerciements vont également à tous mes collègues qui m'ont apporté contribution dans l'élaboration de ce projet, et surtout à l'élève ingénieur GAGA Simplicie pour sa précieuse colaboration.

S O M M A I R E

Ce travail est une continuation du projet intitulé " Informatisation de l'étude géométrique des route " entamé durant l'année scolaire 1988-1989 et contenant un certain nombre de programmes de calcul de caractéristiques géométriques des routes.

Nous nous proposons ici, de concevoir un logiciel en Turbo Pascal 4.0 en améliorant les programmes déjà établis dans le projet précédent et en ajoutant d'autres qui nous permettront:

- le calcul des caractéristiques géométriques des routes en offrant la possibilité de modifier les données, de faire des corrections en cas d'erreur lors de la saisie; et ceci de manière interactive.

- de faire le graphisme nécessaire à l'élaboration d'un projet routier

- de faire l'évaluation des cubatures.

T A B L E D E S M A T I E R E S

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
SOMMAIRE.....	iii
<u>CHAPITRE 1: INTRODUCTION.....</u>	<u>1</u>
1.1 La planification.....	1
1.2 Etude de la zone du projet.....	2
1.3 Etude des alternatives de tracés routiers.....	2
1.4 Conception.....	3
1.5 La construction et l'entretien.....	3
<u>CHAPITRE 2: ETUDE DES BESOINS CARTOGRAPHIQUES.....</u>	<u>5</u>
2.1 Les types d'informations.....	5
2.1.1 La topographie.....	5
2.1.2 Etat de la circulation.....	6
2.1.3 La nature du sol.....	6
2.1.4 La vitesse de base.....	7
2.2 Types de support.....	7
2.3 Les seuils de précision.....	8
2.4 Besoins cartographiques aux différentes phases d'une étude de route.....	9

4.1.3	Besoins en précision pour les mesurages d'angles et de distances.....	28
4.2	Méthodes de traitement des données.....	29
4.2.1	La polygonation.....	30
4.2.2	Les courbes horizontales.....	32
4.2.3	La transformation des coordonnées.....	32
4.2.4	Les courbes verticales.....	34
4.2.4.1	Courbes convexes ou saillantes.....	34
4.2.4.2	Courbes concaves ou rentrantes.....	36
4.2.5	Profil en long.....	37
4.2.5.1	Profil en long du terrain.....	37
4.2.5.2	Profil en long du projet.....	37
4.2.6	Eléments du profil en travers.....	38
4.2.6.1	Calcul des profils en travers.....	41
4.2.7	Cubature des terres.....	42
4.2.7.1	Méthode des sections en travers.....	42

CHAPITRE 5: INFORMATISATION DES CALCULS DES ELEMENTS

	<u>GEOMETRIQUES - GRAPHISME.....</u>	45
5.1	Programme du tracé de la polygonale.....	45
5.1.1	But du programme.....	45
5.1.2	Présentation du programme.....	46
5.1.3	Structure des opérations.....	47
5.2	Programme du tracé en plan.....	48
5.2.1	But du programme.....	48

5.2.2	Présentation du programme.....	48
5.2.3	Structure des opérations.....	49
5.3	Programme du profil en long du terrain.....	50
5.3.1	But du programme.....	50
5.3.2	Présentation du programme.....	51
5.3.3	Structures des opérations.....	51
5.4	Programme du profil en long de la route.....	52
5.4.1	But du programme.....	52
5.4.2	Présentation du programme.....	52
5.4.3	Structure des opérations.....	53
5.5	Programme du profil en travers.....	53
5.5.1	But du programme.....	53
5.5.2	Présentation du programme.....	54
5.5.3	Structure des opérations.....	54
5.6	Programme du calcul des cubatures.....	54
5.6.1	But du programme.....	54
5.6.2	Présentation du programme.....	55
5.6.3	Structure des opérations.....	55
 <u>CHAPITRE 6: PRESENTATION DES RESULTATS.....</u>		 56
 <u>CHAPITRE 7: CONCLUSION.....</u>		 68

<u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</u>	<u>71</u>
<u>ANNEXE 1 : PROGRAMMES DU LOGICIEL.....</u>	<u>72</u>
<u>ANNEXE 2 : DESCRIPTION DES IDENTIFICATEURS.....</u>	<u>107</u>

L I S T E D E S F I G U R E S

<u>FIGURE 3.1:</u>	Courbe circulaire simple.....	15
<u>FIGURE 3.2:</u>	Mathématique de la spirale.....	19
<u>FIGURE 3.3:</u>	Eléments de raccordement.....	20
<u>FIGURE 4.1:</u>	Profil en long type.....	38
<u>FIGURE 4.2:</u>	Profil en travers type.....	40

L I S T E D E S T A B L E A U X

<u>TABLEAU 4.1:</u>	Relation entre erreurs angulaire et linéaire.....	29
---------------------	--	----

CHAPITRE 1:

I N T R O D U C T I O N

L'étude d'un projet routier comporte différentes phases qui sont: la planification, l'étude de la zone du projet, l'étude des alternatives de tracé routiers, la conception, la construction et l'entretien de la route.

1.1 La planification

Un projet de route devrait s'inscrire dans le cadre d'une planification qui évalue les besoins en fonction de la demande de trafic.

Elle permet de décider de la nécessité de réaliser un projet donné en considérant les contraintes économiques sociales et technologiques.

Des études du trafic actuel et de projection de trafic, à la fin de la durée de vie admise au design devront être effectuées.

Elles permettront, entre autre, de déterminer la classe de la route à construire, sa vitesse de base, ainsi que ses points de départ et d'arrivée.

1.2 Etude de la zone du projet

Cette phase consiste en la reconnaissance d'un large corridor susceptible de contenir toutes les alternatives du projet. Cette reconnaissance doit fournir des informations qualitatives et quantitatives sur les facteurs déterminant la localisation du tracé de la route:

- l'environnement avant et après la réalisation de la route;
- l'utilisation actuelle et potentielle des terrains;
- la topographie, le drainage, et la végétation;
- la classification et la description des sols;
- les zones propices à l'érosion ou aux inondations.

1.3 Etude des alternatives de tracés routiers

La première partie consiste à déterminer toutes les alternatives possibles de la route.

Ces alternatives sont ensuite comparées pour le choix de celle qui aura le moindre coût de construction et d'utilisation tout en restant conforme aux exigences de qualité.

Chaque alternative est étudiée comme si elle constituait le projet retenu, en tenant compte des facteurs prépondérants pour la localisation du tracé:

- les pentes et les cubatures;
- le nombre de voies et leur largeur;
- les facteurs limitant la capacité de la route;
- les coûts d'expropriation, d'étude, de construction, de maintenance, et d'utilisation.

1.4 La conception

La conception de la route nécessite des études géométriques et structurales basées sur les caractéristiques propres du site du projet.

Les études structurales dépendent des caractéristiques du sol et du type de chaussée à réaliser.

Les études géométriques, tant pour les éléments d'implantation des alignements horizontaux et verticaux, et des profils transversaux, que pour la mise en place du tracé et les mouvements de terre, sont fortement tributaires des caractéristiques topographiques de la zone.

Ainsi, le choix des pentes de projet, des rayons de courbure, des zones d'emprunt, et tant d'autres paramètres, ne saurait se faire sans études topographiques préalables.

1.5 La construction et l'entretien

L'implantation de la route sur le terrain se fera sur la base de levés topographiques.

C'est également sur cette base que les opérations d'entretien routier seront effectuées.

Ils seront déterminants dans le choix du tracé, l'évaluation des coûts de terrassement et le transport des terres.

Ces étapes prennent une importance toute particulière dans les projets de développement des pays africains où l'on note aujourd'hui une faible densité du réseau de transport et une inégalité de sa répartition sur le territoire.

Au moment où on parle de plus en plus de la nécessité de l'accroissement, de l'amélioration, et de l'entretien des réseaux routiers et ferroviaires en Afrique, il devient donc essentiel pour nos pays, en voie de développement, de se pencher sur la mise en oeuvre de techniques modernes de conception et de réalisation des routes.

En effet, la rapidité et la répétitivité des calculs et des tracés informatisés, permettront, par la multiplication des simulations, d'obtenir facilement la localisation du tracé le mieux adapté à l'environnement, le plus économique, le plus sécuritaire, et répondant le mieux aux exigences de confort des usagers.

Ainsi, il nous est apparu intéressant de concevoir un logiciel qui permettrait d'opérer une systématisation de l'informatisation des études de conception géométrique des routes.

Pour cela, après la brève aperçue des différentes étapes d'une étude d'un projet de route que nous venons d'exposer, nous nous proposons d'abord de faire :

- l'étude des besoins cartographiques,
- l'étude des éléments de tracé d'une route,
- l'étude des méthodes d'acquisition et de traitement des données dans une étude de route;
- l'informatisation du calcul des éléments géométriques et le graphisme accompagnant cette étude.

et enfin une présentation des résultats obtenus par notre logiciel.

CHAPITRE 2:

E T U D E D E S B E S O I N S C A R T O G R A P H I Q U E S

L'élaboration d'un projet routier nécessite de la part de l'ingénieur routier une bonne connaissance du site et de ses caractéristiques. Cela l'amène à acquérir des informations diverses telles que des données topographiques, les stocker sur différents types de supports, les manipuler, et les gérer avec soin afin d'obtenir des résultats conformes aux besoins cartographiques. Nous nous proposons ici de voir d'abord ce que peuvent être ces types d'informations et de supports avant d'avoir axé notre étude sur les seuils de précision et les besoins cartographiques sur les différentes phases d'une étude routière.

2.1 LES TYPES D'INFORMATION

2.1.1 La topographie

La topographie est un facteur important qui influe sur le tracé en plan et le profil en long puisqu'un relief accidenté restreint souvent le choix de l'emplacement de la route et des

éléments de conception. Un terrain plat a peu d'effet sur les caractéristiques de conception géométrique mais pourrait influencer considérablement sur la conception du système de drainage.

2.1.2 Etat de la circulation

La circulation est un élément de conception dont il faut tenir compte et pour cette raison, l' on doit recueillir toutes les données pertinentes. Les débits courants et projetés sont habituellement exprimés en terme de **débit du jour moyen annuel (DJMA)** ou bien en terme de **débit horaire de base (DHB)**. Les variations saisonnières peuvent être significatives, particulièrement sur les routes où il y aura un fort pourcentage de circulation à caractère récréatif. La composition de la circulation, i.e le pourcentage de voitures et de camions, contribue à déterminer s'il est nécessaire d'implanter une voie auxilliaire pour véhicules lents, une voie de dépassement ou augmenter le nombre de voies de circulation.

2.1.3 La nature du sol

Le type de route et sa conception dépend en partie de la nature du sol, par exemple la portance du sol d'assise, l'accessibilité des bancs d'emprunt et leur type, qui peuvent influencer sur le choix de l'emplacement d'une route.

2.1.4 La vitesse de base

Plusieurs paramètres influent sur le choix de l'emplacement horizontal et vertical d'une route. Le plus important est la vitesse de base. Elle devrait être choisie en fonction de la topographie, de l'exploitation des terrains adjacents et de la fonction de la route. Le concepteur devrait tenter d'établir une vitesse de base la plus élevée possible pour permettre le degré de sécurité, de mobilité et d'efficacité désiré, tout en tenant compte de la qualité de l'environnement, des facteurs économiques et esthétiques ainsi que des impacts sociaux.

Une fois établie, toutes ces caractéristiques devraient être réunies en vue de déterminer une vitesse de base et d'obtenir une conception équilibrée.

2.2 TYPES DE SUPPORT

La carte topographique bien que source d'informations est aussi un support de données et d'informations, représentant un outil précieux pour l'ingénieur. Elle est la représentation sur un plan et à une échelle déterminée des détails et formes d'un terrain.

Aujourd'hui avec le développement de l'informatique on note l'existence de la cartographie numérique avec comme support les disquettes, les bandes magnétiques, les disques durs et les supports conventionnels (cartes en lignes, photocartes, photographie aérienne).

2.3 LES SEUILS DE PRECISION

Les études topographiques au long des phas doivent être exécutées avec le plus grand soii. d'acquisition des données topographiques augmentant précision, il importe de définir des seuils de précision , données, nécessaires pour les différentes étapes. Une évaluation des besoins cartographiques pourra ainsi être faite à partir des seuils de précision obtenus.

Selon l'utilisation qui en est faite, la précision d'une mesure donnée doit s'inscrire dans des limites prédéfinies appelée tolérance. Cette tolérance évaluant l'acceptabilité d'une mesure, constituent la précision requise pour la détermination de celle-ci.

Pour des études de route, on peut utiliser les ordres de précision définis par la Société Américaine de Photogrammétrie selon l'erreur admise sur la mesure des distances:

- le **"premier ordre"** correspond à des distances horizontales mesurées au 1/25000 et des erreurs sur les distances verticales de $4.0 \text{ mm } k$, k étant la longueur en kilomètres du circuit de nivellement;

- le **"second ordre"** correspond à des distances horizontales mesurées au 1/10000 et des erreurs sur les distances verticales de $8.4 \text{ mm } k$;

- le **"troisième ordre"** correspond à des distances horizontales mesurées au 1/5000 avec des erreurs sur les distances verticales de $12.0 \text{ mm } k$;

- le "quatrième ordre" correspond à des distances horizontales mesurées au 1/2500 et des erreurs sur les distances verticales de 120.0 mm k .

Ces seuils de précision constituent une évaluation de la tolérance admise dans la détermination des cheminements tant pour la polygonation que pour le nivellement.

2.4 BESOINS CARTOGRAPHIQUES AUX DIFFERENTES PHASES D'UNE ETUDE DE ROUTE

Les données topographiques recueillies aux différentes phases d'une étude de route sont utilisées à des fins diverses et devront donc répondre à des critères de précision spécifiques à chacune de ces phases. Ainsi nous avons noté que :

- la planification et la reconnaissance de la zone du projet utiliseront des distances relatives, horizontales et verticales, dans le but d'évaluer la position des obstacles naturels et artificiels sur la bande d'intérêt.

Une précision au quatrième ordre suffira pour la détermination des données topographiques relatives à cette phase. On peut donc préconiser l'utilisation de photographies aériennes et de cartes topographiques d'une échelle allant de 1/50000 à 1/200000 .

- Pour l'étude des alternatives de tracés routiers, dans sa première phase de recensement de toutes les routes possibles, une précision du troisième ordre suffira pour la détermination des données topographiques .

Ainsi des cartes topographiques et des photographies aériennes à des échelles variant de 1/10000 à 1/50000 pourront être utilisées.

- **le choix de la localisation finale du tracé**, après comparaison des alternatives, devrait découler d'études topographiques plus précises, du **second ordre**.

Il faudra, ici, utiliser des cartes topographiques et des photographies aériennes à des échelles variant de 1/2400 à 1/5000.

- **la précision du premier ordre** sera requise pour des données topographiques utilisées au niveau des phases de **conception et de construction**.

Les cartes topographiques et les photographies aériennes devant être utilisées dans des phases terminales du projet de route pourront être d'une échelle variant de 1/500 à 1/2500.

Après cette étude sur les besoins cartographiques au cours des différentes étapes d'un projet routier, il convient à présent de passer à l'étude des éléments de tracé d'une route.

CHAPITRE 3

E T U D E D E S E L E M E N T S D E T R A C E D ' U N E R O U T E

La conception géométrique d'une route consiste à étudier les éléments nécessaires à la détermination et au tracé des alignements horizontaux ou verticaux, et des profils en travers, de la route projetée.

Ces éléments géométriques sont calculés suivant des normes variables, mais découlant des principes fondamentaux universels que sont la sécurité, le confort, l'économie et l'esthétique.

Ces considérations sont matérialisées par l'adoption de paramètres qui constituent les données de base pour le calcul des alignements de la route.

Ces paramètres varient en fonction des conditions climatiques et topographiques, et leur choix conditionne toute l'étude géométrique de la route.

3.1 LES ALIGNEMENTS HORIZONTAUX

3.1.1 DONNEES DE BASE

3.1.1.1 La vitesse de base

C'est la vitesse la plus élevée à laquelle un véhicule peut circuler, de façon continue, en toute sécurité, lorsque les conditions météorologiques sont les plus favorables, et que la densité de la circulation est très peu élevée.

Pour assurer la réalisation des objectifs d'efficacité et de sécurité du projet de route, on doit tenter d'établir la vitesse de base la plus élevée possible pour permettre d'obtenir le degré de sécurité et de mobilité désiré tout en tenant compte de la qualité de l'environnement, des facteurs économiques et esthétiques, ainsi que des impacts sociaux. Elle est généralement choisie entre 30 et 130 km/h, et influe sur le choix d'autres paramètres tels que les rayons de courbure et les déclivités.

3.1.1.2 Rayon de courbure

L'utilisation de courbes circulaires à courbure prononcée occasionne de nombreux inconvénients:

- changement brusque de direction au TC et au CT (voir paragraphe 3.1.2.1);
- impact de la force centrifuge,
- danger de dérapage et de glissement latéral,
- visibilité limitée,
- difficultés de drainage,
- construction plus compliquée;

Il est donc nécessaire de définir un rayon minimal acceptable en fonction de toute vitesse de base.

Celui-ci dépendra du taux maximal de devers et du frottement latéral qui se produit entre la chaussée et les pneus.

Il est calculé à partir de la formule suivante (K.BAAS et P.MANSEAU (1988)):

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(e_{\max} + f)} \quad (3.1)$$

où

V = vitesse de base en Km/h,

R min = rayon de courbure minimal,

e max = taux de devers maximal,

f = frottement latéral.

Les principes fondamentaux guidant le choix des rayons de courbure sont:

- il faut autant que possible utiliser un rayon plus grand que le rayon minimal,
- il faut tendre vers une unification des rayons de courbure le long de la route.

3.1.1.3 Devers maximal

Le devers est défini comme l'inclinaison transversale de la chaussée qui sert à annuler l'effet de la sollicitation centrifuge sur un véhicule circulant dans une courbe circulaire. Il est fonction du type de route, de la vitesse de base, et du rayon de

courbure considérés.

Le devers maximal, choisi par le concepteur, et entrant en ligne de compte dans l'évaluation du rayon de courbure minimal, doit être fonction des conditions topographiques, du milieu, et des conditions de trafic (fréquence des véhicules lents,...).

Il n'est utilisé que lorsqu'on a un rayon de courbure minimal.

Il est d'autant plus réduit que le rayon de courbure est élevé.

3.1.2 COURBE DE RACCORDEMENT

L'alignement horizontal d'une route est constitué d'une succession de lignes droites reliées par des lignes courbes. En raison des inconvénients liés aux petits rayons de courbure, on utilise des raccordements à courbures progressives, entre la courbe circulaire et les alignements droits, pour assurer une introduction progressive de la force centrifuge.

3.1.2.1 Courbe circulaire

symboles:

TC : point de raccordement de la tangente avec l'arc de cercle (ou commencement de la courbe);

CT : point de raccordement de l'arc de cercle et de la tangente (ou fin de courbe);

R : rayon de la courbe circulaire ;

PI : point d'intersection des tangentes ;

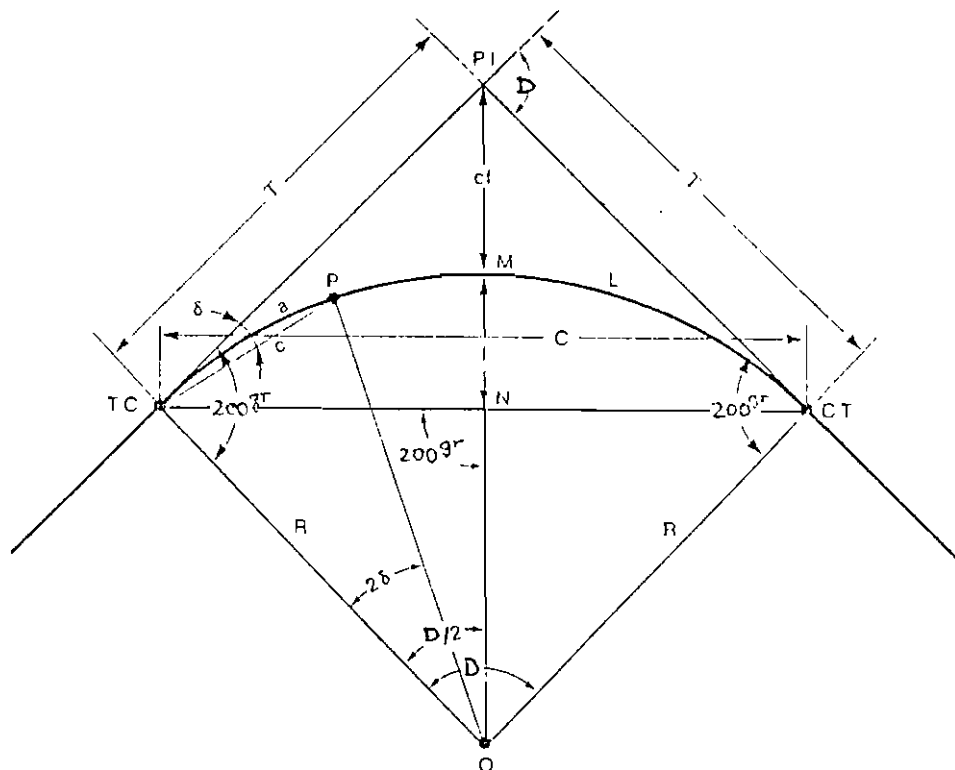
D : angle de déflexion entre les tangentes (en degrés);

T : longueur de la tangente ;

L : longueur de la courbe ;
 C : corde principale reliant les points TC et CT;
 c : corde intermédiaire;
 a : longueur d'un arc intermédiaire;
 f : flèche principale;
 cf : contre-flèche principale;
 δ : angle de déviation entre la tangente et la corde intermédiaire;
 O : centre de courbure de la courbe circulaire;

Figure 3.1 : Courbe circulaire simple

(voir manuel "Topométrie générale" DUQUETTE R. et LAUZON E.P.
page 326)



3.1.2.1.1 Relations entre les éléments géométriques

(Extraites du manuel " Topométrie générale " cité ci - dessus; page 327)

$$D = 200 - \text{angle au sommet} \quad (\text{en grade}) \quad (3.2)$$

$$T = R \tan(D/2) \quad (3.3)$$

$$f = R (1 - \cos(D/2)) \quad (3.4)$$

$$cf = R (1/\cos(D/2) - 1) \quad (3.5)$$

$$C = 2R \sin(D/2) \quad (3.6)$$

$$L = \pi \cdot D \cdot R / 400 \quad (D \text{ en grades}) \quad (3.7)$$

$$c = 2R \sin \delta \quad (3.8)$$

$$\delta = a D / (2L) = \text{Arcsin}(c / (2R)) \quad (3.9)$$

$$a = 2L(\delta/D) \quad (3.10)$$

3.1.2.1.2 Coordonnées rectangulaires

En considérant l'origine des coordonnées au point TC, l'axe des x selon la droite TC-PI (voir paragraphe 3.1.2.1), et l'axe des y selon la droite TC-O, les coordonnées d'un point P de la courbe circulaire sont données par:

$$X_p = R \sin(2\delta) \quad (3.11)$$

$$Y_p = R (1 - \cos(2\delta)) \quad (3.12)$$

3.1.2.2 COURBE DE TRANSITION

La force radiale s'exerçant sur un véhicule voyageant sur une courbe circulaire est donnée par la formule suivante (K.BAASS et P.MANSEAU (1988)):

$$F = P * \left(\frac{V^2}{R g} - e \right) \quad (3.13)$$

où

- F : force radiale en Newtons;
- P : poids du véhicule en Newtons;
- V : vitesse du véhicule en m/s;
- R : rayon de courbure en mètres;
- g : accélération due à la gravité en m/s²;
- e : devers en m/m;

Elle est proportionnelle à la courbure et on peut donc, par diminution uniforme du rayon de courbure, assurer une sollicitation progressive de la force centrifuge.

Pour se faire, on utilise une courbe de transition dont le rayon de courbure varie de façon inversement proportionnelle à la longueur mesurée depuis le début de la transition.

On utilise généralement la clothoïde ou la spirale en raison des propriétés suivantes:

- sa courbure en un point est proportionnelle à la distance de ce point au point de courbure nulle.
- parcourue à vitesse constante, elle correspond à la trajectoire d'un véhicule dont l'angle de braquage du volant augmente régulièrement.

La spirale est définie par le taux de changement de son rayon de courbure par une constante A appelée paramètre de la spirale.

Suivant le système de coordonnées ci dessous, avec l'origine au point d'intersection tangente - spirale (TS), les coordonnées d'un point sur la spirale sont données par:

$$X = l - \frac{l^5}{(40 R^2 L_s^2)} \quad (3.14)$$

$$Y = \frac{l^3}{6 R L_s} - \frac{l^7}{336 R^3 L_s^3} \quad (3.15)$$

avec :

l : distance du point considéré par rapport à l'origine
suivant l'arc de la spirale

L_s : longueur de la spirale

R : Rayon de la courbe circulaire

3.1.3 RACCORDEMENT SPIRALE-CERCLE-SPIRALE

Le raccordement de l'arc de cercle aux alignements droits, par le biais de spirales de transition, se fera en décalant l'arc de cercle vers le centre suivant la bissectrice.

L'espace ainsi créé permettra d'intercaler la spirale tout en conservant la symétrie et la valeur du rayon de courbure.

3.1.3.1 Éléments de raccordement

(voir manuel "Topométrie générale " E.P.LAUZON et
R.DUQUETTE page 356)

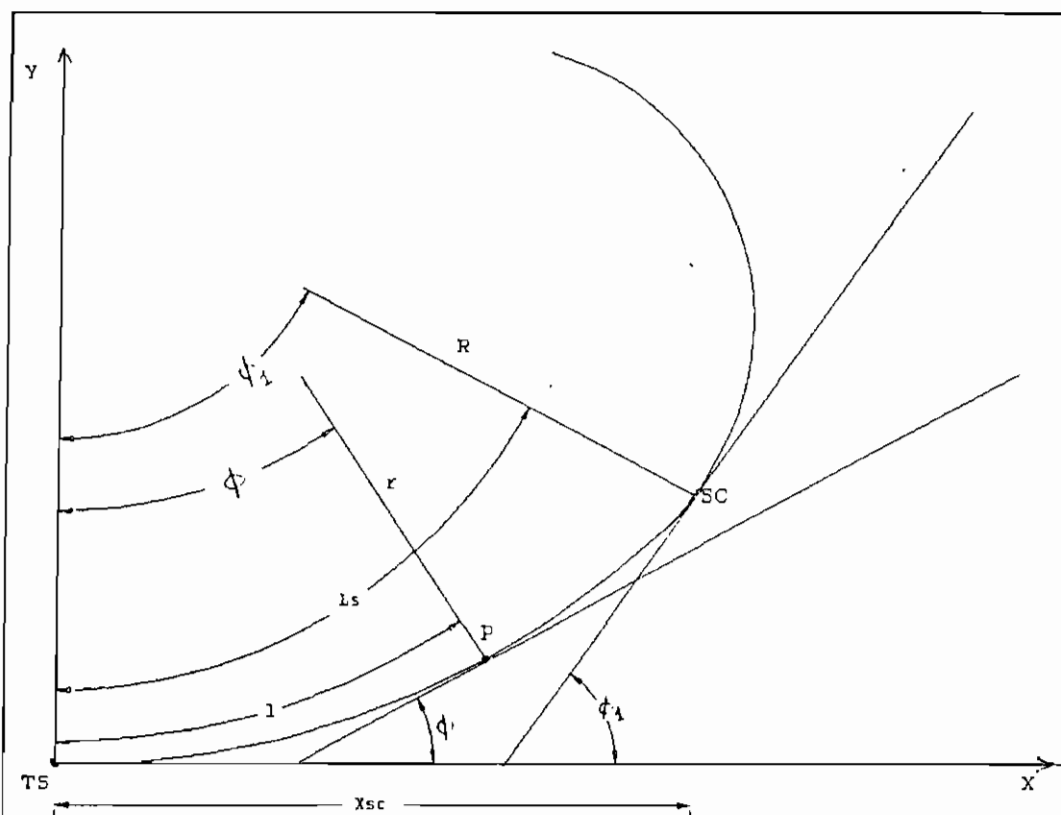


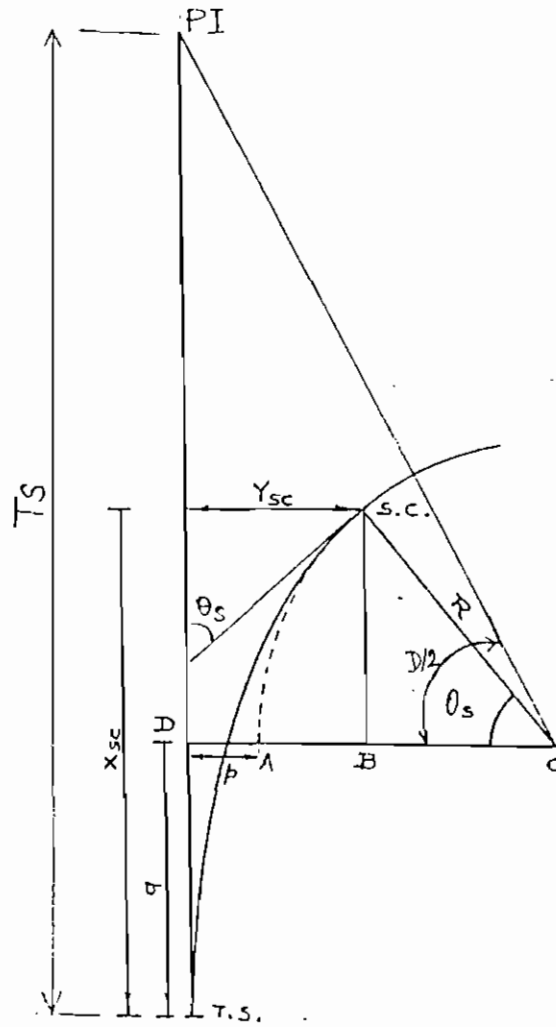
FIG 3.2 : Mathématique de la spirale

TS : point de tangence entre l'alignement droit et la
spirale;

SC : point de tangence entre la spirale et la courbe
circulaire;

Figure 3.3 : Eléments de raccordement

(se référer à GAGNON L. "Géométrie routière" page 57)



L_s : longueur de la spirale, de TS à SC;

l : longueur d'un arc sur la spirale, à partir de TS;

L_c : longueur de l'arc de cercle, de SC à CS;

r : rayon de la spirale en un point quelconque;
 R : rayon de la courbe circulaire;
 θ_s : angle de la spirale;
 T_s : tangente principale, du TS au PI;
 T_c : tangente courte de la spirale;
 T_l : tangente longue de la spirale;
 LC : corde de la spirale de TS à SC;

Au point SC on a $l = L_s$ et $r = R$ d'où à partir des relations 3.14 et 3.15 on a :

$$X_{sc} = L_s - \frac{L_s^3}{40 R^2} \quad (3.16)$$

$$Y_{sc} = \frac{L_s^2}{6 R} - \frac{L_s^4}{336 R^3} \quad (3.17)$$

A partir de ces coordonnées on peut évaluer les diverses fonctions de raccordement à l'aide des relations géométriques suivantes (L. GAGNON 1980) :

$$\theta_s \text{ (en grades)} = 100 L_s / (\pi R) \quad (3.18)$$

$$p = Y_{sc} - R (1 - \cos \theta_s) \quad (3.18)$$

$$q = X_{sc} - R \sin \theta_s \quad (3.19)$$

$$CF = \frac{R + p}{\cos(D/2)} - R \quad (3.20)$$

$$T_s = (R + p) \tan(D/2) + q \quad (3.21)$$

$$T_l = X_{sc} - Y_{sc} / \tan \theta_s \quad (3.22)$$

$$T_c = Y_{sc} / \sin \theta_s \quad (3.23)$$

$$LC = (X_{sc}^2 + Y_{sc}^2)^{1/2} \quad (3.24)$$

3.1.3.2 Éléments d'implantation

A partir des coordonnées X_i et Y_i d'un point de la spirale, on peut calculer l'angle de déviation ϕ_i , et la distance de chainage d_i , permettant l'implantation d'un point de la courbe:

$$\phi_i = \text{Arctan}(Y_i/X_i)$$

$$d_i = ((X_i - X_{i-1})^2 + (Y_i - Y_{i-1})^2)^{1/2}$$

3.2 ALIGNEMENTS VERTICAUX

Pour des raisons d'ordre économique, esthétique et de confort, le profil longitudinal d'une route doit s'adapter autant que possible au relief du terrain naturel en conservant les pentes les plus faibles .

Le profil doit paraître agréable, sans changement abrupt de pente .

Il doit également répondre à la nécessité d'écouler rapidement des eaux de pluie .

Il sera donc conçu selon des alignements droits reliés par des courbes verticales permettant un changement de pente uniforme entre eux.

3.2.1 Le choix des pentes

Le choix des déclivités du profil longitudinal est fait en conservant les coûts d'opération des véhicules, et les coûts de construction de la route.

Ainsi, la recherche du tracé optimal, économique, esthétique et sécuritaire tiendra compte des observations suivantes (Luc GAGNON 1980):

- pour des déclivité de 3% au moins, le comportement des véhicules n'est que très légèrement affecté, tandis que celui des camions ne l'est que pour des pentes assez longues;
- lorsque la pente atteint 5% , les automobilistes n'éprouvent aucune difficulté à circuler, tandis que les camions en éprouvent beaucoup, surtout si la chaussée est glissante;
- une pente minimale doit être considérée pour assurer de bonnes conditions de drainage; celui-ci varie généralement entre 0.5% et 0.2 % .

3.2.2 Les courbes verticales

Dans le but de maintenir un bon confort pour les occupants des véhicules, on cherche à obtenir une courbe verticale qui permet une introduction graduelle de l'accélération centrifuge. On pourrait donc prévoir des arcs de cercles. Toutefois pour simplifier le piquetage et les calculs on utilise très souvent la parabole à la place du cercle. Ceci présente un autre avantage qui est le fait que la distance de visibilité dans la courbe reste constante sur

toute la largeur de la route.

En effet, le taux de changement de pente est donné par la dérivée seconde de l'équation de la parabole, et elle est une constante (P.MANSEAU et K.BAASS 1988).

On définit ainsi un facteur K qui représente la longueur de la courbe équivalant à un changement de pente de 1% , K est une mesure de la "courbure" de la parabole. Elle varie suivant la vitesse de base et conditionne le confort, la visibilité et l'esthétique de la route.

La longueur de courbe à adopter pour un raccordement donné dépend de ce paramètre K et des pentes des alignements droits qu'il raccorde.

Ainsi, si la pente de l'alignement amont est p_1 en pourcentage, et celle de l'alignement aval p_2 , on a la longueur L de la courbe verticale qui est donnée par:

$$L = K (p_1 - p_2) \quad (3.25)$$

A partir de l'origine des abscisses au point de tangence amont courbe - alignement droit, l'équation de la courbe s'écrit:

$$Z = \frac{p_1 - p_2}{2 L} * X^2 \quad (3.26)$$

d' où on déduit les coordonnées des sommets (haut ou bas) de la courbe :

$$X = p_1 * \frac{L}{p_1 - p_2} \quad (3.27)$$

$$Z = p_1^2 * \frac{L}{2 (p_1 - p_2)} \quad (3.28)$$

Connaissant les éléments nécessaires pour le tracé d'une route, il serait important de voir à présent les méthodes d'acquisition et de traitement des données dans les études routières.

CHAPITRE 4:

METHODES D'ACQUISITION ET DE TRAITEMENT DES DONNEES DANS LES ETUDES ROUTIERES

L'exécution d'un projet routier nécessite l'acquisition de données topographiques soit par levés topographiques à toutes les phases des travaux sur terrain, soit sur cartes ou photographies aériennes disponibles. Et pour chaque cas les travaux de terrain et de laboratoire doivent être effectués avec soin dans le souci de se conformer aux seuils de précision que l'on s'est fixés. Vue l'importance de ces données pour les études routières, nous jugeons important de voir ici, leurs méthodes d'acquisition et de traitement.

4.1 METHODE D'ACQUISITION DE DONNEES PAR LEVES TOPOGRAPHIQUES

4.1.1 Méthodes de mesurage des angles

La localisation de points implique, en plus de la mesure des distances , le mesurage d'angles, ou encore , l'orientation de droites. D'une façon générale , l'angle peut être défini comme étant

l'écartement entre deux droites concourantes. Mais dans des cas particuliers, peut être caractérisé: la lecture d'une direction sur un instrument, par exemple. On mesure les angles dans le plan horizontal ou vertical en utilisant soit le théolite soit la boussole. On note plusieurs méthodes de mesurage d'angles:

- la méthode d'angle individuel ,
- la méthode du tour d'horizon (ou méthode de série),
- la méthode par réitération décalée,
- la méthode par répétition .

4.1.2 Méthode de mesurage des distances

Le chainage est généralement utilisée dans les travaux routiers. Toutefois pour des travaux de faible précision on peut utiliser la méthode stadimétrique

Le stadimètre est un appareil qui donne la distance à partir de l'intervalle intercepté sur une mire (stadia) installée sur un autre point, l'angle étant, en principe, fixe.

La distance L est obtenue en multipliant la différence de lecture i du fil supérieur et inférieur de la lunette de l'appareil sur la mire, par la constante k de l'apareil qui généralement égale à 100 (quelquefois 50 ou 200).

$$L = k * i \qquad (4.1.1)$$

4.1.3 Besoins en précision pour les mesurages d'angles et de distances

Le besoin en précision dans les mesures d'angles horizontaux dépend essentiellement de l'importance du projet et aussi de la précision des mesures de distances effectuées. Et il existe une relation entre la précision linéaire et la précision angulaire.

Si l'erreur linéaire permise sur une distance d est l , en supposant que nous avons un carré d'erreur et que les précisions angulaire et linéaire sont homogènes , alors l'erreur angulaire permise correspondante e est donnée par (H. BOUCHARD et F. H. MOFFIT 1972) :

$$e = \text{Arctan} (l/d) \quad (4.1.2)$$

Le tableau ci-dessous (H. BOUCHARD et F. H. MOFFIT 1972) donne, après conversion des angles en grades et des distances en mètres, les erreurs angulaires permises en fonction de la précision sur les distances, et l'erreur linéaire permise en fonction de la précision angulaire.

Dans ce tableau une distance obtenue par la méthode stadimétrique avec une précision de $1/500$, l'erreur d'une mesure d'angle est de 0.185 grades; alors que pour une précision linéaire de $1/10000$, il est de $1.23E-2$ grade.

4.2 METHODES DE TRAITEMENT DES DONNEES

Les méthodes de calcul et les modèles mathématiques employés dans cette étude sont ceux qui nous ont semblés les mieux adaptés au traitement informatique.

C'est donc des considérations pratiques, liées au souci d'accélérer les calculs, de réduire les risques d'erreur, qui ont guidé le choix des méthodes de calcul de polygonation, de courbes et de transformation de coordonnées. Cependant les exigences de précision et de normes ont également constitué des contraintes importantes dans ce choix. Ceci nous a obligé dans la conception de notre logiciel de laisser l'utilisateur d'introduire à sa guise les paramètres liés aux normes.

TABEAU 4.1 : RELATION ENTRE ERREURS ANGULAIRE ET LINEAIRE

ERREUR ANGULAIRE PREMISE EN FONCTION DE LA PRECISION LINEAIRE		ERREUR LINEAIRE PERMISE EN FONCTION DE LA PRECISION ANGULAIRE				
Précision	Tolérance angulaire (grades)	Erreur d'une mesure (gr)	Erreur linéaire (m) pour:			
			3.704	18.52	37.037	185.18
1/500	0.255	0.185	.0442	.2216	.4432	2.2165
1/1000	0.127	3.704E-2	.0088	.0442	.0887	0.4432
1/5000	2.53E-2	1.852E-2	.0046	.0222	.0442	0.2216
1/10000	1.30E-2	1.234E-2	.0030	.0149	.0296	0.1478
1/50000	2.47E-3	6.173E-3	.0015	.0073	.0149	0.0738
1/100000	1.23E-3	3.086E-3	.0006	.0036	.0073	0.0369
1/1000000	1.23E-3	1.234E-3	.0003	.0015	.0030	0.0146
		6.173E-3		.0006	.0015	0.0073

4.2.1 La polygonation

Les cheminements réalisés par levés topographiques dans les projets routiers constituent des polygonales ouvertes.

Celles-ci seront exécutées en mode géométrique et devront dans la mesure du possible être reliées à des points de coordonnées fixes et connues.

Cette méthode permettra d'obtenir des mesures assez précises, et le calcul et la compensation de la polygonale seront effectués comme suit:

soient α_i = angle mesuré au sommet i
 $d_{i,i+1}$ = distance mesurée entre les sommets i et $i+1$
 $G_{i,i+1}$ = gisement calculé entre les sommets i et $i+1$
 fa = fermeture angulaire obtenue
 fx = fermeture linéaire en x
 fy = fermeture linéaire en y
 fr = fermeture linéaire relative obtenue
 L = longueur du cheminement
 $Dx_{i,i+1}$ et $Dy_{i,i+1}$ = variation de coordonnées

Gisements:

$$G_{i,i+1} = G_{i,i-1} + \alpha_i - 200 \quad (\text{grade})$$

G_{arr} = gisement connu de la droite définie par les sommets $n-1$ et n (n étant le nombre de sommets de la polygonale)

$$f_a = G_{n,n+1} - G_{arr}$$

$$G_{i,i+1} \text{ corrigé} = G_{i,i+1} - i \times f_a / n$$

f_a est à comparer avec la précision angulaire requise. Si f_a est inférieure à cette précision requise, alors on fait la compensation; sinon les mesures sont imprécises et doivent être reprises.

Coordonnées:

$$Dx_{i,i+1} = d_{i,i+1} \sin G_{i,i+1} \text{ corrigé}$$

$$Dy_{i,i+1} = d_{i,i+1} \cos G_{i,i+1} \text{ corrigé}$$

$$f_x = \sum_{i=1}^n Dx_{i,i+1} - [X_{arr} - X_{dep}]$$

$$f_y = \sum_{i=1}^n Dy_{i,i+1} - [Y_{arr} - Y_{dep}]$$

$$f_r = (f_x^2 + f_y^2)^{1/2} / L$$

$$X_{i+1} = X_i + Dx_{i,i+1} - \frac{f_x}{L} \times d_{i,i+1}$$

$$Y_{i+1} = Y_i + Dy_{i,i+1} - \frac{f_y}{L} \times d_{i,i+1}$$

f_r est à comparer avec la précision linéaire requise. Si f_r est inférieur à cette précision, on fait la compensation; sinon les mesures sont imprécises et devront être reprises.

4.2.2 Les courbes horizontales

Les raccordements entre alignements droits, sont ici, parfois réalisés par une courbe circulaire encadrée de deux courbes de transition.

Les courbes de transition utilisées sont les spirales, cependant, lorsqu'elles ne sont pas jugées nécessaires, il est possible de les supprimer en leur adjoignant un paramètre $A=0$ (A est appelé paramètre de la spirale). Dans le calcul des éléments d'implantation, l'outil informatique rend aisé le calcul des coordonnées rectangulaires des points sur les courbes qui permettent une implantation facile et flexible à partir d'un point quelconque.

Les coordonnées de ses points sont obtenues dans le système général pour tout le projet, à partir des coordonnées des sommets et des points de tangence directement (en tenant compte du gisement de la tangente), ou par la méthode de transformation linéaire conforme.

Les équations utilisées sont celles développées au chapitre 3, paragraphe 3.1 .

4.2.3 LA TRANSFORMATION DES COORDONNEES

La transformation des coordonnées X,Y en coordonnées E,N est réalisée par transformation linéaire conforme, les coordonnées de contrôle étant constitués par les sommets de la polygonale et les points de tangence entre courbes et alignements droits. Nous disposerons pour chaque courbe, de deux points de contrôle (point

de tangence i.e. début et fin de la courbe).

La transformation linéaire conforme suppose que les systèmes plans de coordonnées soient reliés par un facteur d'échelle, une rotation et deux translations.

On définit donc des paramètres de transformation a, b, T_E et T_N respectivement pour le facteur d'échelle, l'angle de rotation, la translation en E et la translation en N.

Ainsi, pour tout point de contrôle on a la relation entre ses coordonnées (X_A, Y_A) et (E_A, N_A) donnée par le système:

$$\begin{cases} a X_A - b Y_A + T_E = E_A \\ b X_A + a Y_A + T_N = N_A \end{cases} \quad (4.2.3a)$$

Ce système d'équations pour deux points de contrôle peut s'obtenir sous forme matricielle:

$$\begin{bmatrix} X_1 & -Y_1 & 1 & 0 \\ Y_1 & X_1 & 0 & 1 \\ X_2 & -Y_2 & 1 & 0 \\ Y_2 & X_2 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a \\ b \\ T_E \\ T_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_1 \\ N_1 \\ E_2 \\ N_2 \end{bmatrix} \quad (4.2.3b)$$

Cette équation matricielle $[A][X] = [L]$ constituant un système d'équations linéaires sera résolu, par triangulation et substitution inverse, pour obtenir l'inconnue $[X]$.

A partir des paramètres a, b, T_E et T_N , tout point de la courbe verra ses coordonnées transformées dans le système général par

application des équations du système 4.2.3a .

4.2.4 Les courbes verticales

L'équation permettant le calcul des coordonnées d'un point de la courbe verticale, $Y = A X^2/(2L)$, situe bien la nécessité de déterminer la longueur L de celle-ci.

La longueur de la courbe est fonction de la visibilité, du confort, du drainage et de l'esthétique.

$$L = K A$$

avec :

A = changement de déclivité

K = longueur de la courbure équivalent à un changement de déclivité de un pourcent

Les relations permettant la prise en compte de ses facteurs sont fonction du type de courbe (concave ou convexe).

4.2.4.1 Courbes convexes ou saillantes

Nous noterons les critères de conception suivants (K.BAASS et P.MANSEAU 1988):

- Visibilité :

La condition de visibilité fondamentale est que nulle part la distance de visibilité ne devrait être plus petite que la distance de visibilité d'arrêt S.

$$S = \frac{V}{3.6} * PIEV + \frac{V^2}{254 f}$$

où,

V = vitesse de base (km/h)

f = frottement latéral

PIEV = temps de perception - réaction

Ainsi la longueur de la courbe dépendra de la distance de visibilité d'arrêt nécessaire :

$$k = s^2 / 538$$

- Confort:

La condition de confort veut que l'accélération verticale subie par les passagers d'un véhicule doit rester dans des limites acceptables (0.3 m/s^2 au maximum).

D'où:

$$k = v^2 / 389$$

- Esthétique :

Par expérience, on démontre que les bonnes conditions d'esthétique sont obtenues si la longueur de la courbe exprimée en m est au moins égale à la vitesse de base exprimée en km/h.

- Drainage :

Pour éviter les accumulations d'eau sur la chaussée, il faut minimiser la longueur de la partie de la courbe verticale où la pente longitudinale est près de zéro.

Ce critère limite la longueur de la courbe verticale

$$L_{\max} = \frac{15 A}{\text{pente minimale}}$$

En ce sens, il s'oppose aux autres critères guidant la détermination de L.

4.2.4.2 Courbes concaves ou rentrantes:

Les conditions de drainage, de confort et d'esthétique sont semblables à celles des courbes convexes.

Le critère déterminant reste cependant la visibilité. On considèrera ici la visibilité donnée par l'éclairage des phares de nuit donnant le paramètre K :

$$K = \frac{S^2}{200 (h_3 + S \tan \alpha)} \quad \text{si } S \leq L$$

$$K = \frac{2 S}{A} - \frac{200 (h_3 + S \tan \alpha)}{A^2} \quad \text{si } S > L$$

en supposant que les phares éclairent vers le haut avec un angle α et que elles sont placées à une distance h_3 du pavage.

4.2.5 PROFIL EN LONG

On distingue deux types de profil en long: le profil en du terrain naturel et celui du projet ou "ligne rouge".

4.2.5.1 Profil en long du terrain naturel

Il s'établit de la manière suivante:

- Après calcul des coordonnées de points équidistants pris sur l'axe, on peut procéder à un nivellement direct ou sur le terrain. C'est une opération qui permet d'obtenir l'altitude de chaque point.

- Par interprétation et interpolation des courbes de niveau ou par des levés de séries de points fournissant une image fidèle de la configuration du relief. On détermine l'altitude des points choisis sur l'axe de la route.

4.2.5.2 Profil en long du projet

Il est défini par le projeteur et représenté par "la ligne rouge" qui est une intersection dans l'axe de la plate-forme de la voie et du plan vertical.

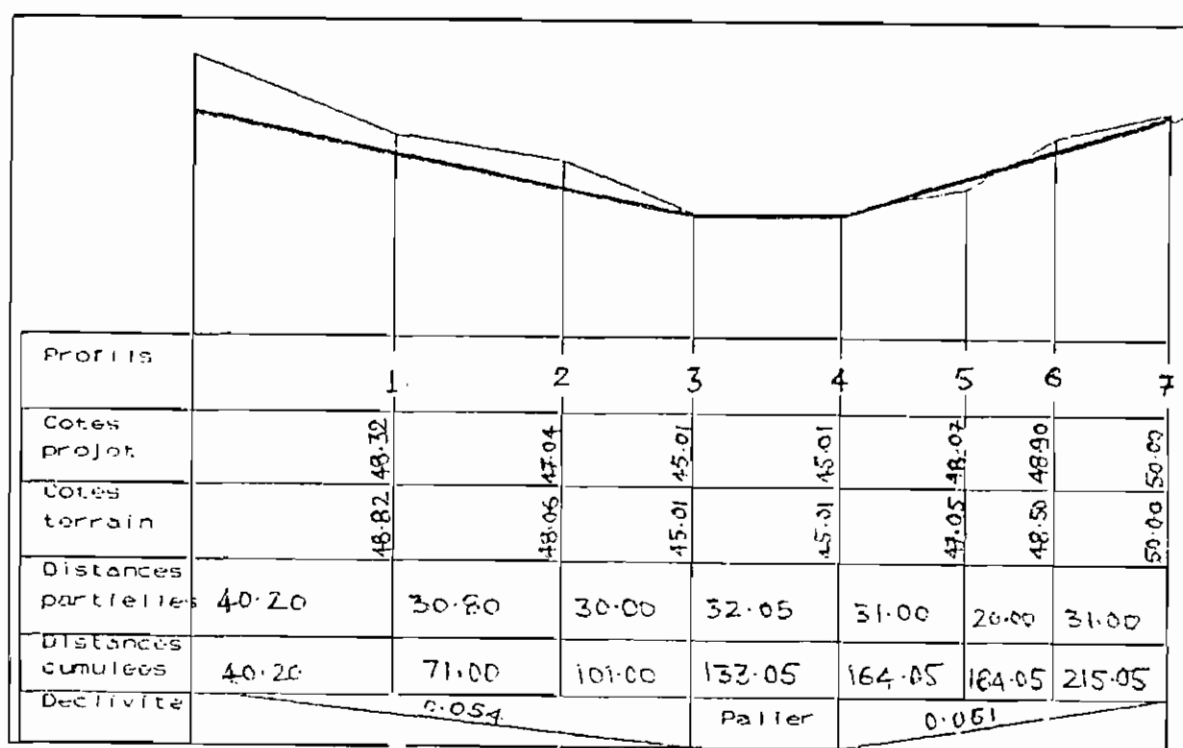
D'autre part, le profil en long type comporte les indications suivantes :

- *- Altitude des points du terrain .
- *- Altitude du projet sur ces mêmes points.
- *- Distances partielles, c'est à dire entre deux points successifs.
- *- Distances cumulées depuis l'origine du profil jusqu'à chaque point.

- *- Numero des profils en travers.
- *- Déclivité du projet.
- *- Longueur des alignements droits; et pour les courbes: rayon, developpement et angle au centre.

Figure 4.1 : Profil en long type

(se référer à "Informatique et terrassements routiers" DIOUF A. et SAKHO M. ; mémoire de fin d'étude 1984 ENSUT)



4.2.6 ELEMENT DE PROFIL EN TRAVERS

Les profils en travers sont des coupes transversales obtenues par un plan vertical passant par l'axe de la route. Ils sont constitués de segments de droites montrant la configuration du terrain dans le plan vertical.

Un profil en travers montre deux lignes:

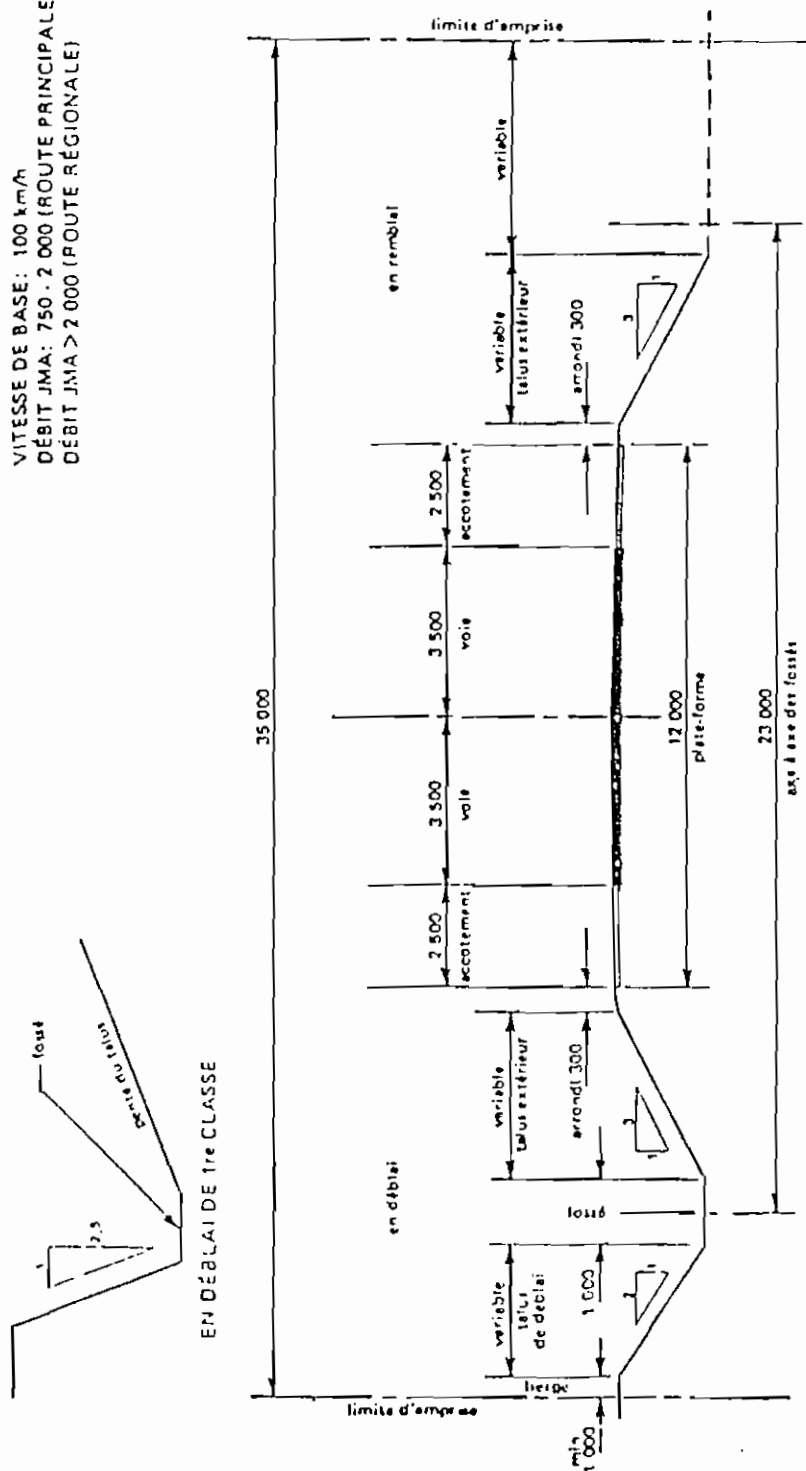
-*- La ligne du terrain, représentant le terrain naturel décapé et calculé par interpolation dans le levé de série de points ou dans les courbes de niveau.

-*- La ligne assise, représentant le profil des terrassements avant construction de la chaussée; il est formé de l'assise proprement dite et des talus de remblai ou de déblai.

Le procédé d'établissement du profil en travers du terrain est le même que celui du profil en long.

Si l'on fait une section en travers d'une route, et à l'intersection du plan sécant et de la surface de la route il n'y a aucune particularité (courbe horizontale, voie auxiliaire, etc...) on dit qu'il s'agit du profil en travers type de cette route (K.BAASS et P.MANSEAU 1988).

VITESSE DE BASE: 100 km/h
 DÉBIT JMA: 750 - 2 000 (ROUTE PRINCIPALE)
 DÉBIT JMA > 2 000 (ROUTE RÉGIONALE)



TYPE C - ROUTE PRINCIPALE OU RÉGIONALE

NOTES: - Lorsqu'on prévoit une glissière de sécurité, une berme de 1 m est requise en sur largeur à l'accotement.

- Pour des remblais jusqu'à 2 m de hauteur, on conserve la même emprise et la même distance des fossés en faisant varier la pente du talus extérieur; pour des hauteurs supérieures à 2 m, la distance des fossés varie de manière que la pente du talus extérieur n'excède pas 1V:2H et l'emprise est diagonale au besoin.

Figure 4.2 Profil en travers type.

(Extrait de BAAS K. MANSEAU P. "Cours de route" 1988)

4.2.6.1 Calcul des profils en travers

Les profils en travers sont destinés à permettre le calcul de la surface comprise entre la ligne rouge du projet et la ligne du terrain naturel.

On divise par des lignes verticales la surface à calculer en surfaces élémentaires qui seront des triangles et des trapèzes dont il s'agit de calculer les éléments: bases et hauteurs.

Il faut pour cela, calculer et inscrire d'une part toutes les côtes du terrain à chaque changement de pente du projet, et d'autre part, toutes les côtes du projet à chaque changement de pente du terrain naturel, afin de calculer les distances séparant ces différents points.

On inscrit d'abord toutes les côtes d'altitude qui résultent des données de nivellement du terrain, côtes du projet prises sur le profil en long, puis on inscrit les hauteurs de remblai et de déblai qui résultent de ces données.

On résout ensuite de proche en proche, en partant de l'axe, les petits problèmes qui se posent tels que la détermination de la hauteur des triangles formée de déblai ou de remblai et le terrain naturel, etc...

On aura ainsi tous les éléments pour calculer les surfaces les surfaces.

Lorsqu'on a une série de profils en travers à calculer, il est plus rapide d'utiliser un planimètre. Un planimètre est un intégrateur de superficie qui permet d'évaluer la grandeur de la surface comprise à l'intérieur d'un contour donné.

4.2.7 CUBATURE DES TERRES

La cubature ou mètre des terrassements est l'évaluation des cubes de déblais et de remblais que comporte un projet. Les ingénieurs sont souvent appelés à calculer des volumes d'excavation ou de remplissage dans les terrassements routiers.

Il existe plusieurs méthodes de calcul des cubatures: la méthode des sections en travers, la méthode des prismes tronqués, la méthode des courbes de niveau ou méthode hypsométrique et la méthode géométrique.

Toutefois nous ne parlerons ici que de la méthode des sections en travers qui est la méthode la plus utilisée dans les terrassements routiers (E.P.LAUZON et R.DUQUETTE 1983).

4.2.7.1 La méthode des sections en travers

Ici les profils du terrain sont mesurés perpendiculairement à l'axe du projet à tous les 10, 20 ou 30 mètres. Les superficies de ces sections sont soit calculées, soit mesurées au planimètre lorsqu'on a sur le graphique du profil en travers des échelles homogènes et qui sont égales suivant les axes vertical et horizontal.

Nous noterons ici que deux formules sont utilisées pour évaluer les cubatures . (voir référence citée ci - haut).

-*- La formule de la moyenne des aires ou de la moyenne
des bases

Le volume entre deux sections S_1 et S_2 est égal à la moyenne de ces deux sections multipliée par la distance horizontale l entre elles.

$$\text{Volume} = \frac{l * (S_1 + S_2)}{2}$$

-*- La formule du prismatoïde

La formule du prismatoïde est appliquée aux formes géométriques que l'on pourrait considérer comme prismatoïdales. Cette formule est plus précise que celle de la moyenne des aires. Elle est donnée par:

$$\text{Volume} = l * (S_1 + S_2 + 4 S_m) / 6$$

où

S_1, S_2 : section des deux bases

S_m : section médiane

l : distance horizontale entre S_1 et S_2

Dans les projets où il y a plusieurs sections, on prend comme base les sections de rang impair, et les sections intermédiaires sont considérées comme sections médianes.

*** Pour un nombre impair de sections la formule devient:**

$$\text{Volume} = l * (S_1 + S_n + 2 * \Sigma(S_{\text{impair}}) + 4 * \Sigma(S_{\text{pair}})) / 3$$

* Pour un nombre pair de sections la dernière partie du volume est calculée par la formule de la moyenne des aires.

Remarques:

-- La " formule du prismatoïde " n'est utilisée que si les sections transversales sont prises à peu de distance les unes des autres, si les variations du relief en surface sont faibles et si les superficies des sections transversales successives diffèrent grandement.

Habituellement cette méthode donne des résultats légèrement inférieurs - quant aux volumes - à ceux de la méthode de la moyenne des aires.

-- " la formule de la moyenne des aires " est dangereuse lorsque la superficie de l'une des sections approche zéro. C'est le cas lorsqu'on passe d'une zone de déblai à une zone de remblai à flanc de montagne. Dans ce cas le volume est habituellement calculé comme celui d'une pyramide:

$$\text{Volume} = \frac{1}{3} * B * l$$

avec

B : surface de base

l : longueur entre section

CHAPITRE 5:

INFORMATISATION DES CALCULS DES ELEMENTS

GEOMETRIQUES - GRAPHISME

Les éléments géométriques étudiés précédemment constituent les éléments de base de l'étude géométrique d'un projet de route. Ils ont été mis en équations mathématiques (équations des chapitres 3 et 4) et traduits en langage informatique dans le but de réaliser des gains de temps substantiels et de minimiser de façon considérable les risques d'erreurs.

C'est ainsi que nous avons élaboré ce logiciel (voir chapitres antérieurs) constitué de programme en Turbo Pascal 4.0 permettant le calcul des éléments de tracé d'une route, le graphisme nécessaire à l'étude d'un projet de routier et l'évaluation des cubatures.

5.1 PROGRAMME DE TRACE DE LA POLYGONALE

5.1.1 But du programme

Le calcul des éléments relatifs au tracé en plan de la route est fait à partir du cheminement sur la ligne centrale après compensation et calcul des coordonnées planimétriques de la polygonale.

Ce programme a pour but, à partir des données topographiques du terrain, de calculer les coordonnées des sommets de la ligne enveloppe de l'axe de la route.

5.1.2 Présentation du programme

Ce programme du tracé de la polygonal est constitué de plusieurs procédures permettant les calculs des coordonnées définitives des sommets d'une polygonale et les gisements finals de ses segments à l'aide de formules du paragraphe 4.2.1 .

- La procédure " Initialiser_fichier_polygonal " permet d'initialiser tous les fichiers contenus dans le module.

- La procédure " Modifier_données_polygonal " offre la possibilité d'entrer des données, de les modifier en cas d'erreur dans la saisie de manière interactive.

- La procédure " Spécifications " calcul l'erreur de lecture angulaire permise et déterminer ainsi les types d'appareils et les modes opératoires les mieux adaptés.

- La procédures " Calcul_polygonation " effectue tous les calculs intermédiaires et aboutit à la création d'un fichier résultat de polygonation.

- La procédure " Tansfert_de_fichier " permet de transcrire le fichier résultat sur un fichier de type text sauvegardé sur disquette.

- La procédure " Afficher_fichier_polygonal " affiche à l'écran le fichier des résultats obtenu.

- La procédure " Impression_polygonation " imprime sur papier

le fichier de résultats de la polygonale.

- La procédure " **visualisation polygonale** " représente graphiquement la polygonale sur l'écran

- La procédure " **Imprime_ecran** " imprime sur papier la représentation graphique de la polygonale.

5.1.3 Structure des opérations

- Entrer des données
- Calcul de la précision angulaire requise
- Choix du mode opératoire pour le levé des angles
- Répéter pour chaque sommet: calcul des gisements préliminaires
- Calcul de la fermeture angulaire
- Vérifier la validité des mesures d'angle
- Répéter pour chaque sommet :
 - . calcul des gisements définitifs
 - . calcul des coordonnées relatives
- Calculer la fermeture linéaire
- Vérifier la validité des mesures de distances.
- Calculer les coordonnées des sommets
- Afficher les résultats
- Imprimer les résultats
- Visualiser la polygonale
- Représentation graphique de la polygonale sur papier

5.2 PROGRAMME DE TRACE EN PLAN

5.2.1 But du programme

Ce programme a pour but :

- d'étudier un grand nombre de tracés possible connaissant les coordonnées du sommet de la polygonale dans le système d'axes défini au paragraphe 3.1.2.1.2, les rayons des cercles de raccordement, les paramètres de spirale, les chaînages des points de départ, et le coefficient de frottement latéral;
- d'augmenter les possibilités de choix du tracé ;
- de faciliter l'implantation de l'axe de la route en calculant les coordonnées des points sur les alignements droits et les courbes de raccordement horizontales, le long de la route.
- de situer les différents profils en travers par zone c'est à dire en alignement droit, en raccordement progressif et en courbe circulaire; pour l'application éventuelle du profil type. Ceci dans le but d'une évaluation plus précise des volumes de terre à déplacer.

5.2.2 Présentation du programme

En plus des données issues du fichier de résultats de la polygonale, c'est-à-dire des coordonnées des sommets de la polygonale, il est nécessaire de fournir les rayons de cercle et les paramètres de spirale ainsi que le chaînage de départ du projet. Les calculs seront effectués avec les formules des paragraphes 3.1.1.2, 3.1.2.1.1 à 3.1.3.2

Le fichier de résultats obtenu contiendra un tableau comprenant

les coordonnées des points de la route par rapport au système d'axes défini au paragraphe 3.1.2.1.2, l'angle de déflexion en ces points, leur cumulée, ainsi que l'élément (et le paramètre correspondant) de l'alignement horizontal, auquel appartient le point.

Les procédures utilisées sont celles qui contribuent aux calculs des éléments nécessaires au tracé en plan de la route.

- L'entrée des données est assurée par la procédure "**Lire_donnée_courbe_horizontale**";

- Les coordonnées des points sur les courbes de raccordement, le rayon de la courbe de raccordement circulaire, la longueur de la clothoïde et les éléments d'implantation des courbes de transition sont calculés et affichés à l'écran par la procédure "**calcul_courbe_horizontale**".

- Le contenu du fichier peut être imprimé sur papier par cette même procédure

5.2.3 Structures des opérations

- Répéter pour chaque raccordement:

- entrer les données

- répéter pour chaque spirale

- . calcul de la longueur de la spirale

- . calcul de l'angle de la spirale

- . calcul de la distance entre deux points d'implantation de la spirale

- . calcul du point de tangence avec la courbe

circulaire

- . calcul des fonctions des courbes de raccordements
- calcul de la longueur de la courbe circulaire
- calcul de l'angle de la courbe circulaire
- calcul des coordonnées des points sur la courbe en considérant un système de coordonnées défini comme suit:
 - . origine au point de tangence droite-spirale
 - . axe des abscisses suivant la droite passant par le sommet de la polygonale
 - . axe des ordonnées suivant la perpendiculaire dirigée vers l'intérieur de la courbe
- Relier les courbes de raccordement et les alignements droits
- Créer un fichier_text de sauvegarde, sur disquette, contenant tous les éléments d'implantation et de tracé en plan de la route .
- imprimer le fichier de résultat.

5.3 PROGRAMME DU PROFIL EN LONG DU TERRAIN

5.3.1 But du programme

Ce programme permet la visualisation en plan du profil en long du terrain naturel, ceci étant un aspect important de l'étude des alignements verticaux. Il permet d'apprécier rapidement les avantages et inconvénients des différents choix possibles pour le tracé du profil en long de la route.

5.3.2 Présentation du programme

Ce programme est constitué d'un ensemble de procédures de gestion des fichiers permettant l'entrée des données et leur sauvegarde dans un fichier sur disquette.

Ces données comportent outre les identificateurs de projet et de fichiers, la cumulée, la côte et le numéro des points le long du profil du terrain.

La gestion des fichiers est assurée par:

- la procédure " Initialiser_fichier_terrain " qui initialise l'ensemble des fichiers du module ;
- la procédure " Modifier_fichier_terrain " permettant la modification, l'entrée ou l'ajout de données;
- la procédure " transfert_fichier_terrain " transcrit les données dans un fichier de type texte sauvegardé sur disquette;
- la procédure " Impression_fichier_terrain " permet l'impression de fichier.

5.3.3 Structure des opérations

- Initialisation des fichiers
- Entrée des données du terrain
- Modifier les données si nécessaire
- Ajouter des données si nécessaire
- Ecrire des données dans le fichier de sauvegarde
- Imprimer le fichier de sauvegarde

5.4 PROGRAMME DU PROFIL EN LONG DE LA ROUTE

5.4.1 But du programme

Le programme de l'étude du profil en long de la route nous permet de calculer les coordonnées des points le long du profil, sur les alignements droits et sur les courbes verticales de raccordements. On pourra ainsi positionner tous ces points par rapport aux points du profil en long du terrain naturel et avoir des renseignements plus ou moins sommaires quant à la nature des terrassements au niveau de chaque point du profil en long.

5.4.2 Présentation du programme

Un ensemble de procédures permet une manipulation flexible des fichiers de données contenant des identificateurs des fichiers de sauvegarde et du projet, les coordonnées des sommets et la position des points sur le profil (haute ou basse).

Les procédures utilisées permettent la visualisation et l'impression du profil en long de la route

- La procédure " Initialiser_fichier_route " initialise l'ensemble des fichiers utilisés par le module.
- La procédure " Modifier_fichier_route " permet d'effectuer les opérations d'entrée, de modification, ou d'ajout des données.
- La procédure " transfert_fichier_route " sauvegarde les données dans un fichier de type texte.
- La procédure " impression_fichier_route " permet l'impression de ce fichier.

- La procédure " calcul_fichier_route " donne les éléments nécessaires à l'implantation des alignements verticaux, et crée les fichiers de résultats contenant les coordonnées des points le long du profil, les coordonnées des points de départ et d'arrivée du projet, le nombre de droites et les caractéristiques des courbes, c'est à dire leur rayon, leur flèche et la longueur de la tangente.

- La procédure " impression_profil_long " permet l'impression du fichier de résultats.

- La procédure "tracé courbe" permet de visualiser à l'écran le profil en long du terrain naturel ou de la route.

5.4.3 Structure des opérations

- Initialiser les fichiers
- Entrer les données de la route
- Sauvegarder les données
- Imprimer les données
- Relier les courbes verticales aux alignements droits et sauvegarder les résultats sur disquette
- Visualiser le profil en long
- Représenter sur papier le graphique du profil en long de la route.

5.5 PROGRAMME DE PROFIL EN TRAVERS

5.5.1 But du programme

Les données requises pour schématiser un profil en travers sont souvent obtenues à partir de la détermination sur le

terrain de côtes d'élévation d'un certain nombre de points le long de cette section transversale. Nous nous proposons ici, à partir de ces données et avec la côte du projet qui nous sera fournie par le projeteur, de faire un programme qui nous représentera graphiquement les profils en travers du terrain naturel et de la route.

5.5.2 Présentation du programme

Ce programme permet une représentation graphique du profil en travers du terrain et de de la route.

5.5.3 Structure des opérations

- Entrer le nombre de points levés sur la section transversale,
- Entrer la côte de chaque point,
- Entrer les espacements entre les points,
- Entrer l'emprise de la route,
- Entrer la largeur de la plate-forme.
- Traçage des courbes représentatives des profils en travers de la route et du terrain naturel.

5.6 PROGRAMME DE CALCUL DES CUBATURES

5.6.1 But du programme

Ce programme permet un calcul rapide et automatique des volumes de terrassement d'un projet routier. Ce calcul à caractère répétitif, réalisé manuellement, présente des risques d'erreurs

importants et des temps d'exécution très longs.

L'informatisation de ces calculs offre un gain de temps important et minimise les risques d'erreurs.

5.6.2 Présentation du programme

Ce programme calcule les volumes de terrassement routier par la méthode des sections en travers. Pour les calculs nous avons utilisé la formule du prismatoïde (formules du paragraphe 4.2.7.1) qui nous semble être la plus prudente. En effet la formule de la moyenne des aires présente des risques dangereux lorsque l'une des sections approche zéro.

5.6.3 Structure des opérations

- Entrer le nombre de profils en travers
- Entrer la section de déblai de chaque profil
- Entrer la section de remblai de chaque profil
- Calculer pour deux profils impairs
 consécutifs
 - . Volume de déblai
 - . . Volume de remblai
- Calcul du volume total de remblai
- calcul du volume total de déblai

Après cette présentation de notre logiciel il convient maintenant de passer à des exemples et à une présentation des résultats.

CHAPITRE 6 :

P R E S E N T A T I O N D E S R E S U L T A T S

C A L C U L D E P O L Y G O N A T I O N

FICHE DE DONNEES:

NOMBRES DE SOMMETS DE LA POLYGONALE : 9
ABSCISSE DU POINT DE DEPART : 860032.24
ORDONNEE DU POINT DE DEPART : 123128.81
ABSCISSE DU POINT D'ARRIVEE : 862454.05
ORDONNEE DU POINT D'ARRIVEE : 124925.48
GISEMENT DE DEPART : 163.2522
PRECISION LINEAIRE EXIGEE : 1:10000

POINTS	DISTANCES (m)	ANGLES ATG (grd)
1	436.041	84.7028
2	323.407	194.9850
3	490.005	196.0242
4	399.853	205.3134
5	404.791	217.4186
6	339.512	195.2812
7	447.100	232.0786
8	348.491	201.4752
9	0.000	195.2653

A L I G N E M E N T H O R I Z O N T A L

Données 1

Vitesse de base	= 100 km/h
Rayon de la courbe circulaire	= 600 m
Devers maximal	= 0.08
Paramètre de spiral	= 190 m
frottement latéral	= 0.13
chainage de départ	= 795 m
Angle au sommet PI	= 85.67

Données 2

Vitesse de base	= 90 km/h
Rayon de la courbe circulaire	= 800 m
Devers maximal	= 0.08
Paramètre de spiral	= 200 m
frottement latéral	= 0.13
chainage de départ	= 800 m
Angle au sommet PI	= 78.67

G R A P H I S M E : Profil en long du terrain

DONNEES

X : abscisse d'un point de la route suivant l'axe de la ligne principale de la route ou du terrain en mètres

Z : Côte d'un de l'axe principale de la route ou du terrain en mètres

100 * Z	800	750	750	650	625	740	725	750
X	0	20	40	60	80	100	120	140

G R A P H I S M E: Profil en long de la route
(la ligne rouge)

100 * Z	600	580	560	550	550	575	585	600
X	0	20	40	60	80	100	120	140

G R A P H I S M E : Profil en travers de la route

100 * Z	400	400	350	350	400	400	350	350
X	0	1.5	2.5	3	6	15	17	19

D O N N E E S P O U R L E C A L C U L
D E S C U B A T U R E S :

SECTIONS	S U R F A C E S (m^2)	
	Remblai	Deblai
2+000	5	3
2+020	12	18
2+040	25	0
2+060	44	0
2+080	56	0
3+000	80	6
3+020	70	3
3+040	90	7
3+060	100	18
3+080	40	51
4+000	30	47
4+020	4	50
4+040	6	30
4+060	0	20
4+080	0	3

C A L C U L D E P O L Y G O N A T I O N

RESULTATS DE LA POLYGONATION

POINTS	DISTANCES (mètres)	GISEMENTS (grades)	ABSCISSES (mètres)	ORDONNEES (mètres)
1	436.041	47.9515	860032.24	123128.81
2	323.407	42.9391	860330.52	123439.81
3	490.005	38.9629	860532.50	123687.16
4	399.853	44.2759	860814.04	124080.27
5	404.791	61.6940	861070.26	124380.77
6	339.512	56.9748	861403.98	124603.34
7	447.100	89.0530	861668.87	124810.22
8	348.491	90.5277	862109.40	124879.47
9		85.7926	862454.05	124925.48

RESULTATS DES CALCULS POUR L'ALIGNEMENT HORIZONTAL

(Résultats pour données 1)

ELEMENTS DE BASE

RAYON DE LA COURBE CIRCULAIRE (en m)	:	600
LONGUEUR DE LA SPIRALE (en m)	:	60
ABSCISSE DU POINT SC (en m)	:	59.99
ORDONNEE DU POINT SC (en m)	:	1.00
TANGENTE PRINCIPALE DE TS A PI (en m)	:	243
CORDE DE LA SPIRALE (en m)	:	60
DEVIATION (en grade)	:	1.06

I M P L A N T A T I O N D E L A P O L Y G O N A L E

<u>POINTS</u>	<u>ABSCISSES</u>	<u>ORDONNEES</u>	<u>CHAINAGE</u>	<u>DEVIATION</u>	<u>CORDE</u>
TS	0.00	0.00	551.80	0.00	0.00
1	5.45	0.00	557.26	0.01	5.45
2	10.91	0.01	562.71	0.04	10.91
3	16.36	0.02	568.16	0.08	16.36
4	21.82	0.05	573.62	0.14	21.82
5	27.27	0.09	579.07	0.22	27.27
6	32.73	0.16	584.53	0.32	32.73
7	38.18	0.26	589.98	0.43	38.18
8	43.63	0.38	595.44	0.56	43.64
9	49.09	0.55	600.89	0.71	49.09
10	54.54	0.75	606.35	0.88	54.54
SC	59.99	1.00	611.80	1.06	60

RESULTATS DES CALCULS POUR L'ALIGNEMENT HORIZONTAL

(Résultats pour données 2)

ELEMENTS DE BASE

RAYON DE LA COURBE CIRCULAIRE (en m)	:	800
LONGUEUR DE LA SPIRALE (en m)	:	50
ABSCISSE DU POINT SC (en m)	:	50.00
ORDONNEE DU POINT SC (en m)	:	0.52
TANGENTE PRINCIPALE DE TS A PI (en m)	:	401
CORDE DE LA SPIRALE (en m)	:	50
DEVIATION (en grade)	:	0.66

I M P L A N T A T I O N D E L A P O L Y G O N A L E

<u>POINTS</u>	<u>ABSCISSES</u>	<u>ORDONNEES</u>	<u>CHAINAGE</u>	<u>DEVIATION</u>	<u>CORDE</u>
TS	0.00	0.00	339.18	0.00	0.00
1	4.55	0.00	403.72	0.01	4.55
2	9.09	0.00	408.27	0.02	9.09
3	13.64	0.01	412.82	0.05	13.64
4	18.18	0.03	417.36	0.09	18.18
5	22.73	0.05	421.91	0.14	22.73
6	27.27	0.08	426.45	0.20	27.27
7	31.82	0.13	431.00	0.27	31.82
8	36.36	0.20	435.54	0.35	36.36
9	40.91	0.29	440.09	0.44	40.91
10	45.45	0.39	444.63	0.55	45.45
SC	50.00	0.52	449.18	0.66	50

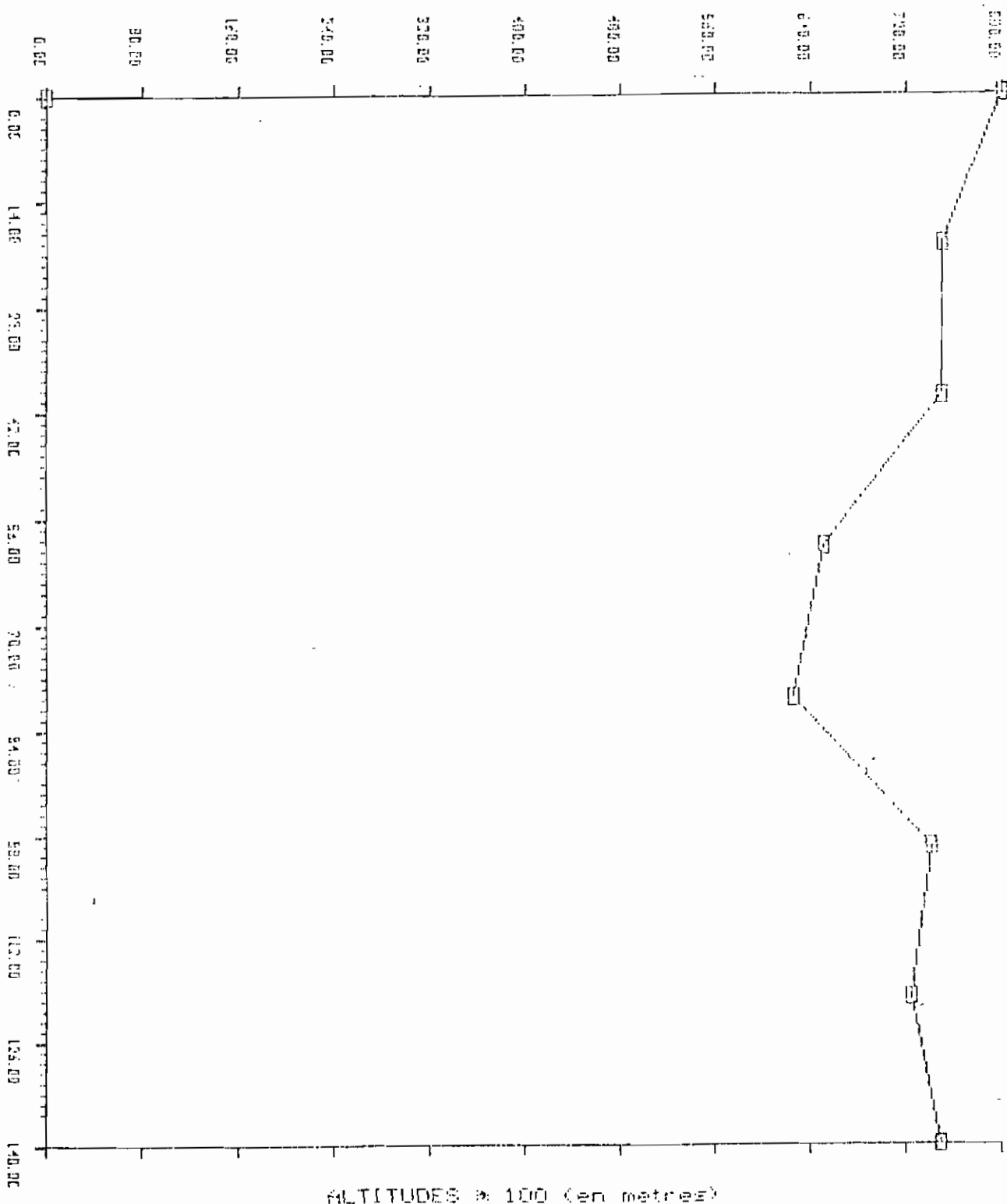
R E S U L T A T S D U

C A L C U L D E S C U B A T U R E S

B I L A N	
DEBLAIS (en mètres cubes)	REMBLAIS (en mètres cubes)
2700.00	5530.00

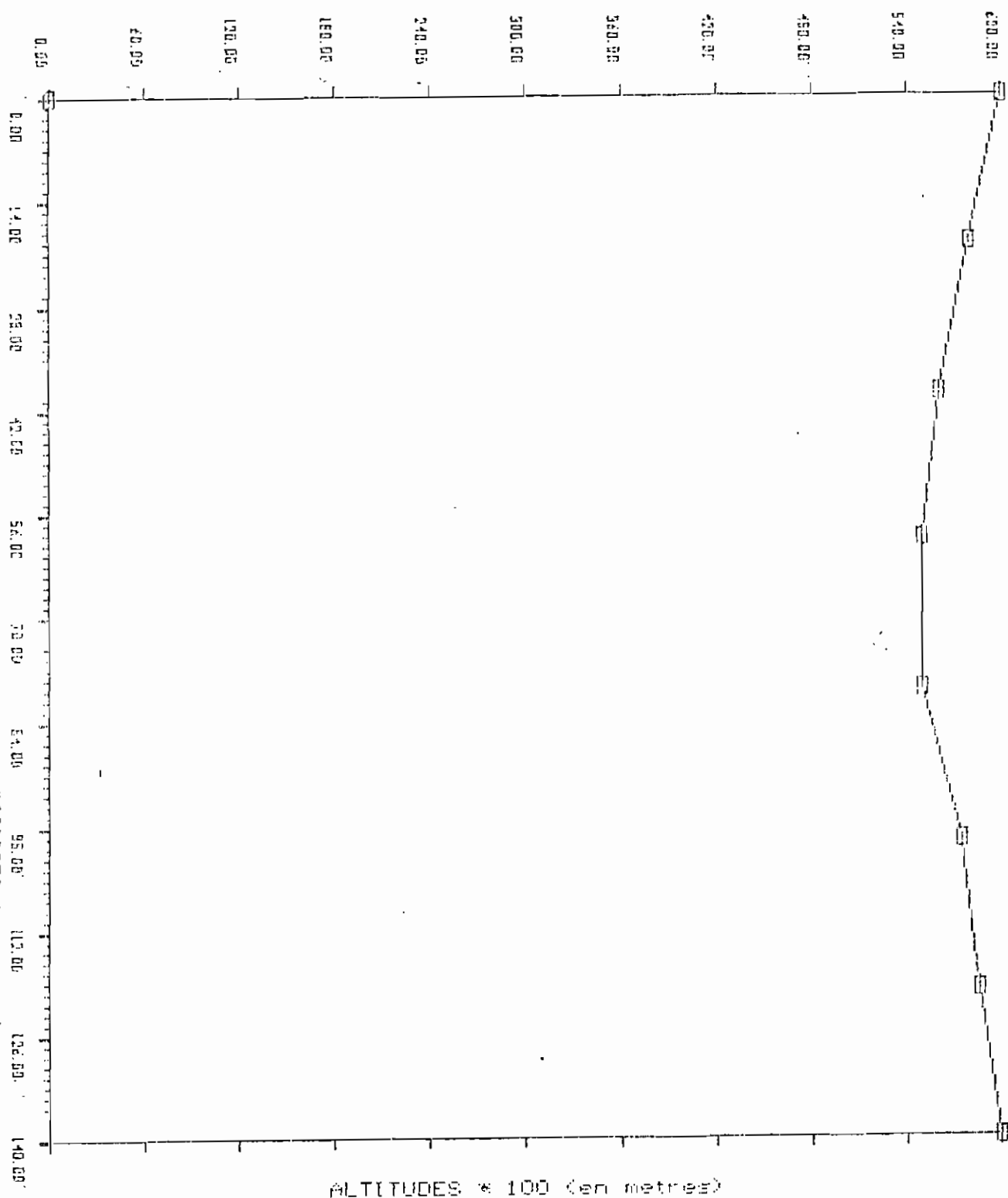
PROFIL EN LONG DU TERRAIN

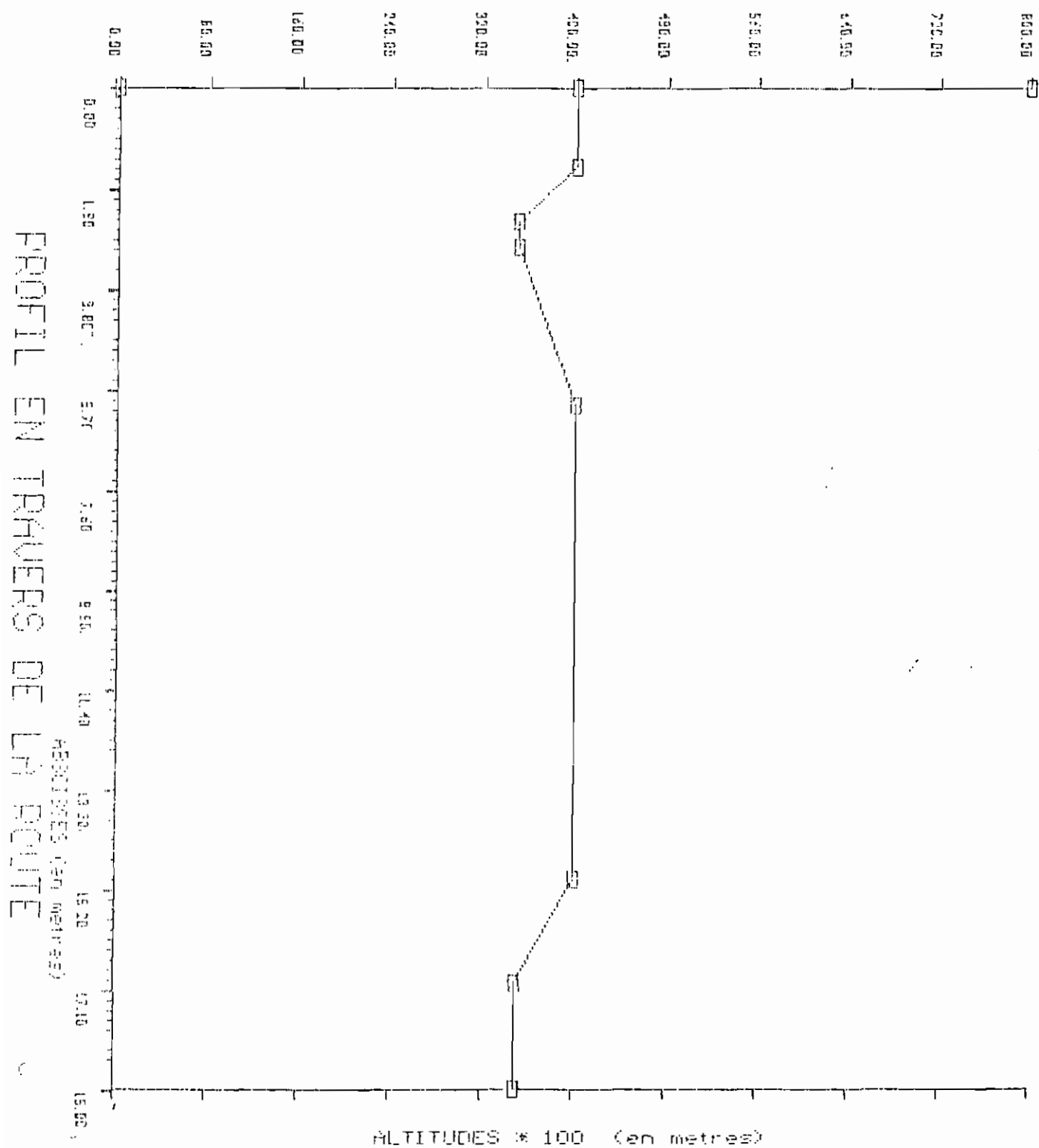
HAUTEURS (en metres)



PROFIL EN LONG DE LA ROUTE

MESSURES (en metres)





CHAPITRE 7:

C O N C L U S I O N

Elément moteur du développement économique, industriel et rural, la route revêt en Afrique une importance particulière. Ainsi l'ingénieur responsable d'un projet routier assume des charges considérables.

Il doit veiller à une conception technique très élaborée du projet, à une étude socio-économique très poussée et à une réalisation particulièrement soignée. Il doit mener les différentes phases en tenant compte des réalités économiques, géographiques, climatiques et humaines.

C'est surtout au niveau des terrassements routiers que l'ingénieur rencontre les plus grandes difficultés avec l'augmentation massive des coûts de remblai et de déblai. Le succès du chantier se joue pour l'essentiel au bureau d'études et avec le logiciel EGRAO (Etude Géométrique de Route Assistée par Ordinateur) nous espérons alléger fortement les études de tracés routiers, et les calculs de cubatures des déblais et des remblais. Ce logiciel offre également un gain de temps important dans les calculs d'alignements horizontaux (rayon des raccordements circulaires,

longueur des clothoïdes, des implantations des courbes de raccordements, etc...), de polygonation et des cubatures.

A cause des difficultés de choix de norme auxquelles nous étions confrontés, nous avons conçu le logiciel de sorte que l'utilisateur aura à introduire lui-même les paramètres liés aux normes (coefficient de frottement, devers maximal, paramètre de spirale, etc...). Ainsi il aura lui-même à utiliser la norme de son choix.

Le logiciel permet aussi le tracé sur imprimante du graphisme nécessaire à l'élaboration d'un projet de routier (représentation graphique de la polygonale, profils en long de la route et du terrain naturel ainsi que les profils en travers).

Son exécution offre la possibilité à l'utilisateur de dialoguer avec son ordinateur. Il lui permet aussi de faire des modifications ou des corrections en cas d'erreur lors de la saisie des données. L'utilisateur peut également interrompre le défilement des affichages trop nombreux afin qu'il puisse lire les messages.

Toutefois nous noterons que notre étude devrait être améliorée par un raffinement des programmes du logiciel et continuée en élaborant d'autres programmes qui permettraient:

- *- de ramener les coordonnées locales (au niveau du tracé en plan) en coordonnées liées au système de la polygonale
- *- des études de nivellement
- *- la superposition des profils en long du terrain naturel et de la route sur un même graphique
- *- l'utilisation de table traçante pour les tracés du graphisme

-*- des études d'alignements verticaux en tenant compte des critères de visibilité, de drainage, de confort, d'esthétique et de sécurité.

-*- une vue en perspective de la route.

Nous regrettons de n'avoir pas pu effectuer ces raffinements et approfondissements dans ce logiciel à cause du temps limité qui nous était imparti et aussi des difficultés de fonctionnement des programmes (surtout au niveau du graphisme) que nous avons rencontrées et que nous parvenions à résoudre que tardivement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- 1 - BAASS K. et MANSEAU P. ; Cours de routes Ecole Polytechnique de Montreal (1988)
- 2 - BOUCHARD H. et MOFFIT F. H. ; Surveying 754 pages; International Textbook Company (1972)
- 3 - DIOUF A. et SAKHO M. ; Informatique et terrassements routiers mémoire de fin d'étude (1984) ENSUT 143 pages
- 4 - DUQUETTE R. et LAUZON E.P. Topométrie générale ; 458 pages; Edition Ecole Polytechnique de Montreal (1983)
- 5 - GAGNON L. Géométrie routière ; 107 pages; Modulo Editeur;(1980)

A N N E X E 1 :

P R O G R A M M E S D U L O G I C I E L

```
PROGRAM EGRAO ;
  USES
    crt,printer,graph,grapher,grimpr;
  CONST
    Nsmax = 100 ;
  TYPE
    Dbase = RECORD
      ns      :Integer                ;
      xydep   : Array [1..2] of real ;
      xyarr   : Array [1..2] of real ;
      pl      : Real                  ;
      Gdep    : Real                  ;
      Garr    : Real                  ;
    END;
    Mesures = Record
      Anghor   : Real    ;
      Disthor  : Real    ;
      Nopt     : Integer;
    END;
    Rpolygone = Record
      Npoint   : Integer                ;
      Gpoint   : Real                  ;
      xypoint  : Array [1..2] of real ;
    END;
    Resch = Record
      Nptch    : integer                ;
      Aich     : real                  ;
      Yych     : Array [1..2] of real ;
      Position : String [20]          ;
    END;
```

```

Mterrain = Record
  Nopro : Integer ;
  Xyter : Array [1..2] of real ;
END;
Mroute =Record
  NUprr : integer ;
  Xyrte : Array [1..2] of real ;
  Pos : String [20] ;
END;
Polypoint = Array[1..2] of real ;

Fichier_text = Text ;
VAR
  FichierDbase : File of Dbase ;
  FicheDbase : Dbase ;
  FichierMesures : File of Mesures ;
  FicheMesures : Mesures ;
  FichierRpolygone: File of Rpolygone ;
  FicheRpolygone : Rpolygone ;
  FichierResch : File of Resch ;
  FicheResch : Resch ;
  FichierMterrain : File of Mterrain ;
  FicheMterrain : Mterrain ;
  FichierMroute : File of Mroute ;
  FicheMroute : Mroute ;
  FichierSortie : Fichier_text ;
  Fplan,Fterrain : Fichier_text ;
  Froute : Fichier_text ;
  I,J,K,Fiche,Nbs : Integer ;
  KK,JJ,NN : Integer ;
  M,V,H,W,N : Integer ;
  Pce,CU1,CU2,nbp : Integer ;
  NomFichier1 : String [30] ;
  NomFichier2 : String [30] ;
  NomFichier3 : String [30] ;
  NomFichier,Nom : String [30] ;
  NFS,NRS,NTS,NDS : String [30] ;
  Elt,NFT,ndp : String [30] ;
  Suite,IMP,Quest : Char ;
  MODE, OPTION,S : Char ;
  PS1,PS2,RCC : Array [1..Nsmax] of REAL ;
  Asp1,Asp2,Licc : Array [1..Nsmax] of integer ;
  Ncc,Rayon : Array [1..Nsmax] of integer ;
  dx,dy,Gpre,angle: Array [1..Nsmax] of real ;
  abscisse : Array [1..Nsmax] of real ;
  ordonnee : Array [1..Nsmax] of real ;
  Chpi,Aad : Array [1..Nsmax] of real ;
  Dhpar,dh,fx,fy : real ;
  fa,fr,el,pa,R : real ;
  PAS,CUM,Ept,Npt : real ;
  Tet,T,SOM,a,f : real ;
  Emin,Emax,Nmin : real ;

```

```

Nmax,Ech,anghor : real ;
Longsp,Angsp : Array [1..2,1..Nsmax] of real ;
Lisp,Xsc,Ysc,p,q: Array [1..2,1..Nsmax] of real ;
Cft,TL,TC,TS : Array [1..2,1..Nsmax] of real ;
Corde,L : Array [1..2,1..Nsmax] of real ;
Mata : Array [1..4,1..5] of real ;
Para : Array [1..4] of real ;
Eabc,Nord,Etsp : Array [1..Nsmax] of real ;
Ntsp,Espc,Nspc : Array [1..Nsmax] of real ;
Ecsp,Ncsp,Csom : Array [1..Nsmax] of real ;
Espt,Nspt,Xspc : Array [1..Nsmax] of real ;
Yspc,Pentel : Array [1..Nsmax] of real ;
Pente2,Angcc : Array [1..Nsmax] of real ;
Longcc,Xtsp,Ytsp: Array [1..Nsmax] of real ;
Xspt,Yspt : Array [1..Nsmax] of real ;
Xcsp,Ycsp : Array [1..Nsmax] of real ;
FactA,FactB : Array [1..Nsmax,1..3] of real ;
FactE,FactN : Array [1..Nsmax,1..3] of real ;
NP,NTR,NF,LECT : String [20] ;
NL2,PR1,Rep : integer ;
CD,CF,Rmin,Ls : real ;
AZ,B : Tableaux ;
ch : char ;
Esc,CR,Reponse : char ;
FINI ,pair : boolean ;
Apr1,Apr2 : Array [1..Nsmax] of real ;
L1,L2,L11,Ds : real ;
L12,L21,L22 : real ;
X,Y,Z : array [1..2] of longint ;
X1,Y1,p1,q1,D : real ;
Driver : integer ;
GrMode : integer ;
ErrorCode : integer ;
Devi,angdev : real ;
Ts1,LC,C,RT,DT : real ;
ChTS,chip1,Ls1 : real ;
VD,VR : real ;
Re,De : array [1..Nsmax] of real ;
RH,LSH,TS1H,LCH : integer ;
Xs,Ys : real ;
coderetour : byte ;

```

```

PROCEDURE Menu_principal;
BEGIN
  Clrscr;
  Writeln ('***** ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES ***** ');
  Writeln ('-----');
  Writeln ;
  textcolor(0);
  textbackground(7);
  Writeln ('==== LOGICIEL EGRAO : ABDOULAYE SENE =====');
  normvideo;
  writeln;
  writeln ('          P.F.E    1990          ');
  Writeln;
  writeln ('===== ');
  Writeln (' ETUDE GEOMETRIQUE DES ROUTES ASSISTEE PAR ');
  Writeln ('          ORDINATEUR          ');
  Writeln ('===== ');
  writeln;
  Writeln ('          #  M E N U      P R I N C I P A L  #          ');
  writeln ('          #####          ');
  writeln;
  Writeln ('          1 :  DONNEES DE LA ROUTE          ');
  Writeln ('          2 :  POLYGONATION          ');
  Writeln ('          3 :  VUE EN PLAN DE LA ROUTE          ');
  Writeln ('          4 :  PROFIL EN LONG DU TERRAIN          ');
  Writeln ('          5 :  PROFIL EN TRAVERS          ');
  Writeln ('          6 :  GRAPHISME          ');
  Writeln ('          7 :  CALCUL DES CUBATURES          ');
  writeln ('          8 :  SORTIE          ');
  Writeln;
  textcolor(128);
  textbackground(7);
  GOTOXY (43,24);
  Write ('          'Entrer l''option choisie: ');
  Readln (OPTION);
  normvideo;
END; { Menu_principal}

```

PROCEDURE Menu_graphique;

BEGIN

Clrscr;

Writeln; writeln;

Writeln; writeln;

textcolor(0);

textbackground(7);

Writeln (' ***** ');

writeln (' * M E N U * ');

Writeln (' * G R A P H I Q U E * ');

Writeln (' ***** ');

normvideo;

Writeln;

writeln (' A : REPRESENTATION DE LA POLYGONALE ');

writeln (' B : PROFIL EN LONG DU TERRAIN ');

writeln (' C : PROFIL EN LONG DE LA ROUTE ');

writeln (' D : PROFIL EN TRAVERS ');

writeln (' E : PERSPECTIVE ');

writeln;

textcolor(128);

textbackground(7);

gotoxy (43,24);

write (' Faites votre choix : ');

readln (OPTION);

normvideo;

END; { Procedure Menu_graphique }

PROCEDURE Initialiser_fichiers_polygonation;

BEGIN

Clrscr ;

FINI := TRUE ;

textcolor(0);

textbackground(7);

Gotoxy (10,5);

write ('SAISIE DES NOMS DE FICHIERS ET LEUR INITIALISATION');

normvideo;

Gotoxy (5,10);

write ('FICHER DONNEES DE BASE (B:Nom): ');

Gotoxy (5,12);

write ('FICHER DE MESURES (B:Nom) :');

Gotoxy (5,14);

write ('FICHER DE RESULTATS (B:Nom) : ');

REPEAT

Gotoxy(50,10);

CR := readkey;

IF CR <> #013 THEN readln (NomFichier1);

assign (FichierDbase , NomFichier1);

rewrite (FichierDbase);

with FicheDbase DO

BEGIN

ns := 0 ;

```

xydep[1] := 0 ;
xydep[2] := 0 ;
xyarr[1] := 0 ;
xyarr[2] := 0 ;
pl       := 0 ;
Gdep     := 0 ;
Garr     := 0 ;
END; { with }
Close (FichierDbase);
Gotoxy (50,12);
CR := readkey;
IF CR <> #013 THEN readln ( NomFichier2);
assign (FichierMesures,NomFichier2);
rewrite (FichierMesures);
WITH FicheMesures DO
BEGIN
  Anghor := 0 ;
  Disthor := 0 ;
  FOR I := 1 TO Nsmax DO
  BEGIN
    Npt := I ;
    write (FichierMesures,FicheMesures) ;
  END ; { for }
END ; { with }
Close (FichierMesures);
Gotoxy (50,14);
CR := readkey;
IF CR <> #013 THEN readln (NomFichier3) ;
assign (FichierRpolygone,NomFichier3);
rewrite (FichierRpolygone) ;
WITH FicheRpolygone DO
BEGIN
  Gpoint := 0 ;
  xypoint[1] := 0 ;
  xypoint[2] := 0 ;
  FOR I := 1 TO Nsmax DO
  BEGIN
    Npoint := I ;
    write (FichierRpolygone,FicheRpolygone ) ;
  END; { for }
END ; {with}
Close (FichierRpolygone);
textcolor(128);
textbackground(7);
Gotoxy (1,24);
write ('EN CAS D''ERREUR APPUYER SUR UNE TOUCHE POUR CONTINUER');
Esc := readkey ;
normvideo;
IF Esc = #027 THEN FINI := FALSE
ELSE FINI := TRUE ;
UNTIL FINI = TRUE;
END; { Initialiser_fichiers_polygone }

```

```

PROCEDURE Modifier_donnees_polygonation ;
BEGIN
  FINI := TRUE ;
  assign (FichierDbase,NomFichier1);
  Reset (FichierDbase);
  Clrscr;
  textcolor(0);
  textbackground(7);
  Gotoxy (15,5);
  write ('SAISIE DES DONNEES DE BASE ');
  normvideo;
  WITH FicheDbase DO
  BEGIN
    GotoXY (5,10);
    Writeln ('NOMBRE DE SOMMET: ') ;
    Gotoxy (5,12);
    Writeln ('COORDONNEES DU POINT DE DEPART (X Y): ');
    Gotoxy (5,14);
    Writeln ('COORDONNEES DU POINT D'ARRIVEE (X Y): ');
    Gotoxy (5,16);
    Writeln ('GISEMENT DE DEPART: ');
    Gotoxy (5,18);
    Writeln ('GISEMENT D'ARRIVEE: ');
    Gotoxy (5,20);
    Writeln ('PRECISION LINEAIRE (1/L : L = ? ): ');
    REPEAT
      Gotoxy (50,10);
      CR := readkey;
      IF CR <> #013 THEN Readln (ns);
      Gotoxy (50,12);
      CR := readkey;
      IF CR <> #013 THEN Readln (xydep[1],xydep[2]);
      Gotoxy (50,14);
      CR := readkey ;
      IF CR <> #013 THEN Readln (xyarr[1],xyarr[2]);
      Gotoxy (50,16);
      CR := readkey;
      IF CR <> #013 THEN Readln (Gdep);
      Gotoxy (50,18);
      CR := readkey;
      IF CR <> #013 THEN Readln (Garr);
      Gotoxy (50,20);
      CR := readkey;
      IF CR <> #013 THEN Readln (pl);

      nbs := ns ;
      textcolor(128);
      textbackground(7);
      Gotoxy (1,24);
      Writeln ('EN CAS D'ERREUR APPUYER SUR ESCAPE POUR CORRIGER ');
      Esc := readkey ;
    UNTIL CR = #013;
  END;
END;

```

```

normvideo;
IF Esc = #027 THEN FINI := FALSE
ELSE FINI := TRUE;
UNTIL FINI = TRUE ;
END; {with}
Write (FichierDbase,FicheDbase);
Close (FichierDbase);
assign (FichierMesures,Nomfichier2);
Reset (FichierMesures);
FOR Fiche := 1 TO nbs DO
BEGIN
  Clrscr;
  textcolor(0);
  textbackground(7);
  Gotoxy (10,5);
  Writeln (' SAISIE DES DONNEES TOPOGRAPHIQUES ');
  normvideo;
  Seek (FichierMesures,Fiche-1);
  Read (FichierMesures, FicheMesures);
  WITH FicheMesures DO
  BEGIN
    Gotoxy (5,10);
    writeln ('ANGLE AU POINT ', Fiche, ' : ');
    Gotoxy (5,12);
    writeln ('DISTANCE ENTRE LE POINT ',Fiche, ' ET LE
SUIVANT :');
    REPEAT
      Gotoxy (50,10);
      CR := readkey;
      IF CR <> #013 THEN readln (Anghor);
      Gotoxy (50,12);
      CR := readkey;
      IF CR <> #013 THEN readln (Disthor);
      NPT := Fiche;
    Seek (FichierMesures,Fiche-1);
    Write (FichierMesures,FicheMesures);
    textcolor(128);
    textbackground(7);
    Gotoxy (1,24);
    Writeln ('EN CAS D''ERREUR DANS LA SAISIE APPUYER ESCAPE
POUR CORRIGER ');
    Esc := Readkey;
    normvideo;
    IF Esc = #027 THEN FINI := FALSE
    ELSE FINI := TRUE ;
    UNTIL FINI = TRUE;
    END;{with}
  END;{for}
  Close (FichierMesures);
END; { Modifier_donnes_polygonation }

PROCEDURE Specifications; {pa en milligrades, el en milligrades }

```

```

BEGIN
  pa := ARCTAN(1/FicheDbase.pl)*200000/pi;
  el := pa - 5/3.24;
  IF el >= 30/3.24
  THEN Writeln ('Lecture en cercle gauche sur T1,T2 ou T16 ')

  ELSE
  BEGIN
    IF el >= 6/3.24 THEN Writeln ('Lecture CD_CG T16 ')
    ELSE
    BEGIN
      IF el >= 3/3.24 THEN Writeln ('Lecture CD_CG T1 ')
      ELSE
      BEGIN
        IF el >= 0.5/3.24 THEN Writeln ('Lecture CD_CG T2 ')
        ELSE Writeln ('Utiliser un appareil de haute precision');
      END; { el < 3/3.24 }
    END; { el < 6/3.24 }
  END; { el < 30/3.24 }
END; { Specifications }

PROCEDURE Calcul_polygonation ;
BEGIN
  clrscr;
  assign (FichierDbase,nomFichier1);
  Reset (FichierDbase);
  assign (FichierMesures,NomFichier2);
  Reset (FichierMesures);
  assign (FichierRpolygone,Nomfichier3);
  Reset (FichierRpolygone);
  textcolor(0);
  textbackground(7);
  writeln (' GISEMENTS CALCULES AVANT COMPENSATION (en gr) ');
  writeln (' ===== ');
  normvideo;
  writeln;
  With FicheDbase DO
  BEGIN
    Fiche := 1;
    Seek (FichierMesures,Fiche-1);
    Read (FichierMesures,FicheMesures);
    With FicheMesures DO
      angle[1] := Anghor;
    Gpre[1] := ABS (Gdep + angle[1] - 200);
    Writeln (' POINT 1 : ',Gpre[1]:8:4);
    FOR Fiche := 2 TO nbs DO
    BEGIN
      Seek (FichierMesures,Fiche-1);
      Read (FichierMesures,FicheMesures);
      With FicheMesures DO
        angle[Fiche] := Anghor;
    END;
  END;
END;

```

```

    Gpre[Fiche] := Gpre[Fiche-1] + angle[Fiche] -200;
    IF Gpre[Fiche] >= 400 THEN Gpre[Fiche] := Gpre[Fiche]-400;
    Writeln ('      POINT ',Fiche,' : ', Gpre[Fiche]:8:4);
END; {for}
textcolor(128);
textbackground(7);
gotoxy (1,24);
write ('Appuyer sur une touche pour continuer ');
ch := readkey;
normvideo;
fa := (Garr-Gpre[ns])*1000;
Clrscr;
gotoxy (10,14);
writeln ('FERMETURE ANGULAIRE (en mgr): ',fa:8:4 );
gotoxy (10,15);
writeln ('TOLERANCE ANGULAIRE (en mgr): ',pa:8:4 );
delay (5000);
IF ABS(fa) > ABS(pa) then
BEGIN
    TEXTCOLOR(128);
    textbackground(7);
    Writeln('Reprendre les mesures: prcision insuffisante');
    normvideo;
end(if)
ELSE
BEGIN
    Clrscr;
    dh := 0;
    textcolor(0);
    textbackground(7);
    writeln('GISEMENT APRES COMPENSATION ET VARIATIONS DES
            COORDONNEES AVANT COMPENSATION
            writeln ('      =====
            normvideo;
writeln;
FOR I := 1 TO nbs DO
BEGIN
    Fiche := I;
    Seek (FichierMesures,Fiche-1);
    Read (FichierMesures,FicheMesures);
    With FicheMesures,FicheRpolygone DO
    BEGIN
        dh := Disthor + dh ;
        Gpoint := Gpre[I]+fa*I/(ns*1000);
        Write (FichierRpolygone,FicheRpolygone);
    END;{with}
END; {for}
dx[1] := 0;
dy[1] := 0;
FOR J := 1 TO nbs DO
BEGIN
    Fiche := J;

```

```

Seek (FichierRpolygone,Fiche-1);
Read (FichierRpolygone,FicheRpolygone);
Seek (FichierMesures,Fiche-1);
Read (FichierMesures, FicheMesures);
With FicheMesures,FicheRpolygone DO
BEGIN
  dx[J+1] := Disthor * SIN(Gpoint*pi/200);
  dy[J+1] := Disthor * COS(Gpoint*pi/200);
  write('Gpoint ',J,': ',Gpoint:10:4);
  write (' dx(point ',J,' et ',J+1, '):');
  write (dx[J+1]:10:4);
  write (' dy(point ',J,' et ',J+1, '):');
  writeln (dy[J+1]:10:4);
END;(with)
END;(for)
textcolor(128);
textbackground(7);
gotoxy (1,24);
write ('Apuyer sur une touche pour continue');
ch:=readkey;
normvideo;
fx := Xyarr[1]-Xydep[1];
fy := Xyarr[2]-Xydep[2];
FOR I := 1 TO nbs DO
BEGIN
  fx := fx - dx[I+1];
  fy := fy - dy[I+1];
END;(for)
Clrscr;
gotoxy (8,10);
writeln ('FERMETURE LINEAIRE SUR X : ',fx:10:4);
gotoxy (8,11);
writeln ('FERMETURE LINEAIRE SUR Y : ',fy:10:4);
delay (5000);
fr := sqrt(sqr(fx)+sqr(fy))/dh;
gotoxy (8,14);
writeln ('PRECISION RELATIVE : ',fr:10:4);
gotoxy (8,15);
writeln ('LIMITE PERMISE : ',dh/pl:10:4);
IF fr > dh/pl then
BEGIN
  TEXTCOLOR(128);
  textbackground(7);
  Writeln ('Mesures imprcises; reprendre : ');
  normvideo;
END (FOR)
ELSE
BEGIN
  textcolor(128);
  textbackground(7);
  gotoxy (1,24);
  write ('Appuyer sur une touche pour continuer ');

```

```

ch:= readkey;
normvideo;
FOR I := 1 TO nbs DO
BEGIN
  Fiche := I;
  Seek (FichierMesures,Fiche-1);
  Seek (FichierRpolygone,Fiche-1);
  Read (FichierMesures,FicheMesures);
  Read (FichierRpolygone,FicheRpolygone);
  With FicheRpolygone,FicheMesures DO
  BEGIN
    dx[I+1] := dx[I+1] + fx * Disthor/dh;
    dy[I+1] := dy[I+1] + fy * Disthor/dh;
    write (FichierRpolygone,FicheRpolygone);
  END;{with}
END;{for}
clrscr;
writeln;
TEXTCOLOR(0);
textbackground(7);
writeln (' VARIATIONS DES COORDONNEES APRES
          COMPENSATION (en m) ');
writeln (' ===== ');
normvideo;
writeln;
FOR I := 1 TO nbs-1 DO
BEGIN
  write ('POINT ',I,' ET ',I+1,' : ');
  write ('dx = ',dx[I+1]:10:4,' ');
  writeln ('dy = ',dy[I+1]:10:4);
END;{for}
delay (5000);
writeln;
with FicheRpolygone DO
BEGIN
  Fiche := 1;
  Seek (FichierRpolygone,Fiche-1);
  Xypoint[1] := Xydep[1];
  Xypoint[2] := Xydep[2];
  abscisse[1] := Xydep[1];
  ordonnee[1] := Xydep[2];
  Gpoint := Gpre[1]+fa*I/(nbs*1000);
  write (FichierRpolygone,FicheRpolygone);
  FOR I := 2 TO nbs DO
  BEGIN
    Fiche := I;
    Seek (FichierRpolygone,Fiche-1);
    abscisse[I] := abscisse[I-1] + dx[I];
    ordonnee[I] := ordonnee[I-1] + dy[I];
    Xypoint[1] := abscisse[I];
    Xypoint[2] := ordonnee[I];
    Gpoint := Gpre[I]+fa*I/(nbs*1000);
  
```

```

        write (FichierRpolygone,FicheRpolygone);
    END;{for}
    END;{with}
    END;{if fr<=pl}
    END;{if fa<=pa}
    END;{with}
    Close (FichierRpolygone);
    Close (FichierMesures);
    Close (FichierDbase);
END    ; { Calcul_polygonation }

PROCEDURE Afficher_fichier_polygonation ;
BEGIN
    writeln;writeln;
    textcolor(0);
    textbackground(7);
    writeln (' RESULTATS DE LA POLYGONATION ');
    writeln (' =====');
    normvideo;
    writeln;
    assign (FichierRpolygone,NomFichier3);
    Reset (FichierRpolygone);
    FOR Fiche := 1 TO nbs DO
    BEGIN
        Seek (FichierRpolygone,Fiche-1);
        Read (FichierRpolygone,FicheRpolygone);
        With FicheRpolygone DO
            Writeln ('POINT : ',Fiche:3, '    G = ' , Gpoint:8:4, '
X = ', xypoint[1]:9:2, '    Y = ',xypoint[2]:8:2);
        END; {for}
        writeln;
        Close (FichierRpolygone);
    END; { procedure Afficher_fichier_polygonation }

PROCEDURE Impression_polygonation;
BEGIN
    Clrscr;
    assign (FichierRpolygone,Nomfichier3);
    Reset (FichierRpolygone);
    FOR I := 1 TO nbs DO
    BEGIN
        With FicheRpolygone DO
        BEGIN
            Read (FichierRpolygone ,FicheRpolygone);
            Write (Lst,'Pt : ',I:3);
            Write (Lst,'    G = ',Gpoint:8:4);
            Write (Lst,' X = ',Xypoint[1]:9:2);
            Writeln (Lst,' Y = ',Xypoint[2]:8:2);
        END;{with}
    END;{for}
END; { procdure impression_polygonation }

```

```

PROCEDURE Initialiser_fichier_terrain;
BEGIN
  Write ('NOM DU PROJET : ');
  Readln (NP);
  Write ('NOM DU TRONCON : ');
  Readln (NTR);
  Write ('nom du fichier : xxx.ter ');
  Readln (NF);
  Write ('LECT A/B : ');
  Read (LECT);
  Write ('nombre de points ');
  Read (NL2);
  Write ('numero du lxxprofil ');
  Read (PR1);
  Write ('cumule du lxxprofil : ');
  Read (CD);
  Write ('cumule du 2xxprofil : ');
  Read (CF);
  NFT := 'B:' + NP + '. DAT ';
  Assign (FichierMterrain,NFT);
  Rewrite (FichierMterrain) ;
  WITH FicheMterrain DO
  BEGIN
    Xyter[1] := 0 ;
    Xyter[2] := 0 ;
    FOR I := 1 TO Nsmx DO
    BEGIN
      Npt := I ;
      Write (FichierMterrain,FicheMterrain ) ;
    END;{for}
  END;{with}
  Close (FichierMterrain);
END;{Initialiser_fichier_terrain}

PROCEDURE Modifier_fichier_terrain;
BEGIN
  Assign (FichierMterrain,NFT);
  Reset (FichierMterrain);
  Write ('Entrer le numero du point (0=fin) : ');
  Readln (Fiche);
  While Fiche IN [1..NL2] DO
  BEGIN
    Seek (FichierMterrain,Fiche-1);
    Read (FichierMterrain,FicheMterrain);
    WITH FicheMterrain DO
    BEGIN
      Writeln (' Cumule : ',Xyter[1]:9:3,' **** Elevation :
',Xyter[2]:6:2 );
      Write ('voulez-vous modifier ? (O/N) ');
      Readln (MODE);
      IF (MODE = 'o') or (MODE = 'O') THEN
      BEGIN

```

```

        Write ('Entrer les coordonnes : ');
        Readln (Xyter[1],Xyter[2]);
        NPT := Fiche ;
        Seek (FichierMterrain,Fiche-1);
        Write (FichierMterrain,FicheMterrain);
    END;{if}
END ;{with}
Write ('Entrer le numro du sommet (0=fin): ');
Readln (Fiche);
END; {while}
Close (FichierMterrain);
END; {Modifier_Fichier_terrain}

```

PROCEDURE Transfert_fichier_terrain;

```

BEGIN
    NTS := 'b:'+ NF + '.TER ';
    Assign (Fterrain,NTS);
    Rewrite (Fterrain);
    Writeln (Fterrain , ' Nom du projet           :      ',NP      );
    Writeln (Fterrain , ' Nom du tronon          :      ',NTR     );
    Writeln (Fterrain , ' Nom du fichier         :      ',NF      );
    Writeln (Fterrain , ' Lecteur                :      ',LECT     );
    Writeln (Fterrain , ' Nombre de point        :      ',NL2     );
    Writeln (Fterrain , ' Numro du 1xprofil       :      ',PR1     );
    Writeln (Fterrain , ' Cumule du 1xprofil      :      ',CD      );
    Writeln (Fterrain , ' Cumule du 2xprofil      :      ',CF      );
    Reset (FichierMterrain);
    FOR I := 1 TO NL2 DO
    BEGIN
        Read (FichierMterrain,FicheMterrain);
        With FicheMterrain DO
            Writeln (Fterrain, I:4, Xyter[1]:9:2, Xyter[2]:7:2);
    END ;{for}
    Close (FichierMterrain);
    Close (Fterrain);
END; { Procedure Transfert_fichier_terrain}

```

PROCEDURE Visualiser_polygonale;

```

BEGIN
    Clrscr;
    assign (FichierRpolygone,NomFichier3);
    Reset (FichierRpolygone);
    FOR Fiche := 1 TO nbs DO
    BEGIN
        Seek (FichierRpolygone,Fiche-1);
        Read (FichierRpolygone,FicheRpolygone);
        With FicheRpolygone DO
        BEGIN
            AZ[Fiche] := Round(Xypoint[1]);
            B[Fiche] := Round(Xypoint[2]);

```

```

        END; {with}
    END; {for}
    num:=n;
    Clrscr;
    textcolor(0);
    textbackground(7);
    gotoxy(10,12);
    write('TAPEZ O SI VOUS VOULEZ IMPRIMER LE GRAPHE APRES LA
VISUALISATION ');
    imp := upcase(readkey);
    Tabs := 'ABSCISSES';
    Tord := 'ORDONNEES';
    Tgal := 'VUE DE LA POLYGONALE';
    trace_courbe(AZ,B,num);
    if (imp = 'O') then imprime_ecran(coderetour);
    Closegraph;
END;{procedure visualiser_polygonale}

PROCEDURE Initialiser_fichier_route;
BEGIN
    Write ('Nom du projet: ');
    Readln (NP);
    Write ('Nom du tronon : ');
    Readln (NTR);
    Write ('Nom du fichier : ');
    Readln (NF);
    Write ('Nombre de points : ');
    Readln (NL2);
    Write ('NOMBRE DE DROITES : ');
    Readln (PR1);
    NFT := 'B:' + NP + '.DRO';
    Assign (FichierMroute,NFT);
    Rewrite (FichierMroute);
    WITH FicheMroute DO
    BEGIN
        Xyrte[1] := 0;
        Xyrte[2] := 0;
        Pos := ' ';
        FOR I:=1 TO Nsmay DO
        BEGIN
            Nupr :=I;
            Write (FichierMroute,FicheMroute);
        END ;{for}
    END ; {with}
    Close (FichierMroute)
END; { Initialiser_fichier_route }

PROCEDURE Modifier_fichier_route;
BEGIN
    Assign (FichierMroute,NFT);
    Reset (FichierMroute);
    Write ('ENTRER LE NUMERO DU POINT (0=fin) : ');

```

```

Readln (Fiche);
WHILE Fiche IN [1..NL2] DO
BEGIN
    Seek (FichierMroute,Fiche-1);
    Read (FichierMroute,FicheMroute);
    WITH FicheMroute DO
    BEGIN
        Writeln ('CUMULEE : ',Xyrte[1]:9:3 , ' **** ELEVATION : ',Xyrte[2]:6:3
        , '**** POSITION : ',Pos);
        Writeln ('VOULEZ-VOUS MODIFIER ? : (O/N) ');
        Readln (MODE);
        IF (MODE = 'O') OR (MODE = 'o') THEN
        BEGIN
            Write ('ENTRER LES COORDONNEES PUIS LA POSITION : ');

            Readln (Xyrte[1],Xyrte[2],Pos);
            Nupr := Fiche ;
            Seek (FichierMroute,Fiche-1);
            Write (FichierMroute,FicheMroute);
        END; {if}
    END ;{with}
    Write ('ENTRER LE NUMERO DE SOMMET (0=fin) : ');
    Readln (Fiche);
END;{while}
Close (FichierMroute);
END; { Modifier_fichier_route }

```

```

PROCEDURE Transfert_fichier_route;
BEGIN
    NTS := 'b: ' + NF + '.COT';
    Assign (Froute,NTS);
    Rewrite (Froute);
    Writeln (Froute,' Nom du fichier      :      ',NF);
    Writeln (Froute,' Nom du projet      :      ',NP);
    Writeln (Froute,' Nom du tronon       :      ',NTR);
    Writeln (Froute,' Nombre dedroites   :      ',PR1);
    Writeln (Froute,' Nombre de points   :      ',NL2);
    Reset (FichierMroute);
    FOR I := 1 TO NL2 DO
    BEGIN
        Read (FichierMroute,FicheMroute);
        With FicheMroute DO
            Writeln (Froute,I:4,Xyrte[1]:9:2,Xyrte[2]:9:2,Pos);
    END ;{for}
    Close (FichierMroute);
    Close (Froute);
END; {Procedure Transfert_fichier_route}

```

```

PROCEDURE Lire_donnees_courbe_horizontale ;
BEGIN

```

```

Clrscr;
FINI := TRUE;
textcolor(0);
textbackground(7);
writeln ('SAISIE DES DONNEES POUR CALCUL DES ALIGNEMENTS
HORIZONTAUX ');
writeln
('===== ');

normvideo;
gotoxy (5,10);
writeln ('CHAINAGE DE DEPART PI (en m) : ');
gotoxy(5,12);
writeln ('ANGLE AU SOMMET PI (en gr) :');
gotoxy (5,14);
writeln ('PARAMETRE DE LA SPIRALE ( en m) :');
gotoxy (5,16);
writeln ('DEVERS MAXIMAL :');
gotoxy (5,18);
writeln ('RAYON COURBE CIRCULAIRE (en m): ');
gotoxy (5,20);
writeln ('COEFFICIENT DE FROTTEMENT LATERAL : ');
gotoxy (5,22);
writeln ('VITESSE DE BASE (en km/h) :');
REPEAT
  gotoxy (50,10);
  CR := readkey;
  IF CR <> #013 THEN read (chpi[1]);
  gotoxy (50,12);
  CR := readkey;
  IF CR <> #013 THEN read (anghor);
  gotoxy (50,14);
  CR := readkey ;
  IF CR <> #013 then read (PS1[1]);
  gotoxy (50,16);
  CR := readkey;
  IF CR <> #013 THEN read(emax);
  gotoxy (50,18);
  CR := readkey;
  IF CR <> #013 THEN read (R);
  gotoxy(50,20);
  CR := readkey;
  IF CR <> #013 then read (f);
  gotoxy (50,22);
  CR := readkey;
  IF CR <> #013 then read(V);
  textcolor(128);
  textbackground(7);
  gotoxy (1,24);
  write ('EN CAS D'ERREUR DANS LA SAISIE APPUYER SUR ESCAPE
POUR CORRIGER ');
  Esc :=readkey;

```

```

normvideo;
IF Esc = #027 THEN FINI := FALSE
ELSE FINI:= TRUE;
UNTIL FINI = TRUE;
END ;{Lire_donnes_courbe_horizontale}

PROCEDURE Calcul_elements_de_base;
BEGIN
  Clrscr;
  FOR J := 2 TO Nbs-1 DO
  BEGIN
    R := Rayon[J] ;
    Longsp[1,J] := Asp1[J]/R ;
    Longsp[2,J] := Asp2[J]/R ;
    FOR I := 1 TO 2 DO
    BEGIN
      L[I,J]      := Longsp[I,J] ;
      Angsp[I,J]  := L[I,J]/(2*R);
      Lisp[I,J]   := L[I,J]/10 ;
      L1          := Longsp[I,J];
      L2          := sqr(Longsp[I,J]);
      Xsc[I,J]    := L1-L1*L2/(40*sqr(R));
      Ysc[I,J]    := L2/(6*R)-sqr(L2)/(336*R*sqr(R));
      p[I,J]      := Ysc[I,J]-R*(1-cos(Angsp[I,J]));
      q[I,J]      := Xsc[I,J]-R*sin(Angsp[I,J]);
      Cft[I,J]    := (R+p[I,J])/cos(Aad[J]*3.1416/360)-R ;
      TS[I,J]     :=
(R+p[I,J])*sin(Aad[J]*3.1416/360)/cos(Aad[J]*3.1416/360)+q[I,J];

      TL[I,J]     :=
Xsc[I,J]-Ysc[I,J]/(sin(Angsp[I,J])/cos(Angsp[I,J]));
      TC[I,J]     := Ysc[I,J]/sin(Angsp[I,J]);
      Corde[I,J]  := sqrt(sqr(Xsc[I,J])+sqr(Ysc[I,J]));
    END ;{for}
    Angcc[J]      :=
Aad[J]-Angsp[1,J]*180/3.1416-Angsp[2,J]*180/3.1416 ;
    longcc[J]     := 3.1416*R*Angcc[J]/180 ;
    IF TRUNC(Longcc[J]/Licc[J]) = Longcc[J]/Licc[J] THEN
      Ncc[J]       := TRUNC(Longcc[J]/Licc[J])
    ELSE Ncc[J]    := TRUNC(Longcc[J]/Licc[J])+2 ;
    IF Ncc[J] <= 2 THEN Ncc[J] := 1 ;
  END; {for}
END ; { Procedure calcul_elements_de_base}

PROCEDURE Calcul_courbe_horizontale;
BEGIN
  Clrscr;
  Rmin := sqr(V)/(127*(emax+f));
  Rmin := round (Rmin);
  RH    := ROUND (R);

```

```

IF RH < Rmin then RH :=ROUND(Rmin);
Ls := sqr(PS1[1])/RH;
LsH := round(Ls);
LS :=LSH; R:=RH;
Xs := Ls-Ls*sqr(Ls)/(40*sqr(R));
Ys := (sqr(Ls)/(6*R)) - (sqr(sqr(Ls))/(336*R*sqr(R)));

Ds := 90*Ls/(pi*R);
p1 := Ys - R*(1 - cos(Ds*pi/180));
q1 := Xs - R*(1 - sin(Ds*pi/180));
D := 200 -anghor;
Ts1 := (R+p1)*sin(D*pi/(2*200))/cos(D*pi/(2*200)) + q1;
Ts1H := round(Ts1);
LC := sqrt(sqr(Xs)+sqr(Ys));
LCH := round(LC);
devi := arctan(Ys/Xs)*200/pi;
textcolor(0);
textbackground(7);
writeln('ELEMENTS DE BASE POUR L'ALIGNEMENT HORIZONTAL ');
writeln('===== ');
normvideo;
writeln;WRITELN;WRITELN;
writeln('RAYON DE LA COURBE CIRCULAIRE (en m): ',RH);
WRITELN;
writeln('LONGUEUR DE LA SPIRALE (en m): ',LsH);
WRITELN;
writeln('ABSCISSE DU POINT SC (en m) : ',Xs:8:2);
WRITELN;
writeln('ORDONNEE DU POINT SC (en m) : ',Ys:8:2);
WRITELN;
writeln('TANGENTE PRINCIPALE DE TS A (en m) PI : ',Ts1H);

WRITELN;
writeln('CORDE DE LA SPIRALE (en m) : ',LCH);
WRITELN;
writeln('DEVIATION (en gr): ',devi:3:2);
textcolor(128);
textbackground(7);
gotoxy(1,24);
write('Appuyer sur une touche pour continuer ');
ch := readkey;
normvideo;
CLrscr;
textcolor(0);
textbackground(7);
gotoxy(12,10);
writeln('I M P L A N T A T I O N D E L A S P I R A L E ');
gotoxy(12,11);
writeln('===== ');
normvideo;
gotoxy(16,15);
write('NOMBRE DE POINTS A IMPLANTER : ');

```

```

readln(n);
l1 := Ls/(n+1);
textcolor(128);
textbackground(7);
gotoxy (1,24);
write ('Appuyer sur une touche pour continuer');
ch := readkey;
normvideo;
chTS := chpi[1] - Ts1;
Clrscr;
textcolor(0);
textbackground(7);
writeln('POINTS          ABSCISSES          ORDONNEES          CHAINAGE
DEVIATION          CORDE ');
writeln('=====          =====          =====          =====
=====          ===== ');
normvideo;
writeln;
writeln(' TS          0.00          0.00
',chTS:3:2,'          0.00          0.00 ');
FOR I := 1 to n DO
BEGIN
  Chpi1 := ChTS + l1*i;
  X1 := (l1*i)-Exp(5*Ln(l1*i))/(40*sqr(R)*sqr( Ls));
  Y1 := (l1*i)*sqr(l1*i)/(6*R*Ls) -
Exp(7*Ln(l1*i))/(336*R*Ls*sqr(R*Ls));
  Angdev := arctan (Y1/X1)*200/pi;
  c:= sqrt (sqr(X1)+sqr(Y1));
  write(' ',I);write(' ',X1:3:2);write('
',Y1:3:2);
  write(' ',chpi1:3:2);write('
',angdev:3:2);writeln(' ',c:3:2);
END;
  write(' SC');write(' ',Xs:3:2);write('
',Ys:3:2);
  write(' ',chTS+Ls:3:2);write('
',Devi:3:2);writeln(' ',LCH:4);
  textcolor(128);
  textbackground(7);
  gotoxy(1,24);
  write('Appuyer sur une touche pour continuer ');
  ch := readkey;
  normvideo;
END ;(procedure calcul_courbe_horizontale)

PROCEDURE Afficher_fichier_courbe_horizontale;
BEGIN
  Clrscr;
  Reset(FichierResch);
  Write ('** COURBE **          ** NxPOINT **          ** ABSCISSE **
** ORDONNEES **          ** ANGLE ** ');
  While not EOF(fichierResch) DO

```

```

BEGIN
  Read (FichierResch,FicheResch);
  with ficheResch DO
    Writeln
  (Position:12,Nptch:4,Xych[1]:14:4,Xych[2]:14:4,Aich:10:2);
  END;(while)
  Close(fichierResch);
END; {procedure afficher_fichier_courbe__horizontale}

PROCEDURE Transformation_lineaire;
BEGIN
  Clrscr;
  Reset (FichierSortie);
  FOR I:=2 TO Nbs-1 DO
    BEGIN
      IF Nord[I] > Nord[I-1] THEN
        pentel[I] :=
Arctan((Nord[I-1]-Nord[I])/(Eabc[I-1]-Eabc[I]))
      ELSE
        pentel[I] :=
pi*ABS(Arctan((Nord[I-1]-Nord[I])/(Eabc[I-1]-Eabc[I])));
      IF Nord[I+1] > Nord[I] THEN
        pente2[I] :=
Arctan((Nord[I+1]-Nord[I])/(Eabc[I+1]-Eabc[I]))
      ELSE
        pente2[I] :=
pi*ABS(Arctan((Nord[I+1]-Nord[I])/(Eabc[I+1]-Eabc[I])));
      Etspl[I] := cos(pentel[I])*(Chpi[I]-TS[1,I])+Eabc[I-1];
      Ntspl[I] := sin(pentel[I])*(Chpi[I]-TS[1,I])+Nord[I-1];
      Espt[I] := -cos(pente2[I])*(Chpi[I]+TS[2,I])+Eabc[I+1];
      Nspt[I] := sin(pente2[I])*(Chpi[I]+TS[2,I])+Nord[I+1];
      Espc[I] := Xsc[1,I]*cos(pentel[I])+Eabc[I-1];
      Nspc[I] := Ysc[1,I]*sin(pentel[I])+Nord[I-1];
      Ecsp[I] := -Xsc[2,I]*cos(pente2[I])+Eabc[I+1];
      Ncsp[I] := Ysc[2,I]*sin(pente2[I])+Nord[I+1];
      Xtsp[I] := 0;
      Ytsp[I] := 0;
      Xspt[I] := 0;
      Yspt[I] := 0;
      Xspc[I] := Xsc[1,I];
      Yspc[I] := Ysc[1,I];
      Xcsp[I] := Xsc[2,I];
      Ycsp[I] := Ysc[2,I];
      FOR K := 1 TO 4 DO
        BEGIN
          FOR H := 1 TO 5 DO
            MatA[K,H] := 0;
          END;(for)
          MatA[1,3] := 1; MatA[2,4] := 1; MatA[3,3] := 1; MatA[4,4]
:= 1;
          FOR V := 1 TO 3 do
            BEGIN

```

```

REP := V;
IF REP = 1 THEN
BEGIN
  MatA[1,5] := Etsp[I]; MatA[2,5] := Ntsp[I];
  MatA[3,5] := Espc[I]; MatA[4,5] := Nspc[I];
  MatA[3,1] := Xspc[I]; MatA[3,2] := -Yspc[I];
  MatA[4,1] := Yspc[I]; MatA[4,2] := Xspc[I];
END;{if rep=1}
IF REP = 2 THEN
BEGIN
  MatA[1,5] := Espc[I]; MatA[2,5] := Nspc[I];
  MatA[3,5] := Ecsp[I]; MatA[4,5] := Ncsp[I];
  MatA[3,1] := Xcsp[I]; MatA[3,2] := -Ycsp[I];
  MatA[4,1] := Ycsp[I]; MatA[4,2] := Xcsp[I];
END;{if rep =2}
IF REP = 3 THEN
BEGIN
  MatA[1,5] := Espt[I]; MatA[2,5] := Nspt[I];
  MatA[3,5] := Ecsp[I]; MatA[4,5] := Ncsp[I];
  MatA[3,1] := Xcsp[I]; MatA[3,2] := -Ycsp[I];
  MatA[4,1] := Ycsp[I]; MatA[4,2] := Xcsp[I];
END;{if rep = 3}
FOR K := 1 TO 4 DO
BEGIN
  H := K;
  FOR KK := K+1 TO 4 DO
  if ABS(MatA[H,K]) < ABS(MatA[KK,K]) THEN H := KK;
  FOR KK := 1 TO 5 DO
  BEGIN
    IF H <> K THEN
    BEGIN
      T := MatA[H,K];
      MatA[H,K] := MatA[K,K];
      MatA[K,K] := T;
    END;{if}
  END;{for}
  FOR H := K+1 TO 4 DO
  BEGIN
    FOR KK := 1 to 5 DO
      MatA[H, KK] :=
MatA[H, KK]-MatA[H, K]*MatA[K, KK]/MatA[K, K];
    END;{for}
  END;{for}
  Para[4] := MatA[4,5]/MatA[4,4];
  FOR H := 1 TO 3 DO
  BEGIN
    K := 4-H;
    SOM := 0;
    NN := 4-K;
    FOR JJ := 1 to NN DO
    BEGIN
      M := K+JJ;

```

```

        SOM := SOM + MatA[K,M]*Para[M];
    END;{for}
    Para[K] := (MatA[k,5]-SOM)/MatA[K,K];
END;{for}
FactA[I,V] := Para[1];
FactB[I,V] := Para[2];
FactE[I,V] := Para[3];
FactN[I,V] := Para[4];
END;{for}
END;{for}
Close (FichierSortie);
END;{procedure transformation_linaire}

```

```

{*****}
{*****PROGRAMME PRINCIPAL*****}
{*****}

BEGIN
    S := 'n';
    Clrscr;
    REPEAT
        Clrscr;
        Menu_principal;
        CASE OPTION
1' : BEGIN
            Clrscr;
            Write ('AVEZ-VOUS DEJA DES DONNEES ENREGISTREES ? ( O/N) ');
            Readln (Quest);
            Suite := 'O' ;
            REPEAT
                IF (Quest = 'N') OR (Quest = 'n') THEN
                    Initialiser_fichier_route;
                    Modifier_fichier_route;    Transfert_fichier_route;
                write;
                Write ('AVEZ-VOUS UNE AUTRE ROUTE A TRAITER ? (O/N) ');
                Readln (Suite);
                UNTIL (Suite = 'N') OR (Suite = 'n');
            END; { case}
2' : BEGIN
            Clrscr;
            textcolor(0);    textbackground(7);
            gotoxy (12,10);
            writeln ('C A L C U L   D E   P O L Y G O N A T I O N ');
            gotoxy (12,11);
            writeln ('=====');
            normvideo;
            gotoxy (16,15);
            Write ('NOM DU PROJET : ');

```

```

        Readln (NOM);
        Suite := 'O' ;
        REPEAT
            Clrscr;
            textcolor(0); textbackground(7);
            gotoxy (8,13);
            writeln ('AVEZ - VOUS DEJA DES DONNEES ENREGISTREES ? ');
            writeln;
            write ('SINON TAPEZ N SI OUI TAPEZ SUR UNE AUTRE TOUCHE
            POUR CONTINUER ');
            Quest := upcase (readkey);
            normvideo;
            IF Quest = 'N' THEN
                BEGIN
                    Initialiser_fichiers_polygonation;
                    Modifier_donnees_polygonation;
                    Specifications;
                END;
                Calcul_polygonation;
                Afficher_fichier_polygonation;
                textcolor(0);
                textbackground(7);
                Write ('VOULEZ-VOUS IMPRIMER LES RESULTATS ? (O/N) ');
                Readln (IMP);
                normvideo;
                IF (IMP = 'O') OR (IMP = 'o') THEN
                    Impression_polygonation;
                    writeln;
                    textcolor(0);
                    textbackground(7);
                    Write ('AVEZ-VOUS UNE AUTRE POLYGONATION
                    A TRAITER ? (O/N)');
                    Readln (Suite);
                    normvideo;
                    UNTIL (Suite = 'n') OR (Suite = 'N');
                END; { case }

' 3' : BEGIN
        Suite := 'O';
        REPEAT
            Clrscr;
            TEXTCOLOR (0);
            textbackground (7);
            gotoxy (3,12);
            writeln('      ALIGNEMENTS      HORIZONTALS  ');
            gotoxy(3,14);
            writeln('      ===== ');
            normvideo;
            gotoxy (12,20);
            write ('NOM DU PROJET : ');
            Readln (Nom);
            Lire_donnees_courbe_horizontale;

```

```

        calcul_courbe_horizontale;
        Clrscr;
        gotoxy (11,13);
        textcolor(0);
        textbackground(7);
        write ('VOULEZ-VOUS IMPRIMER LES RESULTATS ?
                (O/N) ');

        Read(IMP);
        normvideo;
        IF (IMP = 'O') OR (IMP = 'o') then
Lecture_impression;
        clrscr;
        gotoxy (10,13);
        textcolor(0);
        textbackground(7);
        Write ('AVEZ-VOUS UNE AUTRE VUE EN PLAN A TRAITER
                ? (O/N) ');
        normvideo;
        Suite := readkey;
        UNTIL (Suite = 'N') OR (Suite = 'n');
        END;(case)

'4' : BEGIN
        Clrscr;
        Write ('AVEZ VOUS DEJA DES DONNEES ENREGISTREES ?
                (O/N) ');
        Read (Quest);
        Suite := 'O';
        REPEAT
            IF (Quest = 'N') or (Quest = 'n') then
                Initialiser_fichier_terrain;
                Modifier_fichier_terrain;
                Transfert_Fichier_terrain;
                write ('AVEZ-VOUS UN AUTRE TERRAIN A TRAITER ?
                        (O/N) ');
            Read (suite);
            UNTIL (Suite = 'n') or (Suite = 'N');
        END;(case)

( '5' :: Programme traite dans '6':graphisme )

'6' : BEGIN
        Clrscr;
        Menu_graphique;
        CASE UPCASE(OPTION) OF
            'A' : BEGIN
                    Clrscr;
                    textcolor(0);
                    textbackground(7);
                    gotoxy (8,14);
                Write ('VOULEZ - VOUS VISUALISER LA POLYGONALE (O/N)? ');

```

```

        Readln (Quest);
        normvideo;
        IF (Quest = 'O') OR (Quest = 'o')
        THEN Visualiser_polygonale;
        END;{case upcase(option) of }

'B' : BEGIN
        Clrscr;
        S:= 'n'; FINI := TRUE;
        REPEAT
            Clrscr; textcolor(0);
            textbackground(7);
            Gotoxy (5,10);
            writeln ('PROFIL EN LONG DU TERRAIN ');
            gotoxy (5,11);
            writeln ('===== ');
            normvideo;
            Gotoxy (5,10);
            write ('ENTRER LE NOMBRE DE POINTS :');
            readln(n);
            FOR I := 1 to n do
                BEGIN
                    Clrscr;
                    textcolor(0);
                    textbackground(7);
                    gotoxy (5,10);
                    writeln ('SAISIE ALTIMETRIQUE ');
                    gotoxy (5,11);
                    writeln ('===== ');
                    normvideo;
                    gotoxy (8,15);
                    write ('ENTRER LA COTE DU POINT ',I ,':');
                    gotoxy (8,17);
                    write ('ENTRER L''ABSCISSE DU POINT ',I ,':');
                    REPEAT
                        GOTOXY (50,15);
                        CR := readkey ;
                        IF CR <> #013 THEN READLN (B[I]);
                        gotoxy (50,17);
                        CR := readkey;
                        IF CR <> #013 then readln(AZ[I]);
                        textcolor(128);
                        textbackground(7);
                        gotoxy (1,24);
                        write ('EN D''ERREUR APPUYER SUR ESCAPE POUR CORRIGER ');
                        Esc := readkey;
                        normvideo;
                        IF Esc = #027 then fini := false
                        ELSE FINI := true;
                    UNTIL FINI = true;
                END;{for}
            END;{for}

```

```

num:=n;
Clrscr;
textcolor(0);
textbackground(7);
gotoxy(10,12);
write('TAPEZ O SI VOUS VOULEZ IMPRIMER
      LE GRAPHE APRES LA VISUALISATION ');
IMP := upcase (readkey);
Tabs := 'ABSCISSES';
Tord := 'ALTITUDES';
Tgal := 'PROFIL EN LONG DU TERRAIN';
trace_courbe(AZ,B,num);
if (imp = 'O') then
imprime_ecran(coderetour);
Closegraph;
textcolor(0);
textbackground(7);
GOTOXY (10,13);
write ('AVEZ-VOUS D'AUTRES PROFILS EN
LONG DE TERRAIN A TRACER ? (O/N)');
s:=UPCASE(readkey);
normvideo;
IF S = 'O' then fini := false
else fini:=true;
UNTIL FINI = true;
END;(case upcase(option) of)

```

'C' : BEGIN

```

  Clrscr;
  S:= 'n'; FINI := TRUE;
  REPEAT
    Clrscr;
    textcolor(0);
    textbackground(7);
    Gotoxy (5,10);
    writeln ('PROFIL EN LONG DE LA ROUTE ');
    gotoxy (5,11);
    writeln ('===== ');
    normvideo;
    Gotoxy (5,10);
    write ('ENTRER LE NOMBRE DE POINTS :');
    readln(n);
    FOR I := 1 to n do
      BEGIN
        Clrscr;
        textcolor(0);
        textbackground(7);
        gotoxy (5,10);
        writeln ('SAISIE ALTIMETRIQUE ');
        gotoxy (5,11);
        writeln ('===== ');
        normvideo;
      END
    END
  UNTIL FINI = TRUE;
END;

```

```

        gotoxy (8,15);
write ('ENTRER LA COTE DU POINT ',I ,':');
        gotoxy (8,17);
write ('ENTRER L'ABSCISSE DU POINT ',I,':');
        REPEAT
            GOTOXY (50,15);
            CR := readkey ;
            IF CR <> #013 THEN READLN (B[I]);
            gotoxy (50,17);
            CR := readkey;
            IF CR <> #013 then readln(AZ[I]);
            textcolor(128);
            textbackground(7);
            gotoxy (1,24);
            write ('EN D'ERREUR APPUYER SUR
ESCAPE POUR CORRIGER ');
            Esc := readkey;
            normvideo;
            IF Esc = #027 then fini := false
            ELSE FINI := true;
        UNTIL FINI = true;
    END;{for}
    Clrscr;
    num:=n;
    textcolor(0);
    textbackground(7);
    gotoxy(10,12);
    write('TAPEZ O SI VOUS VOULEZ IMPRIMER
LE GRAPHE APRES LA VISUALISATION ');
    IMP := upcase (readkey);
    Tabs := 'ABSCISSES';
    Tord := 'ALTITUDES';
    Tgal := 'PROFIL EN LONG DE LA ROUTE';
    trace_courbe(AZ,B,num);
    IF (imp = 'O') then
imprime_ecran(coderetour);
        Closegraph;
        textcolor(0);
        textbackground(7);
        GOTOXY (10,13);
        write ('AVEZ-VOUS D'AUTRES PROFILS EN
LONG DE LA ROUTE A TRACER ? (O/N)');
        s:=UPCASE(readkey);
        NORMVIDEO;
        IF S = 'O' then fini := false
        else fini:=true;
        UNTIL FINI = true;
    END;{case upcase(option) of}

'D' : BEGIN
    Clrscr;
    S:= 'n'; FINI := TRUE;

```

```

REPEAT
  Clrscr;
  textcolor(0);
  textbackground(7);
  Gotoxy (5,10);
  writeln ('PROFIL EN TRAVERS DE LA ROUTE ');
  gotoxy (5,11);
  writeln ('===== ');
  normvideo;
  Gotoxy (5,15);
  write ('ENTRER LE NOMBRE DE POINTS : ');
  readln(n);
  FOR I := 1 to n do
    BEGIN
      Clrscr;
      textcolor(0);
      textbackground(7);
      gotoxy (5,10);
      writeln ('SAISIE ALTIMETRIQUE ');
      gotoxy (5,11);
      writeln ('===== ');
      NORMVIDEO;
      gotoxy (8,15);
      write ('ENTRER LA COTE DU POINT ',I, ':');
      gotoxy (8,17);
      write ('ENTRER L''ABSCISSE DU POINT ',I, ':');
      REPEAT
        GOTOXY (50,15);
        CR := readkey ;
        IF CR <> #013 THEN READLN (B[I]);
        gotoxy (50,17);
        CR := readkey;
        IF CR <> #013 then readln(AZ[I]);
        textcolor(128);
        textbackground(7);
        gotoxy (1,24);
        write ('EN D''ERREUR APPUYER SUR
        ESCAPE POUR CORRIGER ');
        Esc := readkey;
        normvideo;
        IF Esc = #027 then fini := false
        ELSE FINI := true;
      UNTIL FINI = true;
    END;{for}
  num:=n;
  Clrscr;
  textcolor(0);
  textbackground(7);
  gotoxy(10,12);
  write('TAPEZ O SI VOUS VOULEZ IMPRIMER
  LE GRAPHE APRES LA VISUALISATION ');
  imp := upcase(readkey);

```

```

        Tabs := 'ABSCISSES';
        Tord := 'ALTITUDES';
        Tgal := 'PROFIL EN TRAVERS DE LA ROUTE ';
        trace_courbe(AZ,B,num);
        if (imp = 'O') then
            imprime_ecran(coderetour);
            Closegraph;
            textcolor(0);
            textbackground(7);
            GOTOXY (10,13);
            write ('AVEZ-VOUS D'AUTRES PROFILS EN
TRAVERS A TRACER ? (O/N)');
            s:=UPCASE(readkey);
            normvideo;
            IF S = 'O' then fini := false
            else fini:=true;
            UNTIL FINI = true;
        END;(case upcase(option) of)
        END;(Menu graphique)
    END;(case)

```

```

'7' : BEGIN
    suite := 'O';
    REPEAT
        Clrscr;
        textcolor(0);
        textbackground(7);
        Gotoxy (12,10);
        writeln ('C A L C U L   D E S   C U B A T U R E S ');
        gotoxy (12,11);
        writeln ('===== ');
        normvideo;
        gotoxy (16,15);
        write ('NOM DU PROJET :');
        read (Nom);
        textcolor(128);
        textbackground(7);
        gotoxy (1,24);
        write ('Appuyer sur une touche pour continuer ');
        ch := readkey ;
        normvideo;
        Clrscr;
        FINI := true;
        gotoxy(14,13);
        write ('AVEZ - VOUS UN NOMBRE PAIR DE PROFILS EN TRAVERS ?
(O/N): ');
        ch := readkey;
        ch := upcase(ch);
        IF ch = 'O' THEN pair := true ;
        IF ch = 'N' THEN pair := false ;
        Clrscr;
    
```

```

textcolor(0);
textbackground(7);
gotoxy(12,10);
write ('SAISIE DES DONNEES');
normvideo;
gotoxy (16,15);
write ('NOMBRE DE PROFILS EN TRAVERS : ');
Gotoxy (16,17);
write ('DISTANCE ENTRE DEUX PROFILS SUCCESSIFS : ');
REPEAT
  GOTOXY( 60,15);
  CR := readkey;
  IF CR <> #013 then read (N);
  Gotoxy (60,17);
  CR := readkey;
  IF CR <> #013 then read (l1);
  textcolor(128);
  textbackground(7);
  gotoxy (1,24);
  write ('EN CAS D'ERREUR APPUYER SUR ESCAPE POUR
        CORRIGER ');
  Esc := readkey;
  normvideo;
  IF ESC = #027 then FINI := false
  ELSE FINI := true;
UNTIL FINI = true;
FOR I := 1 to N do
BEGIN
  FINI := TRUE ;
  Clrscr;
  textcolor(0);
  textbackground(7);
  Gotoxy (12,10);
  writeln ('SAISIE DES DONNEES ');
  gotoxy (12,11);
  writeln ('=====');
  normvideo;
  gotoxy (10,15);
  writeln ('PROFIL  ',I ,':');
  GOTOXY (10,16);
  writeln ('***** ');
  gotoxy (16,18);
  write ('SURFACE EN REMBLAI (m^2): ');
  gotoxy (16,21);
  write ('SURFACE EN DEBLAI (m^2): ');
  REPEAT
    GOTOXY (50,18);
    CR := readkey;
    IF CR <> #013 then read (Re[I]);
    gotoxy (50,21);
    CR := readkey;
    IF CR <> #013 then read (De[I]);

```

```

        textcolor(128);
        textbackground(7);
        Gotoxy (1,24);
        write ('EN CAS D''ERREUR APPUYER SUR ESCAPE
        POUR CORRIGER');
        Esc := readkey;
        normvideo;
IF Esc = #027 then FINI := false ELSE FINI := true;
UNTIL FINI = true;
END;{for}
Clrscr;
VD := 0;
VR := 0;
textcolor(0);
textbackground(7);
gotoxy(16,1);
writeln (' CUBATURE DES TERRES ');
GOTOXY(16,2);
writeln (' ***** ');
normvideo;
writeln;writeln;
IF pair = true then
BEGIN
    J := Round( ((N-1)-3)/2 );
    VD := 11*(De[n-1] + De[n])/2 ;
    VR := 11*(Re[n-1] + Re[n])/2 ;
    writeln;
    textcolor(0);
    textbackground(7);
    writeln ('*** ENTRE PROFILS ',n-1,' ET ',n , '*** ');
    normvideo;
    writeln; writeln;
    writeln (' VOLUME DE DEBLAI (m^3) : ',VD:8:2 );
    writeln;
    writeln (' VOLUME DE REMBLAI (m^3): ',VR:8:2 );
END{if}
ELSE J:= Round( (n-3)/2 );
RT := 11*(Re[1] + 4*Re[2] + Re[3])/6 ;
DT := 11*(De[1] + 4*De[2] + De[3])/6 ;
VD := VD + DT ;
VR := VR + RT ;
writeln;writeln;
textcolor(0);
textbackground(7);
writeln ('* * * ENTRE PROFILS 1 ET 3 * * * ');
normvideo;
writeln;WRITELN;
writeln ('VOLUME DE DEBLAI (m^3) : ',DT:8:2 );
writeln;
writeln ('VOLUME DE REMBLAI (m^3): ',RT:8:2 );
textcolor(128);
textbackground(7);

```

```

gotoxy (1,24);
write ('Appuyer sur une touche pour continuer ');
ch := readkey;
normvideo;
FOR k := 1 to J do
BEGIN
  clrscr;
  I := 2*k+1 ;
  RT := 11*(Re[I] + 4*Re[I+1] + Re[I+2])/6 ;
  DT := 11*(De[I] + 4*De[I+1] + De[I+2])/6 ;
  VD := VD + DT ;
  VR := VR + RT ;
  writeln;writeln;
  textcolor(0);
  textbackground(7);
  writeln ('*** ENTRE PROFILS ',I,' ET ',I+2 , '*** ');
  normvideo;
  writeln;
  writeln ('VOLUME DE DEBLAI (m^3) : ',DT:8:2 );
  writeln;
  writeln ('VOLUME DE REMBLAI (m^3): ',RT:8:2 );
  textcolor(128);
  textbackground(7);
  gotoxy (1,24);
  write ('Appuyer sur une touche pour continuer ');
  ch := readkey;
  normvideo;
END;{for}
clrscr;
writeln;
textcolor(0);
textbackground(7);
gotoxy(10,12);
writeln ('##### TOTAL DES CUBES ##### ');
normvideo;
gotoxy(15,16);
writeln ('REMBLAI : ',VR:8:2,' mtres cubes');
gotoxy(15,17);
writeln ('=====');
gotoxy(15,20);
writeln ('DEBLAI : ',VD:8:2,' mtres cubes');
gotoxy(15,21);
writeln ('=====');
textcolor(128);
textbackground(7);
gotoxy(1,24);
write ('Appuyer sur une touche pour continuer');
ch := readkey;
normvideo;
Clrscr;
textcolor(0);
textbackground(7);

```

```

        gotoxy(5,14);
        write('TAPER C SI VOUS AVEZ FINI LES CALCULS DE
              CUBATURES ');
        NORMVIDEO;
        suite := readkey;
        UNTIL (suite = 'C') or (suite = 'c');
        END;(case)

    '8' : Halt;

END;
Clrscr;
textcolor(0);
textbackground(7);
gotoxy (17,13);
write (' APPUYER SUR S POUR SORTIR,');
gotoxy (5,16);
write (' OU SUR UNE AUTRE TOUCHE POUR RETOURNER AU MENU
PRINCIPAL ');
S := readkey;
normvideo;
UNTIL (S = 'S') OR (S = 's');
END.

```

A N N E X E 2 :

D E S C R I P T I O N D E S

I D E N T I F I C A T E U R S

Nsmax	: constante	: nombre max de sommets
XYdep	: array [1..2]	: coordonnées du point de départ
XYarr	: array [1..2]	: coordonnées du point d'arrivée
XYpoint	: array [1..2]	: coordonnées des sommets
Gdep	: real	: gisement du point de départ
Garr	: real	: gisement du point d'arrivée
Gpoint	: real	: gisement des sommets
Ns	: integer	: nombre de sommets
Nopt	: integer	: numéro du sommet
Nom	: string [30]	: nom du projet
EL	: real	: erreur de lecture angulaire
pl	: real	: précision linéaire requise

fa	: real	: fermeture angulaire
fr	: real	: fermeture linéaire
FichierDbase	: file	: fichier de données
FichierMesure	: file	: fichier de levés topométriques
FichierRpolygone	: file	: fichier de resultats
FichierGrpolygone	: file	: fichier graphique du polygone
Nptc	: integer	: numéro du point sur la courbe.
Xych	: array [1..2] of real	: coordonnées d'un point de la courbe.
Position	: string [20]	: élément auquel appartient le point.
Aich	: real	: Angle de déflexion d'un point.
Pce	: integer	: Paramètre du point.
Elt	: string [30]	: élément du point.
PS1,PS2	: array [1..Nsmax] of real	: paramètre des spirales d'entrée et de sortie.
Rcc	: array [1..Nsmax] of real	: rayon de la courbe circulaire.
Ncc	: array [1..Nsmax] of real	: nombre de points sur la courbe circulaire.
Licc	: array [1..Nsmax] of real	: distance entre deux points sur courbe circulaire.
NP	: string [20]	: Nom du projet
NTR	: string [20]	: Nom du tronçon de la route
NF	: string [20]	: Nom du fichier de sauvegarde

RW	: integer	: rayon de la courbe
ADGW	: real	: pente à l'amont de la courbe
ADDW	: real	: pente à l'aval de la courbe
XPW,ZPW	: real	: coordonnées du sommet de la courbe
FW	: real	: flèche de la courbe
LTGW	: real	: longueur de l'alignement droit en amont
LTDW	: real	: longueur de l'alignement droit en aval
TW	: real	: longueur des tangente à la courbe
Kcourbe	: integer	: paramètre de la courbe
Lcourbe	: real	: longueur de la courbe
Fprofil	: Fichier texte	: fichier de sauvegarde des résultats
NR	: string [20]	: nom du fichier des résultats
Vbase	: integer	: vitesse de base du projet
Ncourbe	: string [20]	: nature de la courbe
RT	: real	: Volume de remblai entre deux profils impairs consécutifs
DT	: real	: Volume de déblai entre deux profils impaires consécutifs
VD	: real	: Volume total de déblai
VR	: real	: Volume total de remblai