

PB011/97

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION D'UN DIPLOME D'INGENIORAT D'ETAT
EN GENIE CIVIL

THEME

**ELABORATION D'UN LOGICIEL
DE CALCUL DE GUBATURES**

ENCADRE PAR :
M. K. SILHADI

PRESENTE PAR :
M. BENELMIHOUB Rachid
Mlle GUERNOUTI Sihem

PROMOTION 1997



ENP, 10 AVENUE HASSEN BADI-EL HARRACHI ALGER

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION D'UN DIPLOME D'INGENIORAT D'ETAT
EN GENIE CIVIL

THEME

**ELABORATION D'UN LOGICIEL
DE CALCUL DE GUBATURES**

ENCADRE PAR :
M. K. SILHADI

PRESENTE PAR :
M. BENELMIHOUB Rachid
Mlle GUERNOUTI Sihem

PROMOTION 1997



ENP, 10 AVENUE HASSEN BADI EL HARRACH ALGER

Dédicaces

A ma MAMI pour ses sacrifices ;

à mon père pour son aide précieuse ;

à ma mère pour sa tendresse et sa patience ;

à mes frères Nazim le marginal et Racim le magnifique ;

à mes amis : Ilhem, Wassila, Amine, Redha, Abdelhak ;

à tous ceux que j'aime.

Que la paix soit pour demain.

Sihem 

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, pour leur soutien moral et l'éducation qu'ils m'ont inculquée et qui ont su faire de moi un homme responsable.

à mon adorable soeur Souad ;

à la mémoire de KHALLOU ;

à tous mes amis, plus spécialement, Hakim, Amine, Toufik, Rachid, Mohamed, Hamoud, Yacine, Nouredine et Samir.

Merci
B. Rachid.



Remerciements

Nous remercions :

M SILHADI

Pour son suivi, et ses précieuses directives et conseils.

M ZERGOUG

Chef de projet à la SAETI

Il nous a beaucoup assisté grâce à sa disponibilité, ses précieux conseils et son sens de la responsabilité.

M GANIBARDI chef de département route à la SAETI

Pour sa collaboration.

Mmes MOHABIDINE et CHERID

Pour nous avoir prodigué des conseils fructueux et leur soutien moral.

M HARRAT Toufik

Pour son aide et sa patience

nous remercions également les membres de jury qui ont accepté de bien vouloir examiner notre travail

Ainsi que tous ceux qui ont aidé à la réalisation de ce travail.

Qu'ils soient tous assurés de notre immense gratitude.

BENELMIHOUB Rachid

GUERNOVTI Sihem



إن تطوير شبكة الطرق عنصر أساسي لخدمة الإحتياجات الإقتصادية والإستراتيجية للأمم.
ضمن هذا النطاق، قمنا بإعداد نظام للإعلام الآلي (ROAD 1) يعمل على إنشاء مختلف مشاريع الطرق في مراحلها الأولية.
هذا النظام يسمح بالقيام بكل الحسابات الخاصة بإنشاء الطرق و يعطي مختلف أحجام التسطیح.

Résumé :

La modernisation des réseaux routiers est un élément indispensable au service des besoins économiques et stratégiques des nations.

Dans ce contexte, nous avons élaboré un logiciel (ROAD 1) pour la conception des projets routiers en avant-projet sommaire (APS). Ce logiciel permet d'effectuer tous les calculs relatifs aux tracés routiers et de donner les volumes des terrassements.

Abstract :

The road network modernization is an indispensable element to the service of needs economic and strategic of nations.

In this context, we worked out a software (ROAD 1) for the conception of the road projects in draft summary. This software permits to do all relative counts to the road tracings and to give volumes of terracings.

SOMMAIRE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES PROJETS ROUTIERS	4
Données de base	4
I-1 Etude des projets routiers	6
I-1-1 Tracé en plan	6
I-1-2 Profil en long	15
I-1-3 Profil en travers	18
I-2 Problématique de l'optimisation des profils en long	22
I-2-1 Définition et généralités	22
I-2-1 Méthode de calcul de cubatures	24
I-3 Introduction des outils informatiques pour l'étude des projets routiers	25
CHAPITRE II- AIDE À LA CONCEPTION DES PROJETS ROUTIERS	29
II-1 Problématique de la modélisation d'un relief	29
Formulation du problème	29
II-2 Méthodologie retenue pour le tracé en plan et les profils en long	34
II-2-1 Tracé en plan	34
II-2-2 Profil en long	36
II-3 Méthodologie retenu pour les profils en travers et le calcul des cubatures	36

CHAPITRE III LE SYSTEME REALISE.....	40
III-1 Architecture générale	40
III-2 Domaine et limites	43
III-3 Description des différents modules	43
CHAPITRE IV : EXEMPLE AVEC CRITIQUE DES RESULTATS	53
IV-1 Description de l'exemple	53
IV-2 Comparaison des résultats	54
V- CONCLUSION	68
ANNEXES	
BIOLOGRAPHIE	

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Au cours des dernières années, avec l'avènement et la diffusion de l'informatique en ingénierie, la technique routière a connu une profonde évolution.

La modernisation des réseaux routiers est devenue un élément indispensable au service des besoins économiques, nationaux, internationaux et stratégiques des nations.

Toutefois, ce qui doit intéresser l'économie nationale, c'est que la somme des charges pour l'établissement de la voie soit aussi faible que possible. Sous ce rapport, le choix d'un tracé routier lors de la phase préliminaire d'étude d'un projet a un impact important sur l'exécution de celui-ci. En particulier, les coûts de construction seront dans une large mesure fonction du tracé retenu.

Dans ce contexte, et, en vue d'optimiser les étapes du processus de conception des projets routiers, il est nécessaire d'avoir recours aux logiciels de calculs routiers susceptibles de réaliser des gains importants en terme de temps et de coût.

Dans le cadre de ce présent travail, nous avons élaboré un logiciel pour la conception des projets routiers en avant projet sommaire.

Dans le premier chapitre, nous présentons les caractéristiques géométriques des chaussées (tracé en plan, profil en long et profils en travers), le calcul de cubatures, ainsi qu'un historique sur l'introduction des outils informatiques pour l'étude des projets routiers.

Dans le deuxième chapitre, nous exposons les différentes méthodes (modélisation du relief, tracé en plan et profil en long, profils en travers et calcul de cubatures) retenues pour la conception du logiciel.

Le système réalisé est présenté et décrit avec ses différents modules dans le troisième chapitre.

Aussi, afin d'illustrer cette présentation, un exemple de fonctionnement du logiciel est traité dans le quatrième chapitre.

Enfin, dans le cinquième et dernier chapitre, nous présentons les principales conclusions relatives à notre travail, ainsi que les perspectives futures qui permettront de perfectionner le système réalisé.

Chapitre I

GENERALITES SUR LES
PROJETS ROUTIERS

DONNEES DE BASES :

1- Catégories de route :

La catégorie est par définition le classement de la route selon son importance économique. On distingue cinq catégories [1].

Catégorie 1: liaisons entre les grands centres économiques, les centres d'industrie lourde et les liaisons assurant le rabattement des centres d'industrie de transformation sur ce réseau.

Catégorie 2: liaisons entre les centres de transformation et les liaisons assurant le rabattement des pôles d'industrie légère diversifiées sur le réseau précédent (cat1).

Catégorie 3: liaisons des chefs lieux de daïra et de wilaya non desservies par le réseau précédent avec le réseau des catégories 1 et 2.

Catégorie 4: liaisons des centres de vie avec le réseau des catégories 1 à 3.

Catégorie 5: routes et pistes non comprises dans les catégories précédentes.

2- Environnement de la route:

L'environnement de la route définissant son état actuel est caractérisé par deux indicateurs [1] :

- La dénivelée cumulée moyenne.

- La sinuosité.

2-1- La dénivelée cumulée moyenne: c'est le rapport de la dénivelée cumulée total (H) sur la longueur totale de l'itinéraire (L), elle permet de mesurer la variation longitudinale du relief.

Si $H/L \leq 1.5$ terrain plat.

$H/L \leq 4$ terrain vallonné.

$H/L > 4$ terrain montagneux.

2-2- La sinuosité: c'est le rapport de la longueur sinueuse L_s (c'est la longueur cumulée des courbes des rayons en plan inférieur à 200m) sur la longueur totale de l'itinéraire.

Si $L_s/L \leq 0.1$ sinuosité faible.

$L_s/L \leq 0.3$ sinuosité moyenne.

$L_s/L > 0.3$ forte sinuosité.

Trois types d'environnement sont caractérisés par le croisement des deux paramètres précédents selon le tableau suivant:[1]

Relief	Sinuosité		
	1 Faible	2 Moyenne	3 Forte
1. Plat	E 1	E 2	
2. a Plat et inondable			
2.b Vallonné	E 2	E 2	E 3
3. Montagneux	 	E 3	E 3

3- Vitesse de référence :

La vitesse de références caractérise le mouvement des véhicules qui composent le trafic, elle est exprimée en km/h, c'est la vitesse considérée pour établir un projet de route. Elle fixe certaines caractéristiques géométriques de la route, comme le dévers, la courbure, et la distance de visibilité dont dépend la sécurité.

Cette vitesse est fonction de la catégorie et de l'environnement de la route. [1]

I-1- Etude des projets routiers :

I-1-1- Tracé en plan :

1- Définition :

Le tracé en plan est la projection sur un plan horizontal de l'axe de la route. C'est une succession de droites, d'arcs de cercle et de courbes de raccordement.

Les alignements droits permettent un mouvement uniforme des véhicules, avec l'avantage d'une plus grande vitesse moyenne, tout en conservant une entière visibilité, condition fondamentale pour la sécurité du trafic.

Cependant, comme le tracé doit surmonter les obstacles présentés par le terrain, et ce sans avoir recours à des travaux excessifs de terrassement, nous devons intercaler les alignements des courbes sinon, elles constituent un danger pour la circulation.

Donc, la combinaison de tous ces éléments, en coordination avec le profil en long, doit en premier lieu permettre de réserver une proportion convenable de zones où la visibilité est suffisante pour permettre le dépassement.

Simultanément, on doit éviter l'effet de monotonie et réduire en conduite nocturne le temps d'éblouissement par les phares lié aux grands alignements droits.

2- choix du rayon des virages :

Les rayons des arcs de cercles et leurs dévers doivent permettre au minimum à un véhicule roulant à la vitesse de référence V_r . (V_r est choisie en fonction de l'importance de la liaison à desservir et de la topographie de la région traversée) de ne pas déraiper.

Nous devons avoir pour cela:

$$R \geq \frac{v_r^2}{g(f_t + d)}$$

en mettant $v_r \text{ (m/s)} = \frac{V_r \text{ (km / h)}}{3,6}$ (1-1)

nous avons: $R_{\min} = \frac{V^2 \text{ (km / h)}}{127(f_t + d_{\max})}$ (1-2)

Où : R est le rayon du virage.

d est le dévers.

f_t est le coefficient de frottement transversal.

le rayon minimal dépend donc des dévers est du frottement mobilisable ; en prenant en considération le fait que le dévers ne doit pas être très grand pour éviter le risque de glissement à faible vitesse par temps de verglas.

• **Rayon minimal absolu :**

$$RHm = R (V_r, d_{\max})$$

Il est défini comme étant le rayon au dévers maximum

$$RHm = \frac{V_r^2}{127(f_t + d_{\max})} \quad (1-3)$$

NB : Aucun rayon n'est inférieur à RHm.

• **Rayon minimal normal :**

C'est le rayon permettant à des véhicules dépassant *V_r* de 20 km/h de rouler en sécurité.

$$RHN (V_r) = RHm (V_r + 20)$$

Il associe un dévers : *d_{max}* - 2%

$$RHN = \frac{(V_r + 20)^2}{127(f_t + d_{\max})} \quad (I-4)$$

- **Rayon au dévers minimal :**

$$Rhd = R(V_r, d_{\max}).$$

Le rayon au dévers minimal est le rayon au delà duquel les chaussées sont déversées vers l'intérieur du virage, et tel que l'accélération centrifuge résiduelle à la vitesse V_r soit équivalente à celle subie par le véhicule circulant à la même vitesse en alignement droit.

Il associe un dévers : $-d_{\min} = -2.5\%$

$$RHd = \frac{V_r^2}{127 * 2 * d_{\min}} \quad (I-5)$$

- **Rayon minimal non déversé :**

Ce rayon non déversé RHNd est le rayon tel que l'accélération centrifuge résiduelle acceptée pour un véhicule parcourant à la vitesse V_r une courbe de dévers égale à d_{\min} vers l'extérieur, reste inférieur à une valeur « F ».

Tel que :

$$RHNd = \frac{V^2}{127(F - d_{\min})} \quad (I-6)$$

dévers associé : $-d_{\min} = -2.5\%$

3- Courbes de raccordement :

Au point de passage d'un alignement droit à une courbe circulaire, la force centrifuge fait brusquement son apparition. Afin d'éviter la déviation du véhicule, le conducteur parcourt une trajectoire qui lui permet de maintenir son véhicule en équilibre, d'où risque de collision avec un véhicule qui pourrait venir en sens opposé.

Pour résoudre ce problème, on prévoit entre les segments de droite et les arcs de cercle des zones de raccordement.

On choisit généralement comme courbe de raccordement la clothoïde, qui, parcourue à vitesse constante correspond à la trajectoire d'un véhicule dont l'angle de braquage du volant augmente régulièrement.

Géométriquement, la clothoïde est une spirale à points asymptotiques dont la solution n'est pas possible par les mathématiques élémentaires.

Nous pouvons néanmoins utiliser des tables dites « Table de clothoïde ». Il existe d'autres types de raccordement progressif comme par exemple, la spirale, la lemniscate et la parabole cubique.

L'équation qui définit la clothoïde est : $A^2 = RL$

Où : R est le rayon du cercle primitif

L est la longueur de la clothoïde

A est un paramètre de la clothoïde

La clothoïde est représentée par la figure (I-2).

Pour définir les caractéristiques d'une clothoïde, nous devons prendre en considération les conditions suivantes :

- **Condition optique :**

Elle permet d'assurer aux usagers une vue satisfaisante de la route et en particulier de les renseigner à l'avance de l'évolution du tracé de façon à obtenir une sécurité de conduite plus grande.

Pour être perceptible, le raccordement progressif doit correspondre à un changement de direction supérieur ou égale à 3° (1/18 rd).

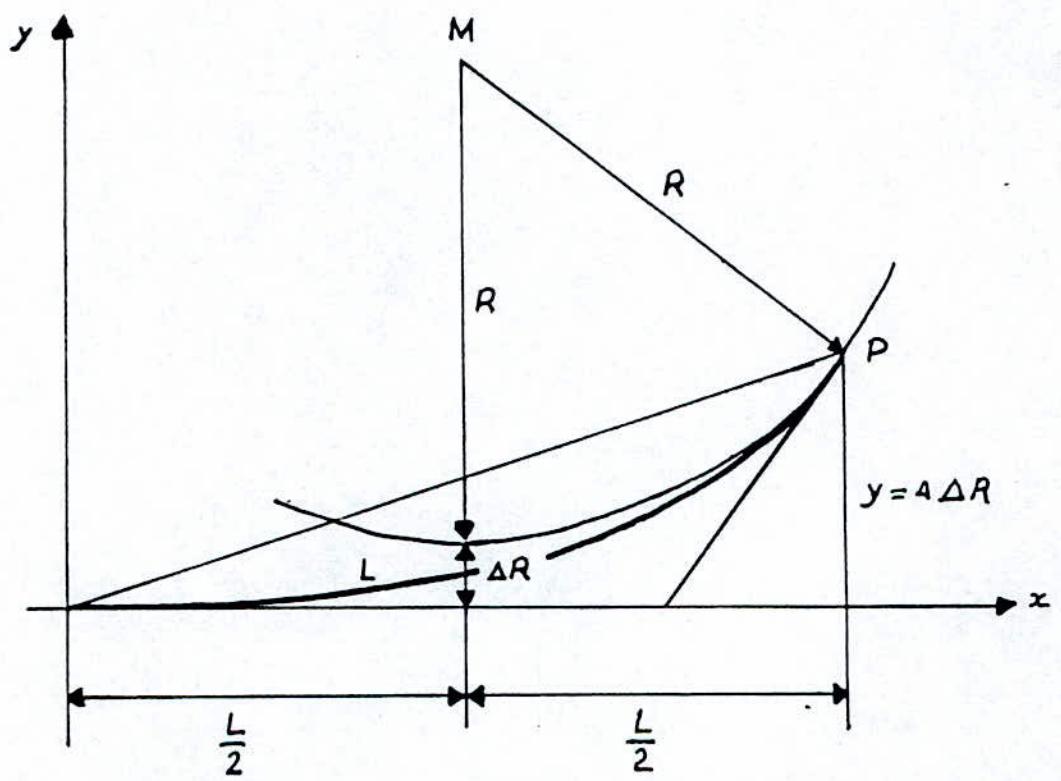


Figure I-2 : CLOTHOÏDE

$$\tau \geq 1/18 \text{ rd} ; \quad \Delta R = \frac{L^2}{24R} \quad (\Delta R : \text{ripage})$$

$$\tau = \frac{L}{2R} \geq \frac{1}{18} \Rightarrow L \geq R/9 \text{ or } A^2 = LR$$

donc :

$$R/3 \leq A \leq R \quad (1-7)$$

• **Condition de gauchissement :**

Elle se traduit par la limitation du profil en long du bord de la chaussée déversée à celle de son axe.

Cette pente est limitée à : $\Delta P = 0.5/V_r$ (km/h), avec, $\Delta P \geq 2\%$ afin d'assurer un bon écoulement des eaux de pluie, surtout si la route est en déblai.

Elle permet aussi de ne pas accroître le relèvement du virage d'une manière brutale ce qui modifie l'inclinaison du véhicule.

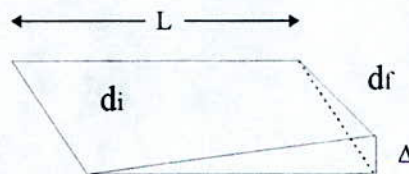


Fig. (I-1)

Il faut donc introduire le dévers progressivement :

$$\Delta P = \Delta H/L \longrightarrow \Delta H/L = 0.5 V_r$$

$$\Delta d = \frac{\Delta H}{l/2} \longrightarrow \Delta H = \Delta d \cdot l/2 \quad L = l \cdot \Delta d \cdot V_r$$

l : Largeur de la chaussée (m).

d : dévers (%).

V_r : vitesse de référence (km/h).

d_i : dévers initial.

d_r : dévers final.

- **Condition de confort dynamique :**

Cette condition limite la variation (par unité de temps) de l'accélération du véhicule.

Une partie de la force centrifuge est compensée par la composante tangentielle du poids du véhicule. Cette force centrifuge est donnée par la formule suivante :

$$\frac{PV^2}{Rg} \quad (I-8)$$

La sollicitation à laquelle est soumis le véhicule est :

$$\frac{PV^2}{Rg} - (P * i) \quad (I-9)$$

Soit T la sollicitation radiale et $P = mg$

P : Poids du véhicule

m : Masse du véhicule

i : Inclinaison de la route

$$T = m \left(\frac{V^2}{R} - (g * i) \right) \quad (I-10)$$

Nous remarquons que (V^2/R) est l'accélération centripète.

Puisque l'accélération transversale doit être limitée par unité de temps on a :

$$\left(\frac{V^2}{R} - g^j\right) / \Delta t \leq k \quad (I-11)$$

$$\text{Avec : } k = \frac{1}{0,2V}$$

$$\text{Si } L = V \Delta t \quad (L(\text{m}) \text{ et } V(\text{m/s}))$$

$$L \geq V \frac{1000}{3600} \left(\frac{(V^2 10^6) / 3600^2}{R * 9,81} - i \right) * \left(\frac{1}{0,2V} \right)$$

$$L \geq \frac{V_r^2}{18} \left(\frac{V_r^2}{127R} - d \right) \quad (I-12)$$

Où :

V_r : vitesse de référence (km/h).

$d = \text{tg}(i)$: Le dévers.

4- Calcul d'axe :

Le calcul d'axe est une opération essentielle que devra contenir un projet routier, car il permet de calculer tout point bien défini de l'axe d'une route après avoir choisi le « couloir » par lequel elle devra passer.

Les points à calculer seront plus particulièrement: les débuts et fins de clothoïdes, les centres des différents arcs de cercle, ou encore les points d'intersection de deux axes.

5- Calcul des dévers :

Le dévers est par définition la pente transversale de la chaussée, il permet une bonne évacuation des eaux pluviales et la stabilité des véhicules en courbe.

Dans les alignements droits et dans les courbes de rayon $R > R_{HNd}$, le dévers est pris égal à 2.5%, tandis que pour les rayons $R < R_{HNd}$, le calcul du dévers se fait par interpolation linéaire en $(1/R)$ suivant les formules ci-dessous :

$$R_{Hm} < R < R_{HN} \longrightarrow \frac{d(R) - d(R_{Hm})}{(1/R) - (1/R_{Hm})} = \frac{d(R_{Hm}) - d(R_{HN})}{(1/R_{Hm}) - (1/R_{HN})}$$

$$R_{HN} < R < R_{Hd} \longrightarrow \frac{d(R) - d(R_{Hd})}{(1/R) - (1/R_{Hd})} = \frac{d(R_{HN}) - d(R_{Hd})}{(1/R_{HN}) - (1/R_{Hd})}$$

$R_{Hm} < R < R_{HN} \longrightarrow$ La chaussée est déversée vers l'intérieur avec un dévers de l'alignement droit.

Les dévers sont proportionnels à la courbure, ils varient de façon à avoir un raccordement satisfaisant entre les alignements droits et les courbes.

Dans le cas, où les dévers sont de même sens, le raccordement sera progressif à partir du début de clothoïde jusqu'au début de l'arc de cercle.

Dans le cas où les dévers sont opposés, il faut passer par un dévers nul, ce dernier peut être placé en général à une distance $d_{\min} = 5/36 \Delta d V_r$; appelée longueur de gauchissement.

Pour les courbes en S, il est souhaitable de prendre le dévers nul au point d'inflexion, comme on peut se passer de ce choix dans les conditions obligatoires, mais en respectant la distance minimale sur laquelle se fait la variation du dévers. ✕

I-1-2- PROFIL EN LONG :

1- Définition :

Le profil en long est le développement du cylindre verticale sur lequel est tracé l'axe de la route.

Les éléments géométriques du profil en long sont des lignes droites inclinées raccordées par des arcs de cercle caractérisés par leurs rayons.

• Déclivités :

La déclivité est l'élément « droite » du profil en long., On parle de pente ou de rampe suivant que la route descende ou monte dans le sens de la marche.

Les tronçons de route horizontaux sont à éviter pour faciliter l'écoulement des eaux pluviales, la déclivité minimale est limitée de 0.5 à 1%. Les déclivités maximales doivent être inférieures à une valeur maximale associée au niveau de service (9%).[1]

La déclivité économique est: en descente, celle qui permet au véhicule d'avancer sans atteindre une vitesse dangereuse et sans faire usage des freins, et en montée, celle qui permet aux véhicules d'avancer sans changer de vitesse.

Le pourcentage de déclivité dans les rampes et les pentes est choisi de manière à :

➤ Assurer une circulation, sans gêne due au trafic des poids lourds en limitant les valeurs des rampes si possibles aux valeurs des normes, ou en créant des voies supplémentaires pour les poids lourds.

➤ Assurer l'évacuation des eaux de la plate forme dans les sections longues en délai, ou dans les zones de dévers nul par la création de pentes longitudinales.

➤ Le passage d'une déclivité à une déclivité suivante est adouci par l'aménagement de raccordement circulaire dont on distingue :

Rayon en angle saillant (ou convexe).

Rayon en angle rentrant (ou concave).

Pour le calcul des deux raccordements on tient compte du problème de visibilité pour le premier et du problème de confort dynamique pour le deuxième.

• *Les rayons en angle saillant :*

Les rayons minimums admissibles des raccordements paraboliques en angle saillant sont déterminés à partir de la connaissance de la position de l'œil humain, et des obstacles d'une part, des distance d'arrêts et de visibilité d'autre part.

D'une manière générale :

$$R_{vm} = a d^2 V_R$$

où : a : constante obtenue par les calculs.

d : distance de visibilité souhaitée.

Remarque :

les rayons minimaux normaux (RVN) sont obtenus par application des mêmes formules que les rayons minimaux absolus en remplaçant V_R par $(V_R + 20)$.

• *Les rayons en angle rentrant :*

En angle rentrant, la prise en compte du confort dynamique des véhicules roulants à V_r ou $(V_r + 20)$ est primordiale.

Par contre, les conditions de visibilité ne sont pas déterminantes dans la journée, la visibilité de nuit doit être prise en compte.

Les rayons en angle rentrant doivent assurer pour une vitesse donnée la vision dans un faisceau de phare d'axe horizontale situé à 0.75 m de hauteur d'un objet situé à la distance d'arrêt (d_a).[1]

2-Calcul des raccordements circulaires :

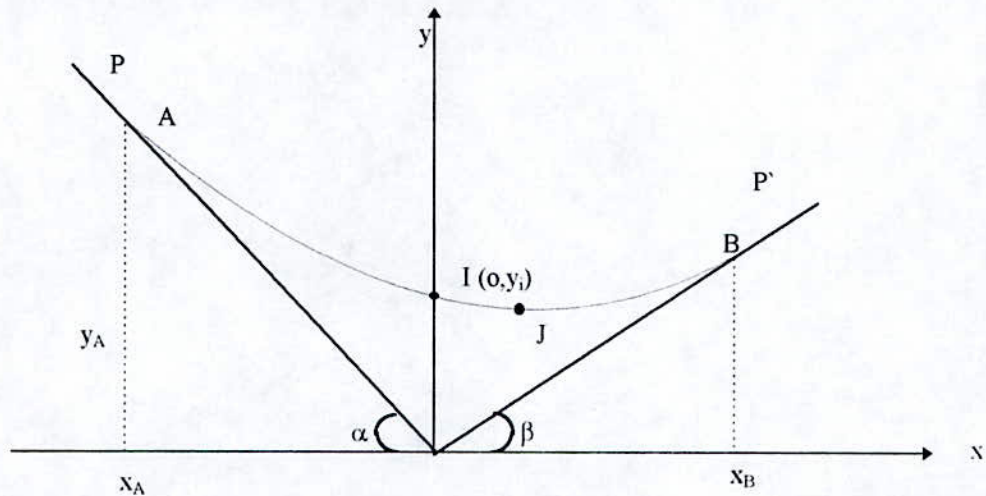


Fig. (I-3)

On a : $P = |tg\alpha|$

$$P' = |tg\beta|$$

R : rayon en angle saillant ou rentrant.

Les points caractéristiques des raccordements circulaires en profil en long sont A,B,I et J, leurs coordonnées par rapport au point d'intersection des deux pentes sont données par les formules suivantes:

$$|X_A| = |X_B| = R \frac{|P \pm P'|}{2}$$

P et P' étant les valeurs absolues des pentes. On les somme si les pentes sont de signes contraires et on les retranche sinon.

$$|Y_A| = P|X_A|$$

$$|Y_B| = P'|X_B|$$

$$X_J = 0$$

$$Y_I = (Y_A + Y_B)/4 \quad (Y_A, Y_B \text{ en valeurs algébriques})$$

$$|X_J| = \frac{R|P - P'|}{2}$$

$$|Y_J| = R \frac{PP'}{2}$$

Remarques :

Les formules ci-dessus donnent des coordonnées en valeurs absolues, le signe de chaque coordonnée sera donné par la figure (I-3)

Le point « J » représente le point le plus haut ou le plus bas du raccordement, il est placé du côté de la plus faible pente. Ce point n'existe pas lorsque les pentes sont de même signe.

I-1-3-PROFILS EN TRAVERS

1-Définition :

Les profils en travers sont l'intersection du terrain avec les plans verticaux normaux à la surface qui contient le profil en long ou bien, c'est les coupes transversales de la chaussée.

On distingue, dans le profil en travers d'une route :

- ***L'emprise*** : Largeur du terrain appartenant au domaine public affectée à la route et à ses dépendances.

- ***L'assiette*** : surface du terrain réellement occupée par la route.

- ***La plate forme*** : surface du terrain qui comprend la ou les chaussées, les accotements et éventuellement les terre-pleins.

- *Les chaussées* : ce sont les bandes de roulement, elles sont soit bidirectionnelles, soit unidirectionnelles.

- *Les fossés* : creux qui bordent longitudinalement un accotement construit en déblai pour collecter les eaux de ruissellement et de drainage.

- *Le Talus* : ligne d'équilibre de la terre. L'inclinaison du talus est en général de 3/2 pour les remblais et 1/1 pour les déblais.[1]

2-Largeur et capacité de la route :

La largeur de la chaussée est essentiellement fonction de l'importance et de l'hétérogénéité du trafic à écouler.

Le projecteur doit choisir successivement la largeur affectée à chaque voie de circulation, puis le nombre de voies nécessaires pour écouler le trafic prévisible.

La largeur affectée à chaque voie de circulation sera fixée en général à 3.50m, plus rarement à 3m.[1]

3-Choix du nombre de voies :

Le choix du nombre de voies résulte de la comparaison entre le débit admissible qui est la capacité de circulation que peut supporter une route, et le trafic prévisible à l'année de saturation, qui est la capacité théorique calculée pour un horizon voulu qui tient compte de l'évolution du parc de véhicules (taux d'accroissement annuel) et des facteurs économiques.

4-calcul des surfaces :

Le calcul de surface est un travail fastidieux et très long qui consiste en l'évaluation de la superficie de figures géométriques simples telles que les trapèzes et les triangles.

Il existe plusieurs méthodes pour effectuer ce travail. La plus simple consiste à réduire tout le profil en travers à une seule figure dont la surface s'exprime par une

formule ne comprenant qu'une seule inconnue (Y) : la différence de niveau sur l'axe entre le terrain et le projet.[3]

En supposant que la ligne horizontale du terrain naturelle et celle de la plateforme sont parallèles, on a pour un profil en déblai (ou en remblai) un trapèze (figure I-4) dont la surface S_d (ou S_r) est donnée par :

$$S_d = 2 * L * Y^2 \quad (I - 13)$$

$$S_r = 2 * L * Y + 3/2 * Y^2$$

avec L : demi largeur de la chaussée

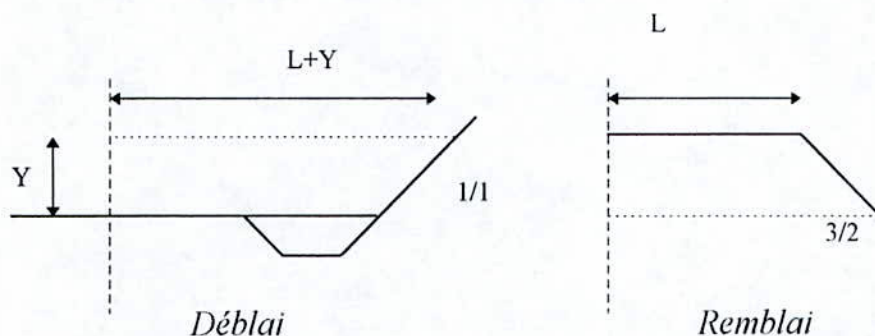


Fig. (I-4)

Il existe aussi des méthodes qui ramènent le calcul de surface à une mesure graphique , tel que la méthode GARCEAU qui suppose que dans le demi-profil le terrain naturel n'a qu'une seule pente.

Ces différentes méthodes s'appliquent à des cas particuliers ou exigent des constructions graphiques.

Des tables de surface ont été établies, dans lesquelles sont indiquées ,pour une largeur de plate forme donnée ,la valeur de la surface connaissant l'inclinaison ω_r ou ω_d de la ligne du terrain naturel sur l'horizontale et la différence de hauteur sur l'axe entre la ligne terrain et la ligne du projet.

Ces tables sont établies au moyen des formules de Fourier. [3] Pour un profil en déblai (fig1-5) :

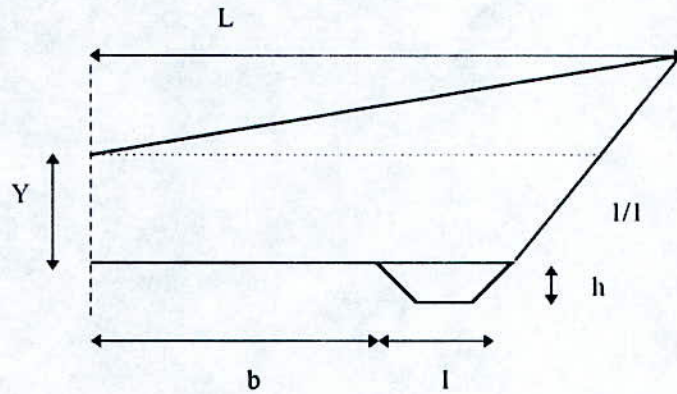


Fig.(1-5)

$$S_d = \frac{[(b+l) * td + Y]^2}{2 * (td - x)} - \frac{(b+l)^2 * td}{2} + \left(1 - \frac{h}{td}\right) * h \quad (I-14)$$

Avec :

$$x = \tan(\omega_d)$$

$$td = \tan(\theta_d)$$

θ_d : l'angle d'inclinaison du talus en déblai

l : largeur du fossé

h : hauteur du fossé

b : demi largeur de la chaussée

L : l'emprise

Pour un profil en remblai (fig I - 6) ,la surface est :

$$S_r = \frac{(b * tr - Y)^2}{2 * (tr + x)} - \frac{b^2 * tr}{2} \quad (I-15)$$

Avec : $x = \tan(\omega_r)$

$tr = \tan(\theta_r)$

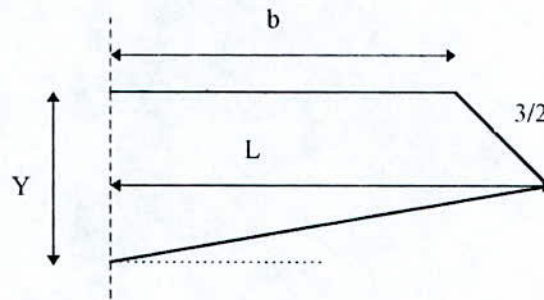


Fig.(1.6)

Nous proposons une autre méthode qui considère le profil en travers comme un polygone à (n) sommets.

En choisissant un sens de rotation de la numérotation des sommets, la surface du polygone sera calculée suivant la formule (I-16).

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{(x_{i+1} - x_i)(y_{i+1} + y_i)}{2} \quad (I-16)$$

(x_i, y_i) étant les coordonnées des sommets

I-2- Problématique de l'optimisation des profils en long

I-2-1-Définition et généralités :

L'optimisation d'une liaison routière est définie comme étant la minimisation du coût d'un projet. (ex : coût des terrassements) tout en satisfaisant certaines exigences (normes de conception) sous des contraintes données (points fixes).

Par conséquent, l'optimisation dans la conception implique le plus souvent la recherche d'un emplacement optimal du profil en long et en plan.

Toutefois, on axe l'optimisation sur le profil en long, le tracé en plan étant fixe en raison des carrefours, des zones urbaines...etc. X

Le profil en long, comprend celui du terrain naturel et celui du projet ; il donne une première idée des terrassements à effectuer.

Quand la ligne du projet est au dessous de celle du terrain, sa réalisation nécessite de retirer les terres et les granulats, c'est-à-dire faire des «déblais».

Dans le cas contraire, quand la ligne du projet est au-dessus de celle du terrain, il y a lieu d'apporter des terres; c'est à dire faire des «Remblais».

Il est naturel d'utiliser, pour les remblais, les terres provenant des déblais quand elles sont de nature à le permettre.

Quand les déblais sont en excès, on les transporte vers des endroits dits «Dépôts» ; si au contraire après emploi des déblais du projet, il manque encore des terres pour exécuter les remblais, on en amènera de l'extérieur en des endroits dits «Emprunts».

Toutes ces opérations nécessitent le transport ou «Mouvement de terres» qui entraînera une dépense proportionnelle aux quantités transportées et à la distance parcourue pendant le transport.

Dans l'élaboration d'un projet, l'optimisation du profil en long se fait en visant à minimiser les travaux de terrassements (cubatures) et en essayant d'arriver à une compensation des remblais déblais par des pentes et rampes convenablement étudiées.

Cette compensation se traduit par la relation : $V_D = V_R$

V_D : Volume total en déblai

V_R : Volume total en remblai

Il faut souligner qu'on ne peut accepter cette règle ($V_D = V_R$) comme absolue. D'abord cette compensation est fictive, la représentation des profils en travers du terrain n'étant qu'approchée. En outre, les terres sont hétérogènes et le foisonnement est variable. Enfin, souvent la compensation amène à des transports compliqués, plus coûteux que la création d'un dépôt ou d'un emprunt.

I-2-2-Méthode de calcul des cubatures :

La cubature des terrassements consiste à évaluer le volume de terre à enlever, ou à rapporter, entre deux profils en travers consécutifs. Le volume est un solide appelé - « Entre - profil », délimité d'une part par la surface du terrain, d'autre part par la surface de la voie projetée et enfin, par les deux plans verticaux contenant les profils en travers.

Il existe plusieurs méthodes pour calculer le volume des entre - profils : la méthode exacte, la méthode de l'aire moyenne et la méthode de la moyenne des aires.

Nous allons développer ici, la dernière méthode qui est la plus employée dans les travaux publics.

Cette méthode consiste dans l'évaluation approximative du cube des terres compris entre deux profils, en faisant le produit de la moyenne des sections de chacun d'eux par la longueur de l'entre - profil.

Exemple :

$$V = \frac{(S + S_1)}{2} L + \frac{(S_1 + S_2)}{2} L_2 + \frac{(S_2 + S_3)}{2} L_2$$

$$V = S \frac{L}{2} + S_1 \frac{(L + L_1)}{2} + S_2 \frac{(L_1 + L_2)}{2} + S_3 \frac{L_2}{2}$$

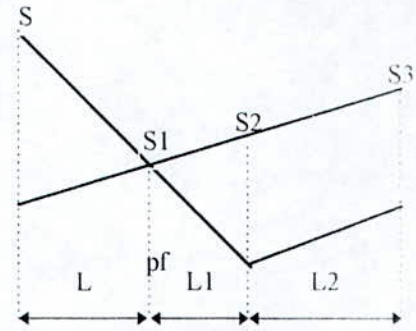


Fig.(1-7)

cette disposition admet implicitement que les volumes peuvent être évalués comme s'ils étaient des solides prismatiques ayant pour base la surface du profil considéré et pour hauteur la demi - somme des deux entre - profils entre lesquels ce profil se trouve compris.

On voit que le profil fictif (P.F) entre en ligne de compte comme un rectangle de hauteur nulle, et de base la somme des demi - longueurs des entre - profils qui l'encadrent.

En général, et pour un itinéraire quelconque de n profils :

$$V = \sum_{i=0}^n S_i (L_{i-1} + L_i) / 2 \quad (I-17)$$

avec $L_{-1} = L_n = 0$

I-3-Introduction des outils informatiques pour l'étude des projets routiers :

Depuis le début des années soixante, l'utilisation des ordinateurs est devenue de plus en plus importante dans le domaine de la conception des routes .Au début , les applications sur ordinateurs étaient principalement des calculs de routine précédemment effectués manuellement. Mais, au cours des années, et avec le développement extraordinaire qu'a connu l'ordinateur, tout le processus de conception et les méthodes de calcul ont été informatisés.

Ainsi, la deuxième phase de l'évolution a permis à de nombreux pays et organismes de produire des suites plus ou moins complètes de programmes couvrant

tout le domaine de la conception[4], des procédures géodésiques et cartographiques jusqu'à l'optimisation des terrassements. Les principales applications des méthodes par ordinateurs dans le secteur de la conception des routes ont eu lieu pour les points suivants :

a- Calculs du tracé en plan :

- définition du tracé en plan, comprenant l'ajustage de ses éléments ;
- traitement des courbes de raccordement ;
- distances et points d'intersections entre deux tracés (géométrie des échangeurs).

b- Manipulation de données de terrain en utilisant des modèles numériques :

- formulation de modèles numériques de terrain.
- dérivation des profils en long et en travers du terrain à partir d'un modèle numérique, le long d'un tracé en plan donné.
- traitement de différents types de sols.

c- calculs du profil en long :

- définition de tracé en long y compris l'ajustage des éléments.

d- calculs de données de profils en travers :

- détermination des points d'intersection entre le profil en travers et le terrain,
- prise en considération automatique du dévers,
- largeurs variables des routes avec des chaussées à niveaux différents.

e- calculs des terrassements

- en utilisant des données de profils en travers.

f- dessin automatique :

- graphiques des profils en plan et en long.
- Plans des ouvrages.
- Dessins en perspective.

Certains logiciels sont capables de calculer très rapidement la géométrie d'une route et, par conséquent, les volumes de terrassement à entreprendre ce qui permet alors au projeteur d'examiner un nombre considérable de tracés. D'autres logiciels poursuivent les recherches indépendamment du projeteur après que celui-ci ait préparé les données. Le système utilise des techniques mathématiques d'optimisation.

De tels systèmes peuvent permettre une économie de temps importante et de chercher et calculer des tracés notablement plus économiques.

A titre d'exemple, on mentionne :

Le logiciel MACAO qui est totalement informatisé pour la conception des tracés routiers et autoroutiers [4]. Il permet d'optimiser toutes les étapes d'une étude, depuis les études préliminaires jusqu'aux plans finaux .

La caractéristique principale de ce logiciel est son interactivité graphique très poussée, tant au niveau des phases de conception qu'au niveau de la production des plans.

Il faut souligner tout de même, et prenant comme exemple la société algérienne d'études techniques et d'infrastructures (SAETI) ; que les logiciels utilisés en Algérie sont souvent de vieux programmes convertis, réalisés à l'étranger, car, l'acquisition de nouveaux logiciels performants nécessite d'importants moyens financiers.

Ainsi, le développement de l'informatisation routière au sein d'un pays en voie de développement comme l'Algérie est lent jusqu'à présent.

Chapitre II

AIDE A LA CONCEPTION DES
PROJETS ROUTIERS

II-1-PROBLEMATIQUE DE LA MODELISATION DE RELIEF

II-1-1- Formulation du problème :

Nous voulons, à partir d'une représentation du terrain (cartes topographiques), donner une approximation correcte de la côte d'un point quelconque. Il nous sera alors possible de calculer les côtes terrain naturel de tous les points caractéristiques d'un projet d'aménagement.

Au stade de l'avant-projet on utilise des cartes à faible échelle où figurent les courbes de niveau et les côtes de certains points remarquables. Ces cartes vont servir à élaborer un semis de points. C'est un ensemble de N points de coordonnées planes (x_i, y_i) et de côtes z_i connues. Le semis est une représentation discrète du terrain de la zone considérée.

C'est l'image matérielle du relief qui sera prise en compte et à partir de laquelle nous pouvons donner une bonne approximation de la côte d'un point quelconque.

Cette image matérielle ou modèle numérique, sera déterminée par l'une des méthodes ci-dessous :

1- Méthodes partielles :

• Méthode des bandes :

La zone d'étude est découpée par un faisceau de droites parallèles. Sur chaque droite on lève un ensemble de points (x_i, y_i) de côtes connues (z_i) (en général, c'est les points d'intersection de la droite avec les différentes courbes de niveau) . On effectue alors une approximation polynomiale ou par série de Fourier des points de chaque droite et on obtient une série d'approximations parallèles.

Le calcul de la côte d'un point quelconque se fait par interpolation linéaire dans une direction perpendiculaire aux bandes. Cette méthode a l'avantage d'utiliser des

approximations unidimensionnelles (degrés de polynômes moins élevés que d'autres méthodes) mais elle privilégie l'approximation dans la direction des bandes, ce qui réduit le domaine de son utilisation à des reliefs dont les courbes de niveau sont nettement orientées dans une direction. X

• *Méthode du semis partiel de points :*

La base de départ est un semis (x_i, y_i, z_i) de N points. La côte d'un point quelconque M est conditionnée en fonction par les côtes des points du semis appartenant à un voisinage de ce point. Ce voisinage peut être un disque de centre (M) et de rayon (R) .

Les points du semis situés dans ce voisinage sont approximés par une surface mathématique simple.

La méthode détermine donc l'équation $Z = f(x, y)$ et une surface permettra le calcul direct de la côte de M (centre du disque).

L'inconvénient de cette méthode est que le volume de calcul est souvent très important car on calcule une surface mathématique pour chaque point dont on veut connaître la côte. X

De plus, il faut superposer les voisinages par l'évolution de points proches.

2- Méthode globale : *L'approximation par facettes*

Cette méthode permet d'évaluer la côte d'un point M en fonction de son voisinage. Contrairement à la méthode précédente, les voisinages sont juxtaposés.

La base de départ de la méthode globale est un quadrillage. Chaque rectangle est appelé facette. Pour chacune d'elle l'image partielle du terrain est définie par une surface réglée par deux droites orthogonales s'appuyant sur les bords de la facette (segments droits) le sens du quadrillage est choisi par l'opérateur. Les intersections des droites du maillage sont appelées sommets du quadrillage.

L'idée essentielle est de calculer la côte d'un point M à partir des côtes des quatre sommets de la facette le contenant. Les côtes des sommets sont calculées à partir du semis de points et à l'aide d'une méthode de moindre carrés.

Résolution numérique du modèle :

Nous disposons d'une facette caractérisée par ses quatre sommets A,B,C,D de côtes connues.

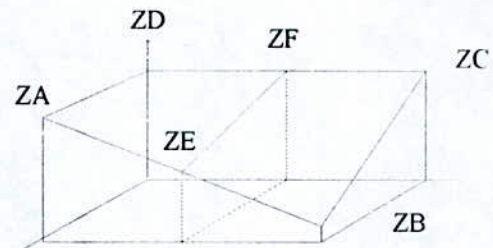
Nous définissons l'image du relief

dans la facette comme la surface réglée

engendrée par la droite (ZE, ZF)

s'appuyant sur les génératrice (ZA, ZB) et

(ZC, ZD) .



La côte ZM se calcule alors de la façon suivante : **FIG (II-1)**

$$ZM = \mu ZE + (1 - \mu)ZF \quad (I-1)$$

Avec :

$$ZE = \lambda ZB + (1 - \lambda)ZA$$

$$ZF = \lambda ZC + (1 - \lambda)ZD$$

X

Et :

$$\lambda = \frac{Y_M - Y_A}{Y_B - Y_A} = \frac{Y_M - Y_D}{Y_C - Y_D}$$

$$\mu = \frac{X_M - Y_D}{Y_A - X_D} = \frac{X_M - X_C}{X_B - X_C}$$

a- Calcul des côtes des sommets :

La méthode de calcul utilisée pour calculer les côtes des sommets est une méthode de moindres carrés. Elle consiste à déterminer les valeur ZS (côtes de sommets) pour avoir la quantité E minimale.

$$E = \sum_{i=1}^N [z_i - Z_i]^2 \quad (II-2)$$

Avec :

E : la somme de carrés des écarts sur les points du semis.

Z_i : côte du point i (x_i, y_i) de côte vraie z_i , calculée à l'aide des côtes des quatre sommets de la facette contenant i .

E : est donc une fonction des côtes (ZS) de tous les sommets.

Etant donné le nombre important de variables de la fonction E , la minimisation de cette fonction se fera par la méthode du gradient.

b- Méthode du gradient :

Cette méthode a pour but de trouver un optimum en se déplaçant dans une direction de descente.

Cette direction est mathématiquement définie par le gradient de la fonction objet (dans notre cas, c'est la fonction (II-1)).

Le schéma itératif de cette méthode est :

$$ZS_k^{n+1} = ZS_k^n + \alpha \frac{\partial E(ZS)^n}{\partial ZS_k} \quad (II-3)$$

k : 1, mxp (sommets du quadrillage).

n : rang de l'itération

$$\frac{\partial E(ZS)^n}{\partial ZS_k} \text{ vecteur gradient de la fonction } E$$

Cette méthode passe donc d'un estimé $ZS_k^{(n)}$ à l'estime suivant $ZS_k^{(n+1)}$, en suivant la direction de plus grande pente de E au point $ZS_k^{(n)}$ ($\frac{\partial E}{\partial ZS_k}$ définit une direction de descente, α est le pas de descente).

On choisit α tel que : $E(ZS)^{n+1} < E(ZS)^n$

calcul du vecteur gradient se fait comme suite :

$$\frac{\partial E}{\partial ZS_k} = -2 \sum_{i=1}^N [z_i - Z_i] \frac{\partial Z_i}{\partial ZS_k} \quad (\text{II-4})$$

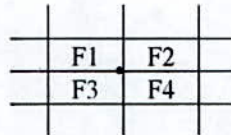


Fig.(II-2)

Remarquons tout d'abord que $\frac{\partial Z_i}{\partial ZS_k}$ est nul pour tout point i n'appartenant pas à l'une des quatre facettes (F1, F2, F3, F4) entamant le sommet k .

Nous obtenons alors :

$$\frac{\partial Z_i}{\partial ZS_k} = \begin{cases} \lambda_i \mu_i & \text{Si le point } i \in F1 \\ (1 - \lambda_i) \mu_i & \text{Si le point } i \in F2 \\ \lambda_i (1 - \mu_i) & \text{Si le point } i \in F3 \\ (1 - \lambda_i) (1 - \mu_i) & \text{Si le point } i \in F4 \end{cases} \quad (\text{II-5})$$

λ_i, μ_i scalaires définis précédemment.

Comme toute méthode itérative nécessite la connaissance d'une solution initiale, la valeur initiale donnée à ZS_k est obtenue en faisant la moyenne arithmétique

des points du semis appartenant aux facettes F1, F2, F3, F4 et nous aurons une convergence jusqu'à ce que : $\left\| \frac{\partial E^{(n+1)}}{\partial ZS_k} \right\| < \varepsilon$.

II-2- METHODOLOGIE RETENUE POUR LE TRACE EN PLAN ET LE PROFIL AU LONG:

II-2-1- Tracé en plan :

Après avoir élaboré un quadrillage adéquat sur une carte topographique (1/1000), et relevé les coordonnées des points du semis dans le repère (x,y) du quadrillage ; nous voulons maintenant calculer puis dessiner le tracé en plan et les profils en long de la route.

Tout d'abord, se pose le problème du choix d'un tracé qui présente une économie globale maximale en ce qui concerne la construction et les terrassements, et, qui obéit aux contraintes imposées à la géométrie du projet.

Ceci étant fait, l'axe de la route sera défini par une succession de droites qui seront par la suite raccordées entre elle par des arcs de cercles et des clothoïdes.

Les coordonnées (x_i, y_i) des points d'intersection des droites seront relevées par rapport au repère (x,y).

L'angle θ_i compris entre deux droites consécutives est calculé comme suit :

$$\theta_i = \alpha_{i+1} - \alpha_i$$

$$\text{avec} \quad \alpha_i = \arctg\left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}\right)$$

Le cercle primitif est défini par son rayon en plan R qui est choisi dans un fichier de données en fonction de la vitesse de référence et la catégorie de la route, ou entré directement par l'utilisateur, et par ses points caractéristique T T` tels que :

$$|CT| = |CT'| = R \operatorname{tg} \frac{\theta_i}{2} \quad (\text{II-6})$$

Les coordonnées de ces points seront elles aussi rapportées dans le repère du quadrillage.

Arrive ensuite la phase de calcul de la clothoïde et des dévers; là, nous choisissons soit de faire entrer directement les longueurs de clothoïde, soit de les calculer automatiquement à partir des formules (II-7) proposées sur 'le manuel du projecteur B40' tel que l'on vérifie les conditions d'optique, de gauchissement, et de confort quelle que soit la catégorie de la route:

Pour $R \leq 1500\text{m}$ on prend $\Delta R = 0.5\text{m}$ et $L = \sqrt{24R\Delta R}$

Pour $1500 \leq R \leq 5000\text{m}$, on prend $\Delta R = 1.75\text{m}$ et $L = \frac{R}{9}$ (II-7)

Pour $R > 5000\text{m}$, on prend $\Delta R = 2.5\text{m}$ et $L = 7.75\sqrt{R}$

ΔR : le ripage.

Puis, on définit les points caractéristiques de la clothoïde (A, M, B) tel que leurs coordonnées par rapport au point T sont :

$$A \begin{cases} -L/2 \\ 0 \end{cases}; \quad M \begin{cases} 0 \\ \Delta R/2 \end{cases}; \quad B \begin{cases} L/2 \\ 4\Delta R \end{cases}$$

Enfin, on s'assure qu'il n'y a pas chevauchement de deux clothoïdes en vérifiant la relation (II-8)

$$\alpha_0 = \frac{L}{2R} > \frac{\theta}{2} \quad (\text{II-8})$$

Le calcul d'axe étant ainsi terminé, les coordonnées des points caractérisant cet axe seront stockées dans un fichier.

On fait appel ensuite à une suite d'instructions graphiques qui vont relier les points de ce fichier par différentes figures géométriques. (droites et cercles)

II-2-2- Profil en long:

En premier lieu, nous allons approximer les côtes des points caractéristiques de l'axe de la route. On crée ainsi un fichier contenant : d'une part les distances cumulées des points et d'autre part leurs côtes.

Nous disposons maintenant des données qui nous permettent en passant sur GRAPHER de tracer le profil naturel de la route.

Le problème qui se pose à ce stade, c'est comment choisir la ligne du projet ou *ligne rouge*.

Le choix de passage de cette ligne reste du ressort de l'ingénieur, cependant il doit être conforme aux normes requises pour le projet (pentes, rayons) et doit permettre d'exécuter le minimum de terrassements.

On relève ensuite les points de passages de la ligne rouge et on fait les calculs des raccordements paraboliques du profil en long (les rayons des paraboles sont donnés par l'opérateur).

Au terme de toutes ces opérations, en plus de la réalisation et du calcul des profils en long du terrain naturel et du projet, on aura un fichier qui contient toutes les données pour le calcul des sections des profils en travers (côtes au centre, à droite et à gauche de la chaussée).

II-3 Méthodologie retenue pour les profils en travers et calcul de cubatures:

Pour le calcul des surfaces des profils en travers, nous avons opté pour la méthode des polygones. Cette méthode donne des résultats assez proches de la réalité.

Cette méthode nécessite la connaissance des trois côtes du terrain naturel Z_{rc} , Z_{rd} , Z_{rg} qui sont respectivement les côtes au centre, à droite et à gauche de la chaussée, et la côte Z_p du projet (Lues sur fichiers).

La surface d'un profil en déblai (ou en remblai) est donnée par :

$$S = \sum_{i=1}^5 S_i / 2 \quad (\text{II-9})$$

Avec:

$$S_1 = (q + L/2)(Z_{rc} + Z_g)$$

$$S_2 = (q + L/2)(Z_d + Z_{rc})$$

$$S_3 = -q_1(Z_p + Z_d)$$

$$S_4 = -L(Z_p + Z_p)$$

$$S_5 = -q$$

L : largeur de la chaussée

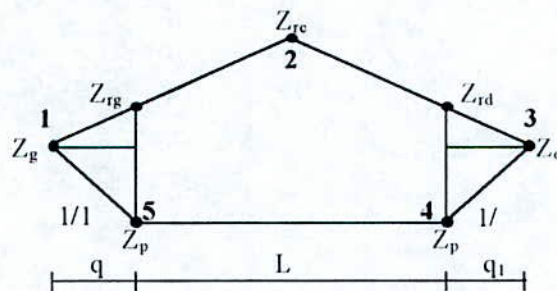


Figure II-3

Z_g , Z_d , q , q_1 : sont déterminées à partir de la Figure II-3

Pour les profils mixtes (Figure II-4), les calculs des surfaces des déblais ou des remblais se font séparément, de la manière suivante:

$$S = \sum_{i=1}^3 S_i / 2 \quad (\text{II-10})$$

$$S_1 = (x+q)(Z_p + Z_g)$$

$$S_2 = -(L-x)(Z_p + Z_p)$$

$$S_3 = -q(Z_p + Z_g)$$

x : largeur du remblai

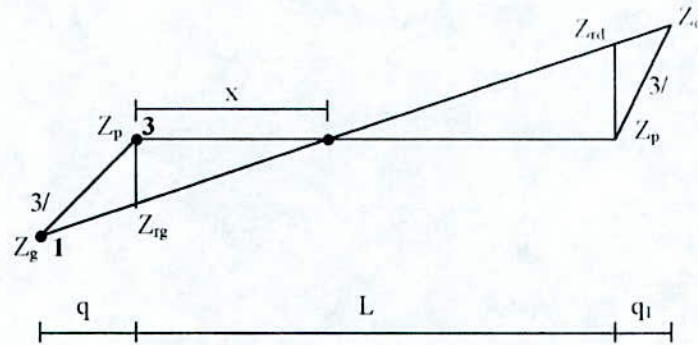


Figure II-4

Le calcul de surface étant fini, on passe au calcul des volumes en utilisant la formule de la moyenne des aires (I-17).

Chapitre III

LE SYSTEME REALISE

III-1- ARCHITECTURE GENERALE :

Le système conçu est un système de conception et projection des routes en APS, les objectifs de ce système sont les suivants :

- Visualisation automatique et directe sur écran des éléments du projet (tracé en plan, profils en long terrain et projet) ;
- Possibilité de correction des éléments du projet.

Les fonctions de ce logiciel sont :

- Projet d'un tracé en plan (lignes droites, clothoïdes, cercles) en utilisant la bibliothèque graphique du fortran ;
- Réalisation automatique d'un profil en long du terrain ;
- Tracé de la ligne du projet, en transférant les données du terrain naturel sur GRAPHER ;
- Définition d'un profil en travers type de la route ;
- Calcul des volumes de terre.

Il est construit autour de trois programmes essentiels qui sont prévus pour :

- L'approximation du relief naturel (donner la côte de n'importe quel point se trouvant dans un quadrillage établi auparavant).
- La conception du projet qui repose sur la définition des deux éléments : l'axe en plan et le profil en long ;
- La modélisation des profils en travers types et le calcul des volumes de remblais et de déblais.

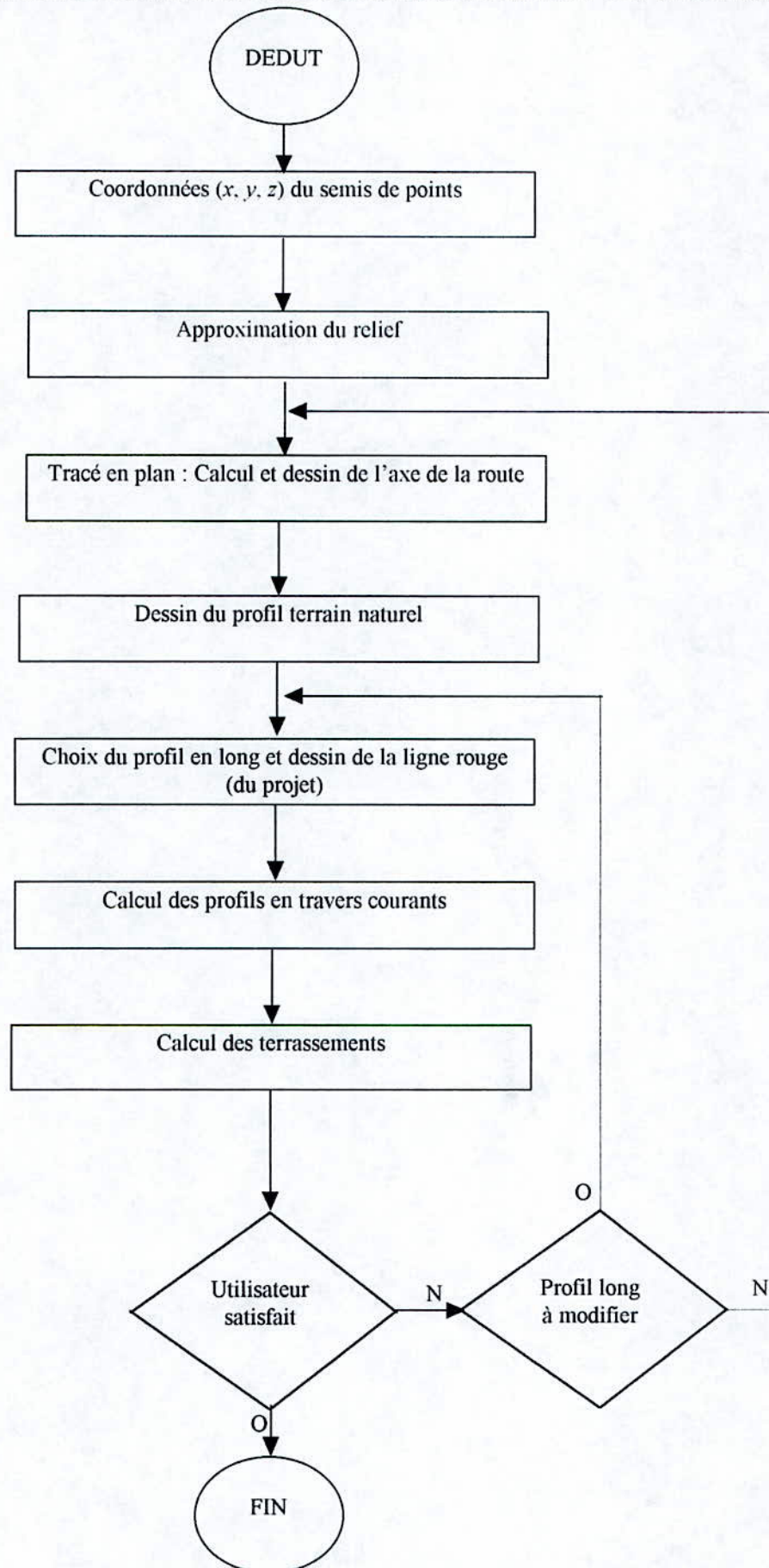
Le fonctionnement de ce système s'appuie sur le principe du dialogue continu entre l'homme et l'ordinateur, il affiche à chaque étape les résultats des calculs partiels et donne la possibilité de corriger ou de changer certaines données.

Par exemple, si les valeurs introduites ne sont pas en règle avec l'instruction sur les conditions d'aménagement, le logiciel donne les informations indispensables, mais les valeurs ne sont pas rejetées d'office. Le choix définitif, rejeter ou approuver, reste du ressort de l'utilisateur.

Un des plus grand avantages de ce systèmes est la visualisation directe sur écran de tous les éléments de la route. On peut introduire à tous les stades de l'étude des éléments géométriques élémentaires définissant l'axe de la route.

Le système crée différents fichiers (approximation de relief, tracé en plan, profil en long) qui peuvent être modifiés ou regroupés.

ORGANIGRAMME GENERAL DU FONCTIONNEMENT DU SYSTEME



III-2 Domaines et limites

Le système conçu est utilisé pour un seul intervenant qui est les volumes de terrassement dans la phase préliminaire d'un projet routier, il est fiable pour les terrains qui ne présentent pas une très grande perturbation (relativement plats).

Ce logiciel ne fait automatiquement que les calculs demandés, il n'y a ni procédure d'optimisation, ni procédure de conception automatisée. Il assure une aide efficace mais ne remplace pas la décision du projeteur.

La vitesse de traitement des fichiers donne la possibilité de vérification graphique et numérique très rapide de tous les éléments projetés.

III-3- Description des différents modules :

Le système conçu comporte les programmes suivants :

- **Aprox5.for** :

C'est un programme réalisé par M. MIRAMOND, M. J-C MANGIN et M. J-DUFAU (laboratoire méthode, département GENIE-CIVIL urbanisme INSA-LYON) pour l'approximation de relief.

Il utilise les sous programmes suivants :

- *affected* : sa fonction est d'affecter chaque point du semi à la facette qui lui correspond.

- *klas* : arrangement des points du semi dans le quadrillage en fonction de leurs coordonnées.

- *ecart* : calcul des côtes de sommets du quadrillage.

- *detect* : détecte les facettes entourant chaque sommet.

- *vgrad* : minimise la fonction E.

- *point* : lecture des coordonnées de points pour lesquels il doit calculer les côtes.

- *eval* : calcul des côtes de point.

- **Trace.for** :

Affiche tous les rayons (rayon minimal normal etc.) et leurs dévers associés pour différentes catégories de routes.

- **Plan.for** :

Programme permettant d'effectuer tous les calculs relatifs au tracé en plan et profil en long de la route.

- **Dessin.for** :

Permet de visualiser le tracé en plan.

- **Long.for**

Visualisation du profil en long terrain naturel et établissement de la ligne rouge.

- **Surface.for** :

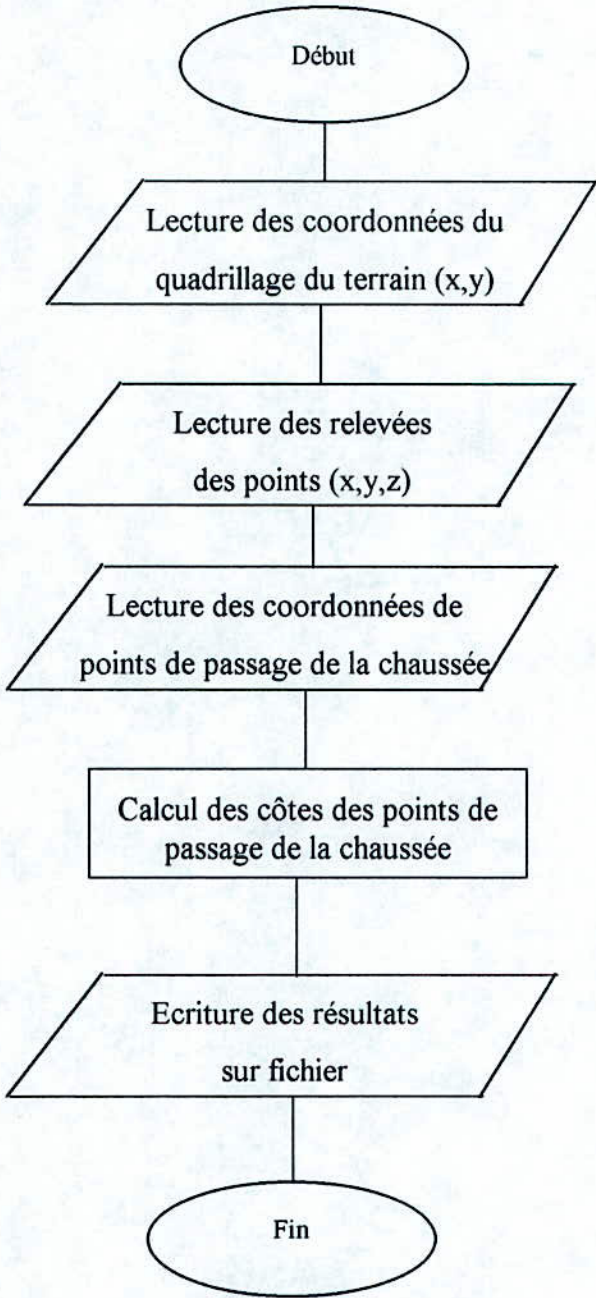
Calcul de surface des profils en travers.

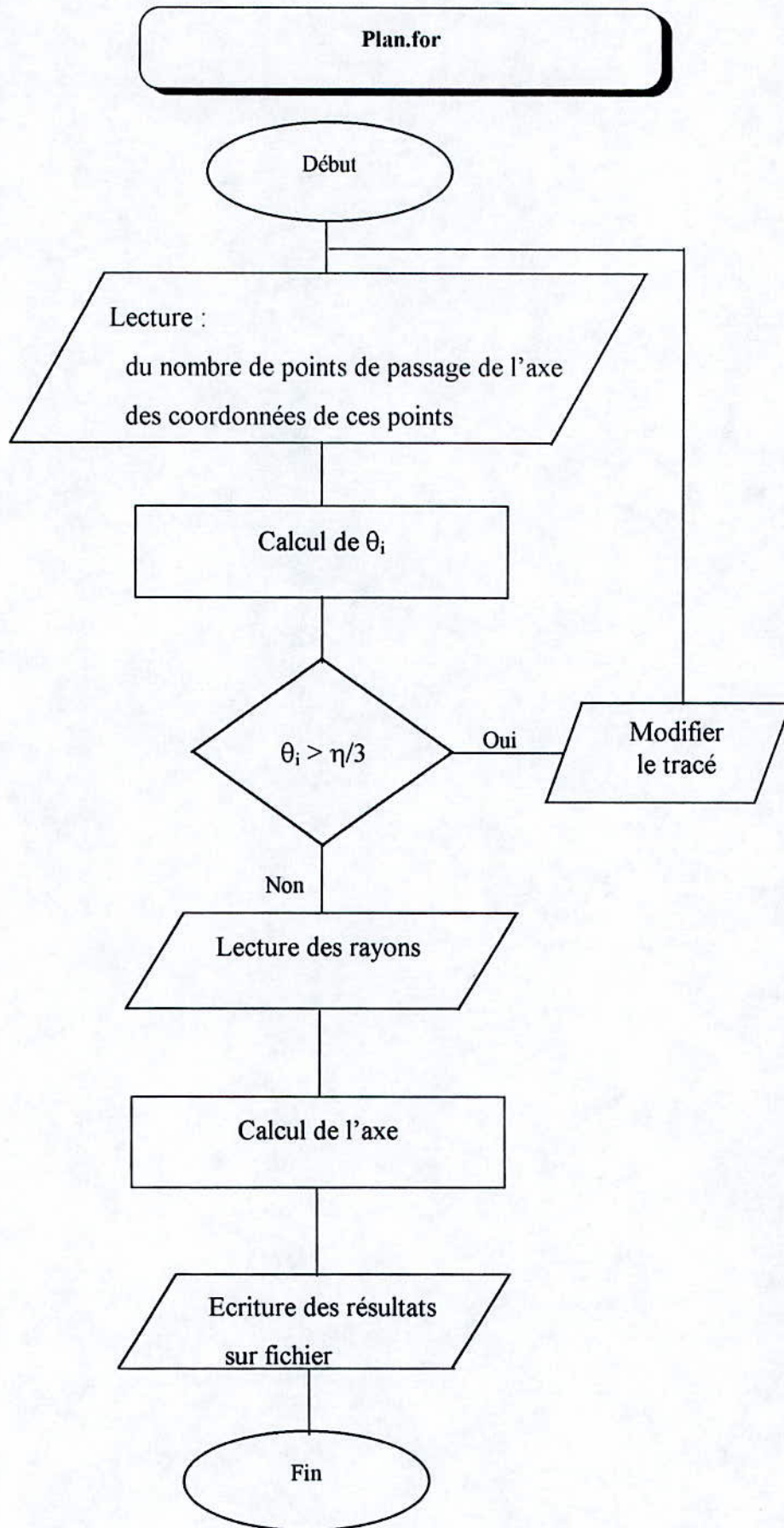
- **Cubature.for** :

Calcul des volumes de terrassements.

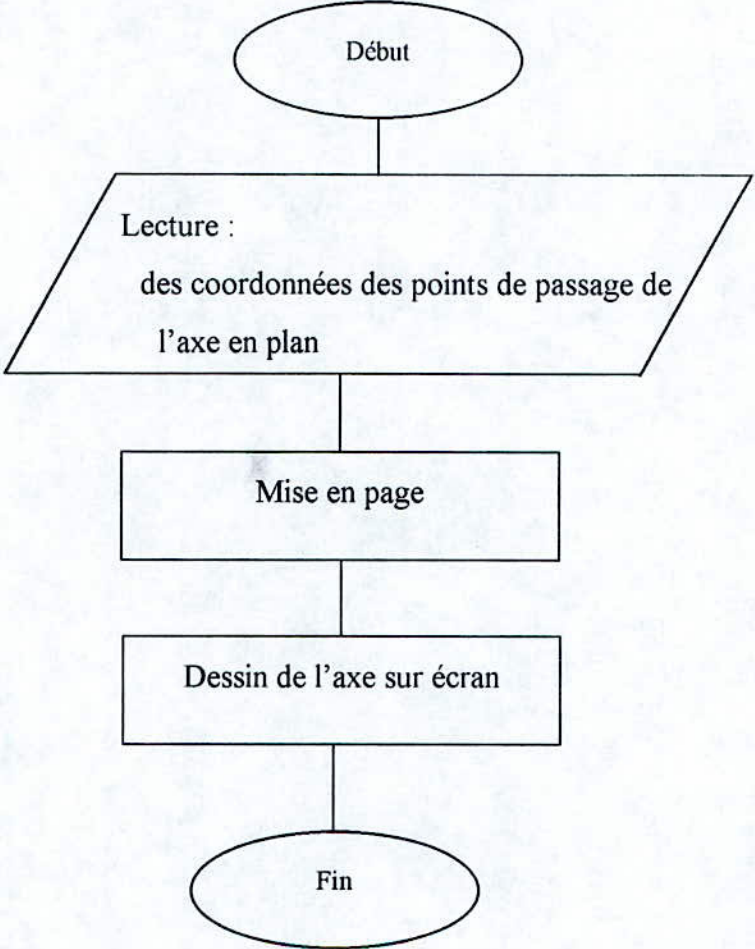
Le fonctionnement des étapes principales des programmes est illustré sous forme d'organigrammes :

Aprox5.for

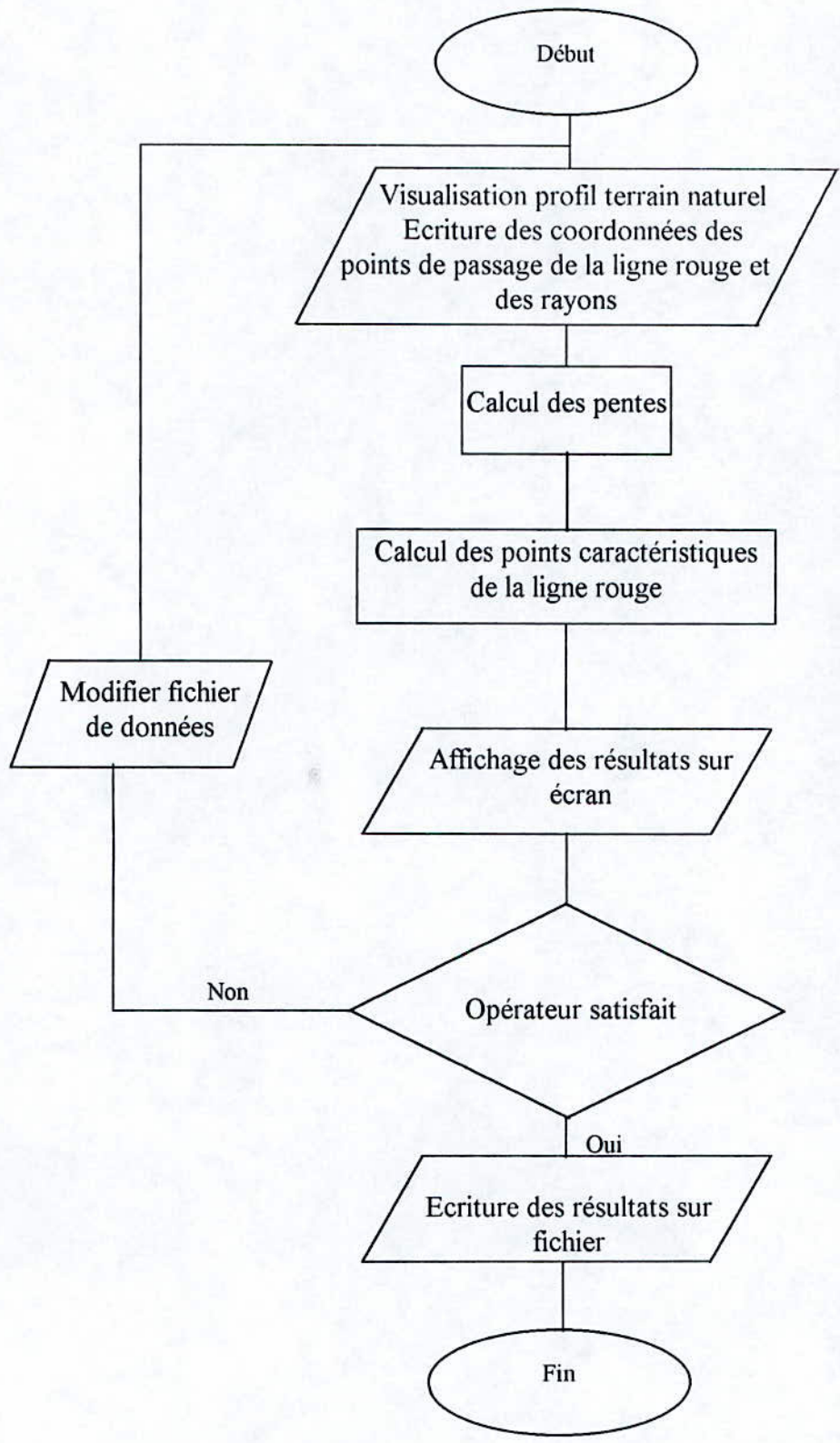




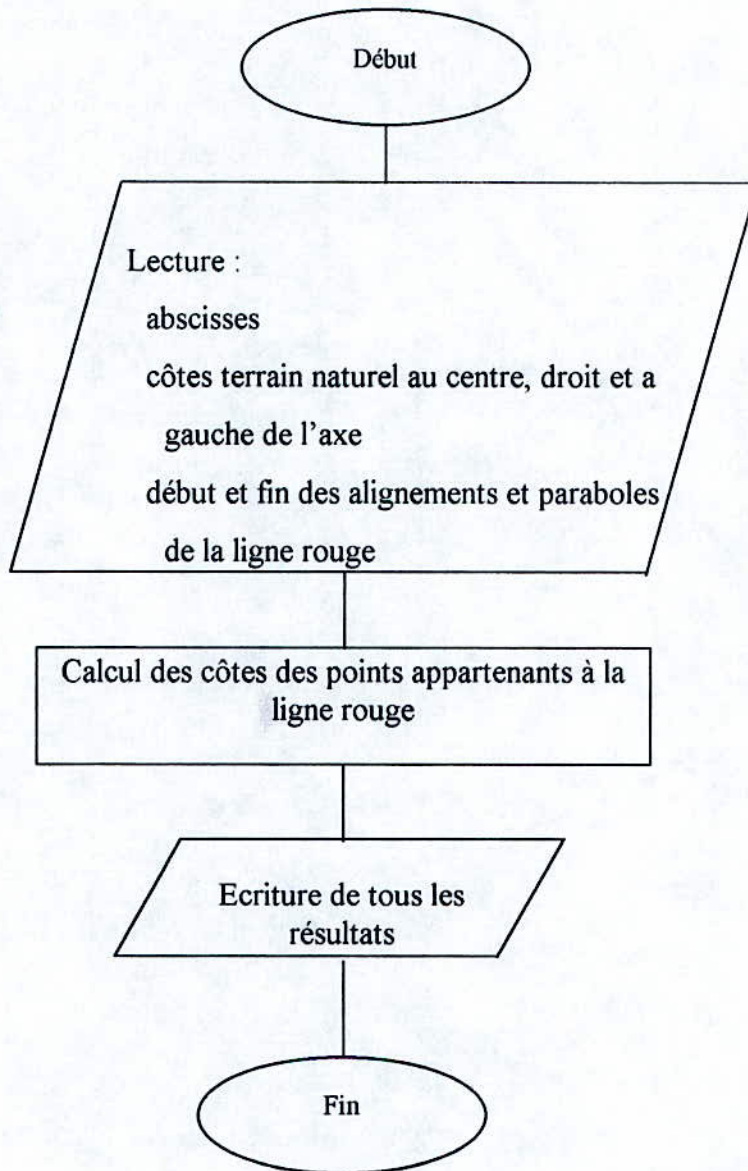
Dessin.for



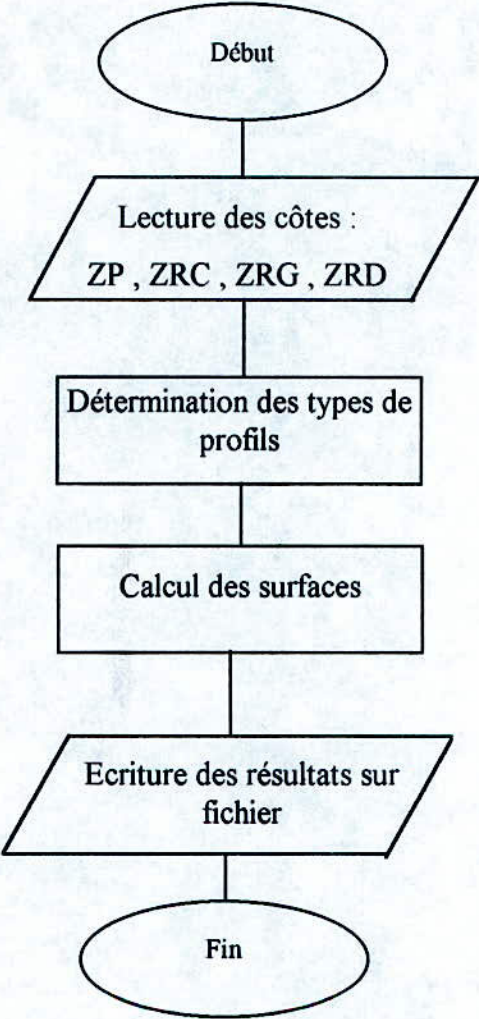
long.for



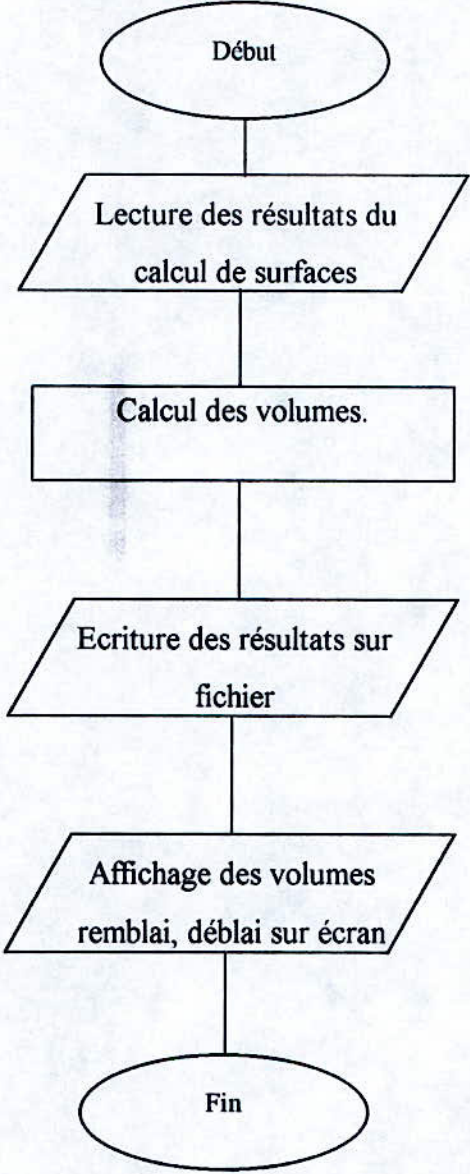
Parabole.for



Surface.for



Cubature.for



Chapitre IV

EXEMPLE AVEC CRITIQUE DES
RESULTATS

IV-1 Description de l'exemple :

Pour illustrer le fonctionnement de notre système nous avons pris, en accord avec la SAETI, un tronçon situé dans la région de Bordj-Bou-Arriidj entrant dans le cadre de la réalisation de l'auto route Est-Ouest.

Ce tronçon a fait l'objet d'un calcul à la SAETI par le logiciel Français PISTE qui a été conçu en 1992 pour le calcul des routes en avant projet sommaire et en avant projet détaillé.

Pour vérifier la précision de notre système et pour que les résultats obtenus soient comparables à ceux du PISTE, nous avons pris les mêmes données que la SAETI, à savoir :

- Nombre de voies : 2
- Largeur de la voie : 3.5m
- Accotement: 2.25m
- Fossé pour les déblais : 1m
- Inclinaison du talus : 1/1 pour les déblais
3/2 pour les remblais
- Dévers transversal : 0
- Environnement 2
- Catégorie 2
- Vitesse de référence 60km/h

IV-2 Comparaison des résultats :

1- L'approximation du relief :

En premier lieu, nous avons établi un quadrillage sur la carte topographique de la zone où est implantée la route .(fig IV-1).

Ce quadrillage doit être fait avec précision puisque c'est un élément très important dans l'approximation des cotes du relief. Il doit être fait de façon à avoir un maillage assez serré dans les zones où nous avons des courbes de niveau proches les unes des autres et un maillage plus relâché dans le cas contraire et en même temps, ne avoir de facettes vides. Puis, nous avons relevé les coordonnées (x;y) de ce quadrillage.

Ensuite, nous avons relevé les coordonnées (x, y, z) de 700 points relevés des courbes de niveau et repartis plus ou moins équitablement dans les facettes.

Toutes ces coordonnées ont été écrites sur des fichiers de données.

Pour vérifier la précision du calcul de l'approximation de relief , nous avons superposé les profils du terrain naturel suivant l'axe de la route; d'une part de notre système et celui du PISTE (figIV-2); et d'autre part de notre système et celui obtenu par interpolation linéaire des côtes (relevé manuel) (fig IV-3).

A partir des deux figures citées ,nous constatons que nous avons une bonne approximation des côtes dans l'ensemble ,sauf dans la région (200m-400m) où nous sommes en présence d'un faux plat c'est à dire des pentes douces de sens opposés.

Remarque: Tous les calculs relatifs à l'approximation de relief sont dans l'annexe A.

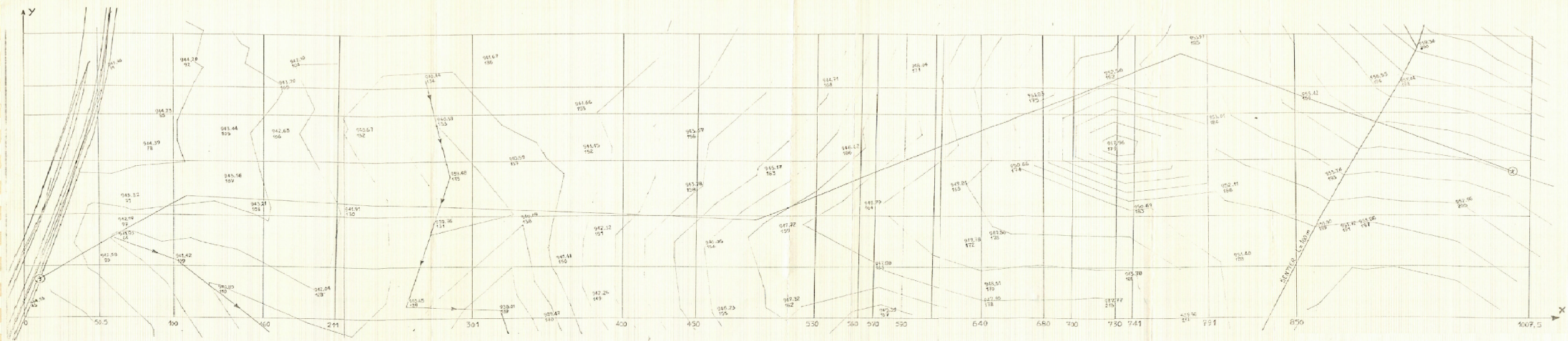


Figure IV.1

N° DE LA REVISION	NATURE DE LA REVISION	SIGNATURE
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE L'EQUIPEMENT DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS AUTOROUTE EST - OUEST TRONCON BBA - Limite Est Wilaya de BBA AVANT PROJET DETAILLE PLAN TOPOGRAPHIQUE COURBES DE NIVEAUX		
ETABLI	N° DU PROJET	DATE
DESINE	1432	1 / 37
VERIFIE	DECEMBRE 1994	
VIS	S.A.E.T.I.	
ET-FILE	SOCIETE ALGERIENNE D'ETUDES, RECONSTRUCTIONS ET DE TRAVAUX PUBLICS ALGER	

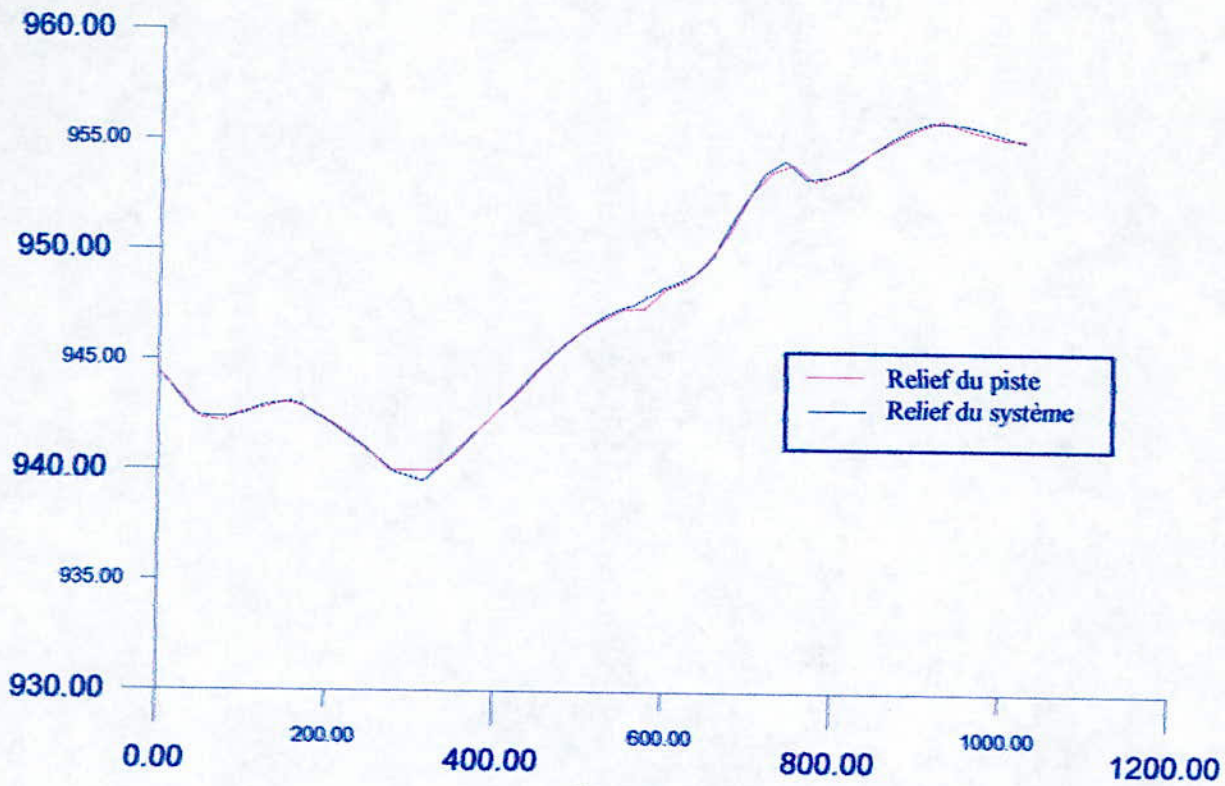


Figure IV-2

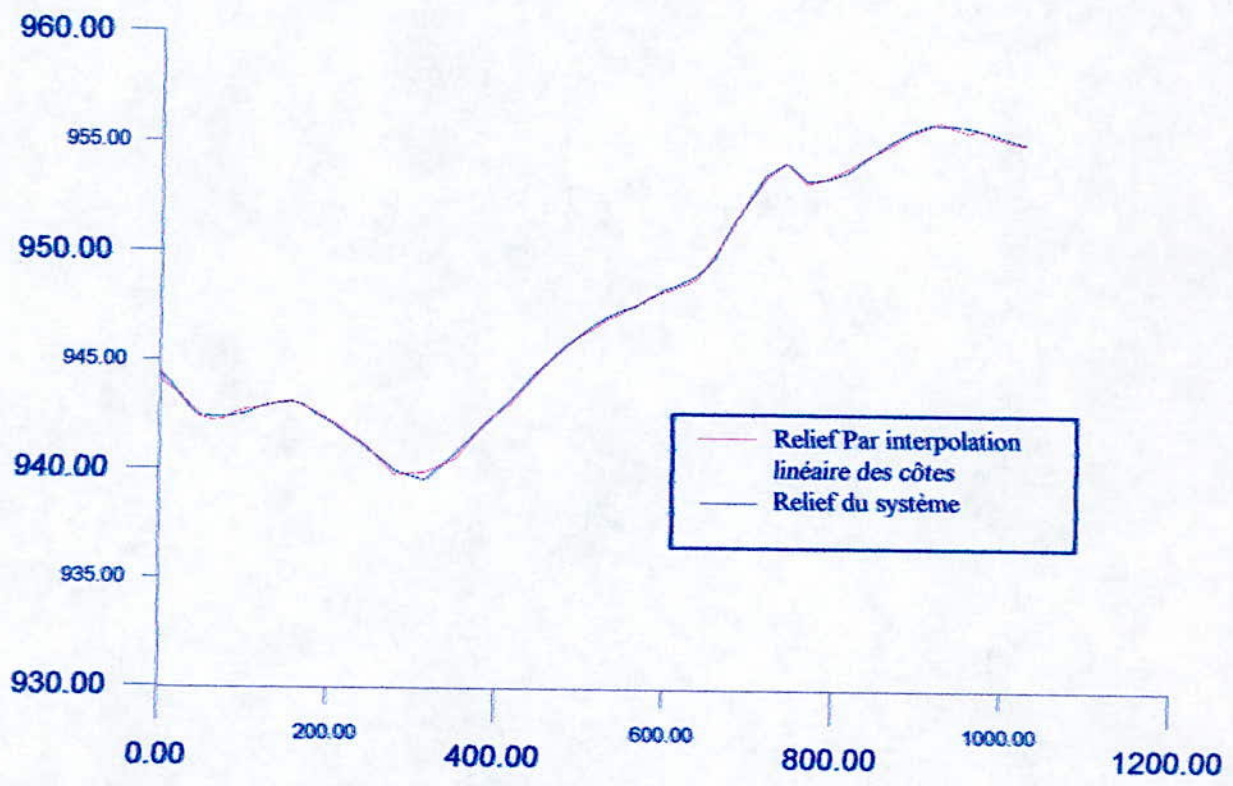


Figure IV-3

2- Calcul de l'axe

Les données sont sur le (Tableau IV-1).

Virage N°	1	2	3
Rayon (m)	250	350	350
Longueur de Clothoïde (m)	25.60	41.14	41.14

Tableau IV-1 : Caractéristiques géométriques des virages

La longueur totale de l'axe pour les deux systèmes est :

- PISTE → $L = 1025.66 \text{ m}$

- Le système → $L = 1024.69 \text{ m}$

La différence entre les deux longueurs est négligeable (de l'ordre de 1‰). Les calculs détaillés de l'axe de notre système et de PISTE sont illustrés respectivement dans les fichiers de l'annexe B.

3- Visualisation du tracé en plan

Le programme dessin nous permet de visualiser le tracé en plan, l'impression de ce dernier est possible. (fig IV-4)

4- Profil en long

A partir des résultats de l'approximation de relief obtenus, on peut voir sur écran le profil en long du terrain naturel. Pour la conception de la ligne rouge, on prend les mêmes données que celles du PISTE, à savoir: les coordonnées des points de passages et les rayons (voir annexe C)

Le profil en long du terrain et la ligne rouge sont représentés par la figure(IV-5)

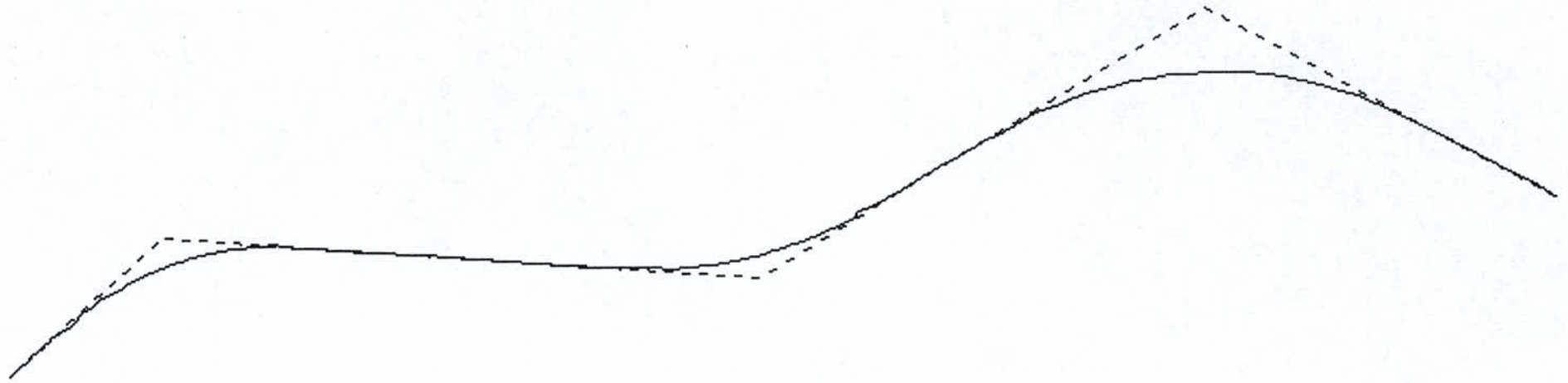


Figure IV-4 : *Tracé en Plan .*

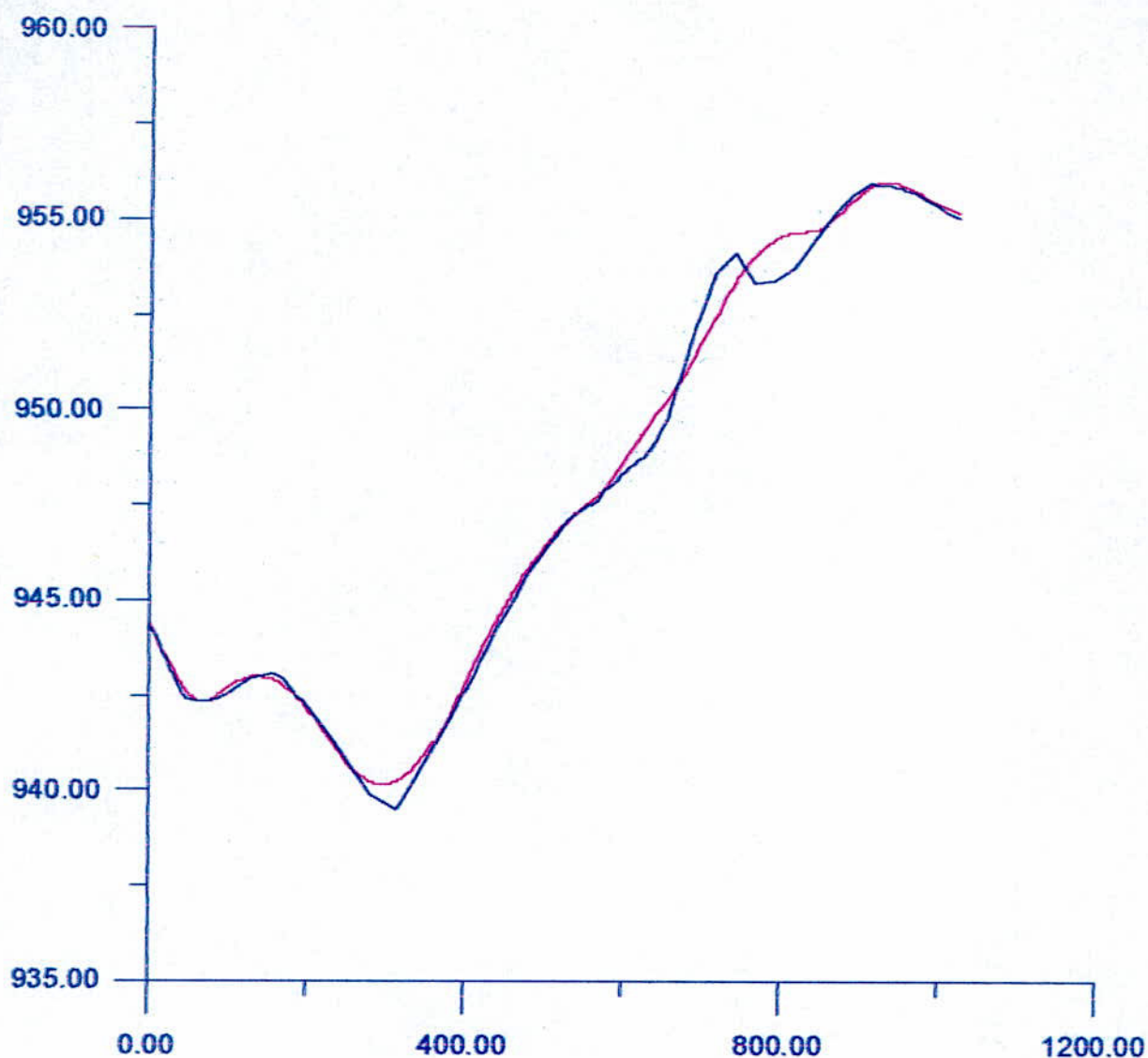


Figure IV-5 : Tracé de la ligne rouge et du relief

5- Calcul des surfaces

Le calcul des surfaces a été fait avec le système réalisé, d'une part avec une approximation automatique des côtes et d'autre part, avec un relevé manuel de ces mêmes côtes. Les résultats de ce calcul sont présentés dans l'annexe D.

Pour illustrer certains résultats partiels, nous présentons dans les tableaux (IV-2) et (IV-3) respectivement des surfaces calculées manuellement avec un relevé manuel des côtes et des surfaces calculées automatiquement avec le système. Cela a été fait pour deux raisons; la première

étant pour voir la répercussion de la mauvaise approximation à la région [200m-400m] sur le calcul de surface et la deuxième est pour voir la différence entre les résultats de la méthode de calcul de surface que nous avons programmée et la méthode manuelle qui est plus rigoureuse (voir figures (de IV-6 jusqu'à IV-9)).

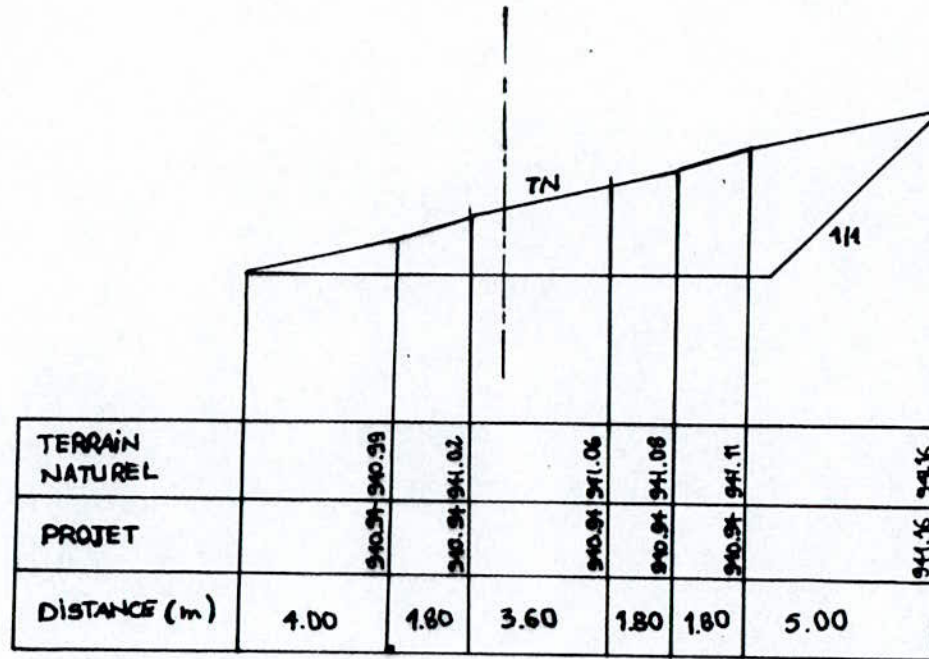
Tableau IV-2 :

Figure	Distance développée (m)	Surfaces calculées manuellement avec relevé manuel des côtes (m ²)	
		Déblai	Remblai
IV-6	244.04	1.580	/
IV-7	315.40	/	7.300
IV-8	403.22	/	3.040
IV-9	584.61	0.384	2.02

Tableau IV-3 :

Distance développée (m)	Surface calculées avec relevé manuel (m ²)		Surface calculées par logiciel (m ²)	
	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
244.04	1.53	-	1.15	-
315.40	-	6.7	-	9.48
403.22	-	2.74	-	2.64
584.61	0.23	1.94	0.13	1.74

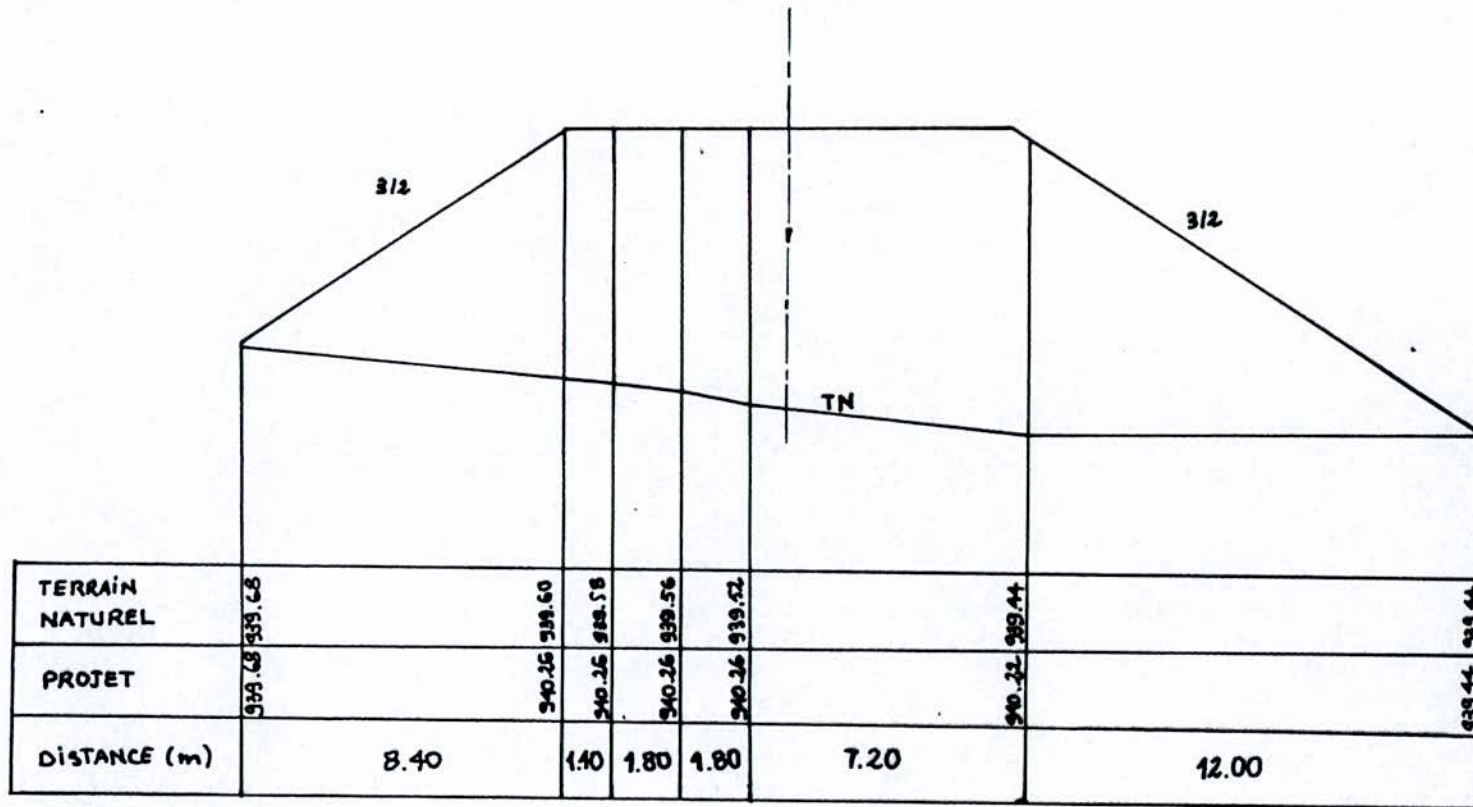
En examinant ces résultats et en comparant les différentes surfaces, nous remarquons que dans la zone où il y a une mauvaise approximation de relief, nous avons une différence entre les surfaces calculées avec le logiciel et les surfaces calculées automatiquement avec un relevé manuel des côtes, alors que les différences entre les surfaces calculées manuellement et celles calculées avec le système avec un relevé manuel ne sont pas importantes, ce qui prouve que dans l'ensemble, on peut dire que la méthode choisie pour le calcul de surface est assez bonne et donne des résultats proches de la réalité.



FIG(IV.06) : PROFIL EN TRAVERS - DEBLAI -

ECHELLE HORIZONTALE: 1/200

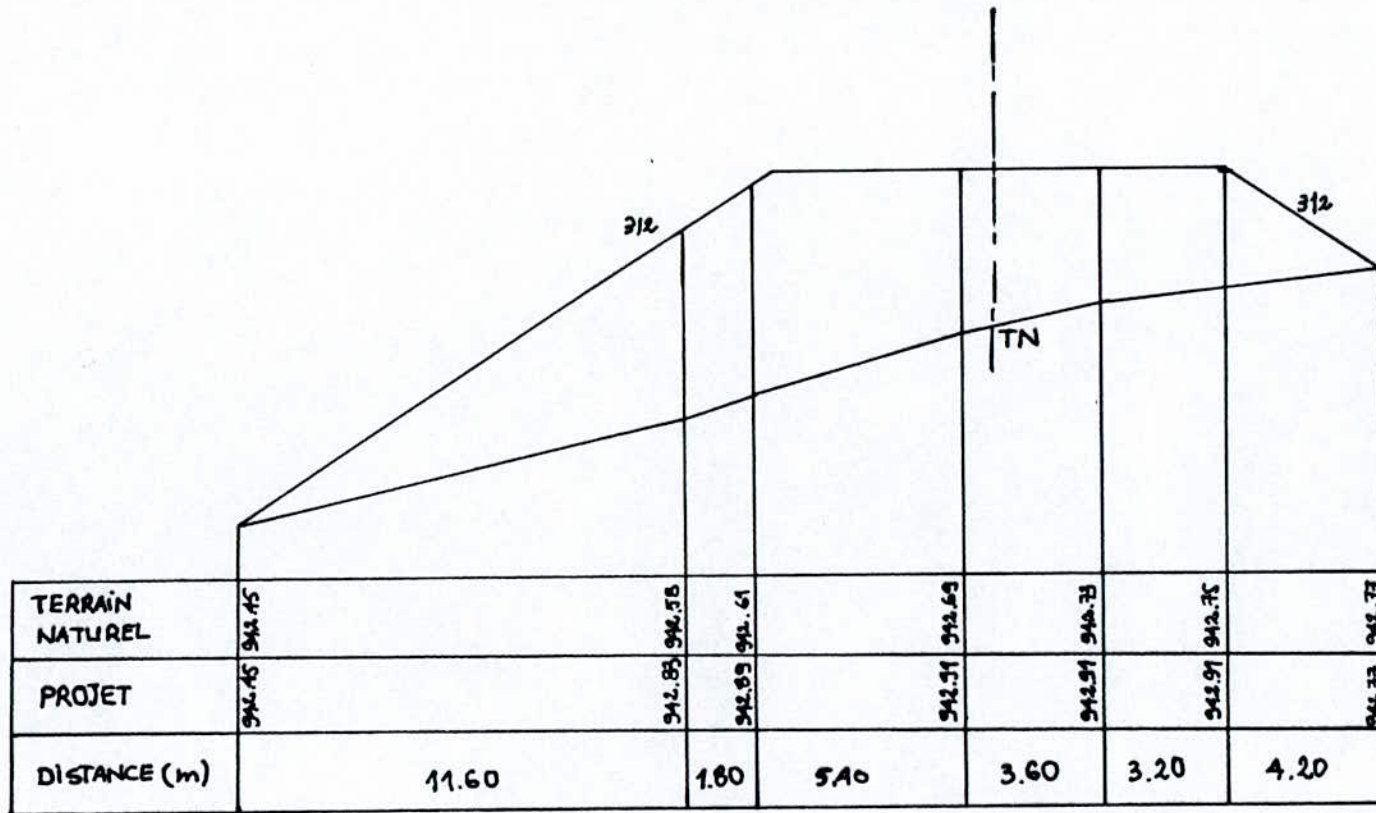
ECHELLE VERTICALE : 1/10



FIG(IV.07) : PROFIL EN TRAVERS - REMBLAI

ECHELLE HORIZONTALE : 1/200

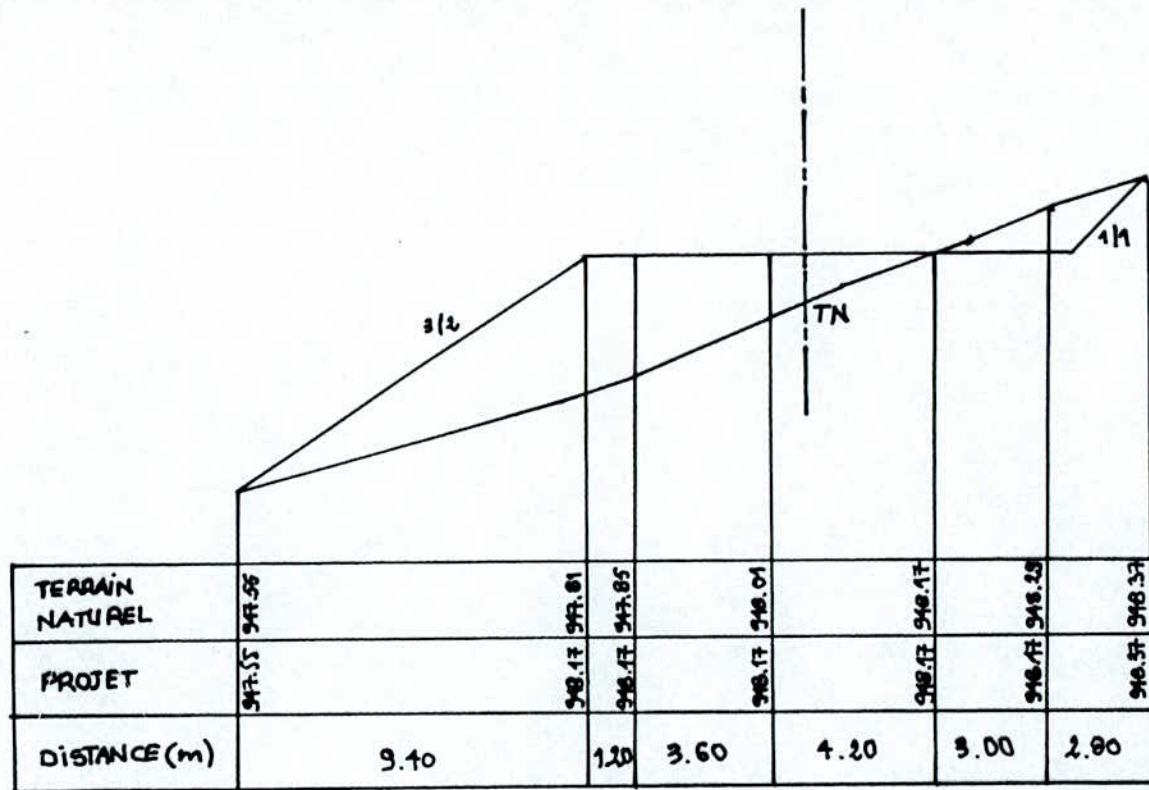
ECHELLE VERTICALE : 1/20



FIG(IV.08) : PROFIL EN TRAVERS - REMBLAI-

ECHELLE HORIZONTALE : 1/200

ECHELLE VERTICALE : 1/10



FIG(IV.09) : PROFIL EN TRAVERS - MIXTE

ECHELLE HORIZONTALE : 1/200

ECHELLE VERTICALE : 1/20

6- Calcul de volume

Les résultats relatifs au calcul de volumes figurent dans l'annexe E.

Pour illustrer certains résultats, nous présentons dans le tableau (IV-4) et les volumes partiels des sections choisies dans le chapitre (IV-2-5).

Tableau (IV-4)

Distance développée (m)	Volumes calculés automatiquement avec relevé manuel (m ³)		Volumes calculés par le système (m ³)	
	Déblai	Remblai	Déblai	Remblai
244.04	54.61	-	41.18	-
315.40	-	166.267	-	338.306
403.22	-	11.27	-	10.86
584.61	0.93	7.97	0.54	7.16

Nous remarquons, comme dans le calcul de surface, une différence des volumes des deux premières sections. Cela étant dû au fait que ces sections appartiennent à la zone où il y a une mauvaise approximation de relief.

Les résultats finaux sont résumés dans le tableau (IV-5)

Tableau IV-5

	PISTE (V ₁)	SYSTEME (V ₂)	Relevés manuels (V)	ΔV_1 (V-V ₁)	ΔV_2 (V-V ₂)
Volume déblai (m ³)	1217	1392.99	1448.72	231.72	55.73
Volume remblai (m ³)	2670	2680	2851.78	171.78	181.78

Pourcentages d'erreur pour le PISTE par rapport aux volumes obtenus avec relevés manuels des côtes.

Remblais → 06.37%

Déblais → 15.99%

Pourcentages d'erreur pour notre système par rapport au volumes obtenus avec relevés manuels des côtes.

Remblais → 6.02%

Déblais → 3.08%

Les résultats obtenus par notre système sont plus proches de la réalité et cela est dû au fait qu'il utilise plus de sections intermédiaires que le PISTE.



CONCLUSION

CONCLUSION :

La modernisation des réseaux routiers est devenue un élément indispensable au service des besoins économique et stratégiques des nations. La phase préliminaire d'étude d'un projet routier à savoir le choix d'un tracé, a un impact important sur les coûts de construction. Pour un choix optimal de ce tracé le recours à l'outil informatique est plus que nécessaire

Dans ce contexte, nous avons élaboré un logiciel pouvant faire tous les calculs relatifs à l'étude d'un avant projet sommaire (APS) et donner les volumes de terrassement (remblais, déblais) à effectuer. Ces calcul aident à choisir et à calculer le tracé le plus adéquat.

Le logiciel de calcul de cubatures est facile à utiliser, rapide à l'exécution et permet de réaliser des gains de temps et par conséquent de coût considérables.

Nous estimons que ce logiciel est une première structure sur laquelle viendront progressivement s'intégrer un ensemble d'applications ou de modules composant l'ensemble des aspects d'un projet routier. Le corps même du programme permettant le rajout d'éventuelles extensions.

Parmi ces applications, nous citerons pour des travaux futurs :

- L'introduction du dévers de la chaussée donnera une idée plus précise sur les volumes de terrassement en vue d'une étude en avant projet détaillé (APD);
- L'intégration d'un module calculant les mouvements de terres nous permettra d'estimer le coût des travaux de terrassement ;
- L'utilisation d'une table à digitaliser va faciliter le relevé du relief.

Toujours dans le but de perfectionner cet outil, nous pouvons lui intégrer les fonctionnalités suivantes :

- Vue en plan complète avec plate forme et talus ;
- Conception de carrefours et d'échangeurs ;
- Gestionnaire de fenêtres ;
- La visualisation tridimensionnelle et dynamique (animation) d'une route pour l'étude d'impact sur l'environnement ou les usagers (perception de la route).



ANNEXES

ANNEXE A

Résultats approximation relief

Abcisse	Côte projet	Côte approximée	Côte relevée
0,000	944,385	944,357	944,500
4,431	944,229	944,214	943,930
8,862	944,073	944,044	943,800
13,293	943,878	943,847	943,680
17,724	943,722	943,624	943,550
22,155	943,527	943,404	943,460
24,715	943,449	943,284	943,380
27,276	943,332	943,169	943,170
29,836	943,254	943,060	943,090
32,397	943,137	942,955	943,040
34,957	943,059	942,857	942,910
37,541	942,924	942,756	942,830
40,125	942,834	942,660	942,740
42,709	942,751	942,569	942,620
45,292	942,676	942,483	942,520
47,876	942,608	942,432	942,370
61,347	942,374	942,382	942,230
74,818	942,342	942,378	942,250
88,289	942,500	942,423	942,560
101,759	942,732	942,536	942,730
115,230	942,893	942,774	942,800
128,701	942,978	942,932	942,880
142,172	942,988	943,030	943,070
155,643	942,922	943,086	943,110
169,113	942,780	942,946	942,930
182,584	942,562	942,635	942,660
185,178	942,512	942,564	942,620
187,773	942,458	942,504	942,550
190,367	942,402	942,446	942,460
192,961	942,343	942,388	942,440
195,556	942,282	942,330	942,380
198,116	942,218	942,270	942,290
200,676	942,151	942,210	942,250
203,237	942,082	942,150	942,210
205,798	942,013	942,090	942,160
208,358	941,957	942,031	942,110
244,038	940,943	941,027	941,080
279,718	940,244	939,932	939,760
315,398	940,261	939,511	939,870
351,077	940,978	940,779	940,520
386,757	942,142	942,087	942,160
390,872	942,324	942,240	942,310
394,987	942,551	942,393	942,440

Abcisse	Côte projet	Côte approximée	Côte relevée
399,101	942,733	942,547	942,540
403,216	942,914	942,701	942,660
407,330	943,114	942,871	942,800
411,459	943,297	943,040	942,900
415,589	943,477	943,208	943,050
419,718	943,652	943,375	943,230
423,847	943,825	943,543	943,410
427,976	943,994	943,710	943,610
440,752	944,495	944,252	944,150
453,529	944,964	944,746	944,690
466,305	945,400	945,217	945,180
479,081	945,804	945,662	945,620
491,858	946,174	946,079	946,060
504,634	946,512	946,461	946,370
517,410	946,818	946,803	946,650
530,187	947,090	947,100	947,000
542,963	947,330	947,303	947,180
555,739	947,544	947,482	947,470
559,869	947,613	947,495	947,550
563,998	947,683	947,575	947,630
568,127	947,753	947,665	947,680
572,256	947,847	947,783	947,810
576,385	947,943	947,899	947,890
580,500	948,049	947,974	948,040
584,614	948,168	948,039	948,070
588,729	948,287	948,116	948,140
592,844	948,407	948,204	948,180
596,958	948,526	948,303	948,230
602,768	948,705	948,402	948,290
608,579	948,883	948,479	948,390
614,389	949,062	948,570	948,470
620,199	949,211	948,674	948,540
626,009	949,390	948,790	948,620
630,124	949,509	948,887	948,750
634,238	949,658	948,997	948,810
638,353	949,777	949,120	949,050
642,468	949,897	949,256	949,220
646,582	950,016	949,406	949,440
650,711	950,135	949,571	949,630
654,841	950,254	949,748	949,880
658,970	950,373	950,021	950,050
663,099	950,493	950,294	950,320
667,228	950,642	950,566	950,560
691,861	951,505	952,194	952,160
716,494	952,421	953,590	953,440

Abscisse	Côte projet	Côte approximée	Côte relevée
741,127	953,367	954,161	954,160
765,760	954,052	953,335	953,220
790,393	954,485	953,424	953,480
815,026	954,664	953,768	953,910
839,659	954,728	954,471	954,500
864,292	955,016	955,152	955,010
888,925	955,495	955,655	955,560
913,558	955,914	955,973	955,910
917,687	955,954	955,912	955,980
921,816	955,984	955,917	956,040
925,945	956,005	955,920	956,000
930,074	956,016	955,922	955,890
934,203	956,018	955,921	955,840
938,318	956,010	955,904	955,790
942,433	955,993	955,884	955,750
946,547	955,966	955,862	955,700
950,662	955,930	955,837	955,650
954,776	955,895	955,811	955,570
968,992	955,752	955,696	955,718
982,906	955,610	955,556	955,430
996,821	955,468	955,391	955,300
1010,737	955,326	955,218	955,120
1024,652	955,120	955,070	955,060

ANNEXE B

Coordonnées des points de passage de l'axe :

<i>x</i>	<i>y</i>
11,000	30,000
109,000	96,000
490,000	77,000
771,000	207,500
996,000	115,000

Résultats calcul de l'axe :

Éléments	Longueur	Abscisses	<i>x</i> Début	<i>y</i> Début
<i>ald</i>	22,155	000	11,000	30,000
<i>clo</i>	25,600	47,755	29,376	42,376
<i>cer</i>	135,008	182,763	51,727	55,017
<i>clo</i>	25,600	208,363	179,211	93,216
<i>ald</i>	178,399	386,762	204,879	91,219
<i>clo</i>	41,143	427,905	383,056	82,333
<i>cer</i>	128,063	555,968	424,248	82,281
<i>clo</i>	41,143	597,111	548,957	106,586
<i>ald</i>	29,051	626,162	587,115	122,101
<i>clo</i>	41,143	667,305	613,463	134,338
<i>cer</i>	246,630	913,935	651,621	149,854
<i>clo</i>	41,143	955,078	892,837	155,249
<i>ald</i>	69,575	1024,653	931,651	141,455
Longueur total axe = 1024,653000				

ald : Alignement droit,
Clo : Clothoïde,
cer : Cercle primitif.

Coordonnées des points de l'axe:

<i>x</i>	<i>y</i>	Distance développée
11,000	30,000	0,000
14,675	32,475	4,431
18,350	34,950	8,862
22,025	37,425	13,293
25,700	39,900	17,724
29,375	42,376	22,155
31,527	43,764	24,715
33,678	45,153	27,276
35,829	46,541	29,836
37,981	47,930	32,397
40,132	49,318	34,957

x	y	Distance développée
42,451	50,458	37,541
44,770	51,598	40,125
47,088	52,737	42,709
49,407	53,877	45,292
51,726	55,017	47,876
64,475	64,059	61,347
77,223	70,224	74,818
89,971	75,531	88,289
102,720	80,038	101,759
115,469	83,789	115,230
128,217	86,820	128,701
140,966	89,156	142,172
153,714	90,818	155,643
166,462	91,819	169,113
179,211	92,166	182,584
181,785	92,894	185,178
184,359	92,572	187,773
186,934	92,250	190,367
189,508	91,928	192,961
192,082	91,606	195,556
194,641	91,529	198,116
197,201	91,451	200,677
199,760	91,374	203,237
202,319	91,296	205,798
204,879	91,219	208,358
240,514	89,442	244,038
276,150	87,664	279,718
311,785	85,887	315,398
347,421	84,110	351,077
383,057	82,333	386,757
387,168	82,178	390,872
391,280	82,023	394,987
395,392	81,868	399,101
399,503	81,713	403,216
403,615	81,558	407,330
407,742	81,703	411,459
411,868	81,848	415,589
415,995	81,992	419,718
420,121	82,137	423,847
424,248	82,281	427,976
436,719	81,226	440,752
449,190	82,008	453,529
461,661	83,240	466,305
474,132	84,925	479,081
486,602	87,071	491,858
499,073	89,685	504,634
511,544	92,779	517,410

x	y	Distance développée
524,015	96,367	530,187
536,486	100,464	542,963
548,957	105,089	555,739
552,836	108,001	559,869
556,715	109,417	563,998
560,594	110,832	568,127
564,473	112,248	572,256
568,352	113,663	576,385
572,104	115,351	580,500
575,857	117,038	584,614
579,609	118,726	588,729
583,362	120,414	592,844
587,115	122,101	596,958
592,384	124,549	602,768
597,654	126,996	608,579
602,924	129,443	614,389
608,193	131,891	620,199
613,463	134,338	626,009
617,216	136,025	630,124
620,968	137,713	634,238
624,721	139,401	638,353
628,473	141,088	642,468
632,226	142,776	646,582
636,104	144,191	650,711
639,983	145,607	654,841
643,862	147,023	658,970
647,741	148,438	663,099
651,620	149,854	667,228
675,742	159,819	691,861
699,864	166,375	716,494
723,985	171,127	741,127
748,107	174,150	765,760
772,229	175,489	790,393
796,350	175,161	815,026
820,472	173,164	839,659
844,594	169,467	864,292
868,715	164,015	888,925
892,837	156,721	913,558
896,775	154,008	917,687
900,714	152,768	921,816
904,652	151,527	925,945
908,590	150,286	930,074
912,529	149,046	934,204
916,353	147,527	938,318
920,177	146,009	942,433
924,002	144,491	946,547
927,826	142,973	950,662

x	y	Distance développée
931,650	141,455	954,777
944,520	136,164	968,992
957,390	130,873	982,907
970,260	125,582	996,822
983,130	120,291	1010,737
996,000	115,000	1024,652

AXE EN PLAN

PAGE 1

ELEM	CARACTERISTIQUES	LONGUEUR	ABSCISSE	X	Y
			.000	11.000	30.000
D1	GIS= 62.268g	22.119	22.119	29.347	42.356
L1	A = 80.000 L = 25.600	186.231	47.719	50.819	56.290
	XC= 179.674 YC= -157.944 R = -250.000 L = 135.031		182.751	179.331	92.055
	A = 80.000 L = 25.600		208.351	204.914	91.217
			386.667	383.009	82.336
D2	GIS= 103.172g	178.317	427.810	424.127	81.092
L2	A = 120.000 L = 41.143	210.754	556.278	549.516	105.528
	XC= 420.995 YC= 431.078 R = 350.000 L = 128.468		597.421	587.158	122.121
	A = 120.000 L = 41.143		626.339	613.385	134.302
D3	GIS= 72.321g	28.918	667.482	651.027	150.894
L3	A = 120.000 L = 41.143	329.831	915.027	893.384	156.315
	XC= 779.548 YC= -174.655 R = -350.000 L = 247.545		956.170	931.730	141.422
	A = 120.000 L = 41.143		1025.659	996.000	115.000
D4	GIS= 124.831g	69.489			
L O N G U E U R D E L ' A X E			1025.659		

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGNE	ELEM PLAN	ELEM LONG	COTE TN	COTE PROJET	X PROFIL	Y PROFIL	GISEME PROFIL
1	.00	D1	D1	944.385	944.385	11.000	30.000	162.26
2	25.00	L1	D1	943.367	943.410	31.736	43.964	162.30
3	50.00	L1	PR1	942.342	942.558	52.778	57.457	166.10
4	75.00	L1	PR1	942.199	942.343	74.917	69.049	172.47
5	100.00	L1	PR2	942.611	942.707	98.101	78.373	178.84
6	125.00	L1	PR2	942.815	942.963	122.101	85.336	185.20
7	150.00	L1	PR2	943.075	942.959	146.676	89.868	191.57
8	175.00	L1	PR2	942.825	942.695	171.581	91.925	197.93
9	200.00	L1	PR2	942.271	942.170	196.573	91.618	202.82
10	225.00	D2	D5	941.666	941.470	221.542	90.388	203.17
11	250.00	D2	PR3	940.881	940.771	246.511	89.142	203.17
12	275.00	D2	PR3	940.000	940.295	271.480	87.897	203.17
13	300.00	D2	PR3	940.000	940.167	296.449	86.652	203.17
14	325.00	D2	PR3	940.000	940.387	321.418	85.407	203.17
15	350.00	D2	D7	940.606	940.951	346.387	84.162	203.17
16	375.00	D2	PR45	941.649	941.683	371.356	82.917	203.17
17	400.00	L2	D8	942.581	942.783	396.327	81.699	202.77
18	425.00	L2	PR4	943.480	943.873	421.317	81.078	199.92
19	450.00	L2	PR4	944.540	944.839	446.295	81.993	195.39
20	475.00	L2	PR4	945.492	945.680	471.144	84.689	190.84
21	500.00	L2	PR4	946.328	946.396	495.737	89.151	186.30
22	525.00	L2	PR4	946.870	946.987	519.949	95.357	181.75
23	550.00	L2	D9	947.366	947.457	543.656	103.276	177.20
24	575.00	L2	PR6	947.893	947.911	566.768	112.796	173.43
25	600.00	D3	D11	948.272	948.638	589.497	123.208	172.32
26	625.00	D3	D11	948.644	949.383	612.171	133.738	172.32
27	650.00	L3	D11	949.585	950.128	634.909	144.128	173.55
28	675.00	L3	PR7	950.873	950.889	658.049	153.580	177.43
29	700.00	L3	D12	952.678	951.828	681.784	161.414	181.97
30	725.00	L3	D12	953.619	952.783	706.018	167.534	186.52
31	750.00	L3	PR8	953.998	953.641	730.627	171.909	191.07
32	775.00	L3	PR8	953.246	954.242	755.485	174.517	195.62
33	800.00	L3	PR8	953.560	954.582	780.466	175.344	200.16
34	825.00	L3	D13	954.120	954.687	805.442	174.386	204.71
35	850.00	L3	PR9	954.752	954.784	830.287	171.648	209.26
36	875.00	L3	D14	955.269	955.234	854.872	167.144	213.80
37	900.00	L3	PR10	955.715	955.716	879.073	160.896	218.35
38	925.00	L3	PR10	956.036	956.002	902.771	152.948	222.68
39	950.00	L3	PR10	955.687	955.940	926.022	143.766	224.74
40	975.00	D4	D20	955.432	955.690	949.146	134.262	224.83
41	1000.00	D4	D20	955.200	955.439	972.268	124.756	224.83
42	1025.00	D4	D20	955.181	955.189	995.390	115.251	224.83
43	1025.66	D4	D20	955.182	955.182	996.000	115.000	224.83

ANNEXE C

Coordonnées des points de passage de la ligne rouge

12 points	
Abcisse	Côtes
000	944,385
60,490	942,026
150,165	943,578
296,478	939,456
375,049	941,651
473,460	946,117
574,672	947,884
675,005	950,874
771,188	954,547
849,978	954,758
924,747	956,193
1024,650	955,182

Résultat du calcul de la ligne rouge

EIEM	Caractéristiques des éléments	Longueurs	abcisse au début de l'élément	Côte
ALD	-3,90 %	35,182	0,000	944,385
PR	900,00	50,632	35,182	943,013
ALD	01,73 %	9,796	85,814	942,465
PR	2400,00	109,097	95,610	942,634
ALD	-,2,80 %	41,297	204,707	942,041
PR	1800,00	100,948	246,004	940,878
ALD	2,80 %	20,259	346,952	940,866
PR	900,00	15,67	367,211	941,432
ALD	4,50 %	20,921	382,881	942,006
PR	5000,00	139,377	403,802	942,956
ALD	1,74 %	25,944	543,179	947,334
PR	900,00	11,096	569,123	947,787
ALD	2,98 %	87,245	580,219	948,049
PR	1800,00	15,079	667,464	950,649
ALD	3,80 %	46,079	682,543	951,161
PR	2400,00	85,163	728,622	952,921
ALD	2,68 %	28,762	813,785	954,661
PR	900,00	14,861	842,547	954,738
ALD	1,90 %	40,962	857,408	954,901
PR	1800,00	52,757	898,370	955,687
ALD	-1,01 %	73,523	951,127	955,926
Longueur totale de l'axe			1024,652	955,182

NB : ALD palier droit ; PR parabole,

ELEM	CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS	LONGUEUR	ABSCISSE	Z
			.000	944.385
D1	PENTE= -3.899 %	35.151		
PR1	S= 70.2413 Z= 942.3304 R = 900.00	50.663	35.151	943.014
D4	PENTE= 1.730 %	9.782	85.814	942.465
PR2	S= 137.1219 Z= 942.9937 R = -2400.00	109.133	95.595	942.634
D5	PENTE= -2.817 %	41.280	204.728	942.041
PR3	S= 296.7127 Z= 940.1645 R = 1800.00	100.980	246.008	940.879
D7	PENTE= 2.793 %	20.160	346.988	940.867
PR45	S= 342.0105 Z= 941.0786 R = 900.00	15.703	367.148	941.430
D8	PENTE= 4.538 %	20.934	382.852	942.005
PR4	S= 630.6809 Z= 948.1034 R = -5000.00	139.580	403.786	942.955
D9	PENTE= 1.746 %	26.083	543.366	947.341
PR6	S= 553.7314 Z= 947.6592 R = 900.00	11.104	569.448	947.796
D11	PENTE= 2.980 %	86.895	580.552	948.059
PR7	S= 613.8056 Z= 949.8491 R = 1800.00	15.107	667.446	950.648
D12	PENTE= 3.819 %	45.927	682.554	951.162
PR8	S= 820.1446 Z= 954.6666 R = -2400.00	85.423	728.480	952.916
D13	PENTE= .260 %	28.591	813.903	954.658
PR9	S= 840.1533 Z= 954.7298 R = 900.00	15.012	842.494	954.733
D14	PENTE= 1.928 %	40.870	857.506	954.897
PR10	S= 933.0821 Z= 956.0196 R = -1800.00	52.751	898.376	955.685
D20	PENTE= -1.002 %	74.532	951.127	955.929

ELEM	CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS	LONGUEUR	ABSCISSE	Z
			1025.659	955.182
L O N G U E U R D E L ' A X E		1025.659		

ANNEXE D

Résultats calcul de surfaces

Abscisse	Déblai		Remblai	
	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel
0,000	0,660	0,001	0,229	0,000
4,431	0,702	0,000	0,144	2,632
8,862	0,526	0,000	0,172	2,086
13,293	0,294	0,000	0,182	1,883
17,724	0,005	0,000	0,702	0,000
22,155	0,000	0,011	1,088	1,151
24,715	0,000	0,000	1,664	0,890
27,276	0,000	0,000	1,749	0,924
29,836	0,000	0,000	2,140	1,533
32,397	0,000	0,000	2,018	1,073
34,957	0,000	0,000	2,290	1,555
37,541	0,000	0,000	1,885	1,160
40,125	0,000	0,000	1,956	1,167
42,709	0,000	0,000	2,068	1,253
45,292	0,000	0,000	2,088	1,256
47,876	0,000	0,000	1,882	2,053
61,347	0,359	0,000	0,222	2,635
74,818	0,622	0,022	0,172	1,676
88,289	0,148	1,718	1,012	0,2,19
101,759	0,000	0,699	2,215	1,096
115,230	0,028	0,207	1,547	1,692
128,701	0,125	0,105	0,677	1,378
142,172	0,572	0,911	0,016	0,177
155,643	2,248	2,687	0,000	0,000
169,113	2,273	2,150	0,000	0,000
182,584	0,984	1,330	0,000	0,000
185,178	0,673	1,196	0,038	0,000
187,773	0,633	1,076	0,067	0,000
190,367	0,628	0,923	0,090	0,000
192,961	0,652	1,239	0,102	0,000
195,556	0,701	1,342	0,105	0,000
198,116	0,733	1,152	0,075	0,000
200,676	0,817	1,513	0,070	0,000
203,237	0,921	1,733	0,059	0,000
205,798	1,032	2,079	0,049	0,000
208,358	1,011	2,127	0,069	0,000

Abscisse	Déblai		Remblai	
	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel
244,038	1,154	1,528	0,000	0,000
279,718	0,000	3,159	3,725	0,576
315,398	0,000	0,000	9,482	4,659
351,077	0,000	0,000	2,326	4,846
386,757	0,000	0,224	0,691	0,228
390,872	0,000	0,032	1,046	0,587
394,987	0,000	0,000	1,941	1,342
399,101	0,000	0,000	2,297	2,133
403,216	0,000	0,000	2,640	2,744
407,330	0,000	0,000	3,000	3,717
411,459	0,000	0,000	3,164	4,653
415,589	0,000	0,000	3,295	4,828
419,718	0,000	0,000	3,377	4,839
423,847	0,000	0,000	3,434	4,970
427,976	0,000	0,000	3,449	4,229
440,752	0,000	0,000	2,919	4,174
453,529	0,000	0,043	2,599	3,419
466,305	0,013	0,152	2,251	2,614
479,081	0,135	0,209	1,834	2,247
491,858	0,396	0,579	1,452	2,160
504,634	0,688	0,844	1,189	1,564
517,410	0,980	0,749	1,013	1,932
530,187	1,219	0,400	0,921	1,563
542,963	0,838	0,644	1,135	1,837
555,739	0,552	0,919	1,298	1,250
559,869	0,268	0,574	1,701	1,459
563,998	0,278	0,884	1,591	1,222
568,127	0,416	1,124	1,355	1,172
572,256	0,532	0,811	1,210	1,270
576,385	0,622	0,884	1,091	1,222
580,500	0,352	0,578	1,344	1,569
584,614	0,130	0,245	1,741	1,934
588,729	0,025	0,066	2,034	2,484
592,844	0,000	0,023	2,461	2,845
596,958	0,000	0,000	2,792	3,641
602,768	0,000	0,000	3,788	5,091
608,579	0,000	0,000	5,002	6,234

Abscisse	Déblai		Remblai	
	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel
614,389	0,000	0,000	6,133	7,552
620,199	0,000	0,000	6,725	8,638
626,009	0,000	0,000	7,593	9,455
630,124	0,000	0,000	7,873	9,637
634,238	0,000	0,000	8,391	10,22
638,353	0,000	0,000	8,325	9,087
642,468	0,000	0,000	8,103	8,202
646,582	0,000	0,000	7,681	7,519
650,711	0,000	0,000	7,046	6,377
654,841	0,000	0,000	6,076	4,619
658,970	0,000	0,000	4,231	3,881
663,099	0,000	0,000	2,345	2,356
667,228	0,000	0,000	0,883	1,378
691,861	9,428	9,116	0,000	0,000
716,494	18,185	15,386	0,000	0,000
741,127	11,624	12,640	0,022	0,000
765,760	0,000	0,000	9,972	10,07
790,393	0,000	0,000	13,677	13,25
815,026	0,000	0,000	11,385	9,919
839,659	0,000	0,000	3,046	2,874
864,292	1,870	1,212	0,000	0,177
888,925	2,211	1,471	0,000	0,804
913,558	0,667	0,904	0,745	0,980
917,687	0,486	0,821	1,343	1,305
921,816	0,533	0,906	1,471	1,323
925,945	0,491	1,018	1,612	1,238
930,074	0,457	0,678	1,714	1,326
934,203	0,458	0,229	1,741	2,055
938,318	0,423	0,313	1,836	2,905
942,433	0,419	0,126	1,880	3,074
946,547	0,449	0,073	1,844	3,559
950,662	0,513	0,005	1,748	3,783
954,776	0,564	0,000	1,688	3,983
968,992	0,743	0,097	1,489	3,556
982,906	0,791	0,051	1,514	3,752
996,821	0,713	0,111	1,659	4,195
1010,737	0,556	0,491	1,777	2,798

Abscisse	Déblai		Remblai	
	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel
1024,652	0,702	1,202	1,387	2,424

ANNEXE E

Annexe (E) :

Résultats calcul de volumes :

Abscisse	Déblai		Remblai	
	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel
0,000	0,836	0,006	1,016	3,291
4,431	1,839	0,000	1,458	11,666
8,862	1,245	0,000	1,653	9,245
13,293	0,512	0,000	1,755	8,348
17,724	0,000	0,000	4,711	,000
22,155	0,000	0,046	4,830	4,026
24,715	0,000	0,000	4,993	2,281
27,276	0,000	0,001	5,158	2,368
29,836	0,000	0,000	6,132	3,927
32,397	0,000	0,000	5,760	2,749
34,957	0,000	0,000	6,421	4,001
37,541	0,000	0,000	5,337	2,999
40,125	0,000	0,000	5,522	3,016
42,709	0,000	0,000	5,779	3,240
45,292	0,000	0,000	5,798	3,246
47,876	0,000	0,000	16,267	16,486
61,347	4,101	0,000	3,622	35,506
74,818	7,949	0,289	2,563	22,585
88,289	1,711	21,513	14,387	2,959
101,759	0,001	8,746	29,842	14,771
115,230	0,384	2,594	20,840	22,805
128,701	1,677	1,311	9,116	18,569
142,172	7,709	11,380	0,222	2,392
155,643	30,284	36,197	0,000	0,000
169,113	30,614	28,965	0,000	0,000
182,584	7,901	10,684	0,000	0,000
185,178	1,745	3,102	0,099	0,000
187,773	1,644	2,791	0,173	0,000
190,367	1,628	2,395	0,234	0,000
192,961	1,691	3,215	0,264	0,000
195,556	1,807	3,459	0,272	0,000
198,116	1,876	2,950	0,192	0,000
200,676	2,092	3,874	0,180	0,000

Abscisse	Déblai		Remblai	
	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel
203,237	2,359	4,438	0,150	,000
205,798	2,642	5,322	0,124	,000
208,358	19,334	40,678	1,322	,000
244,038	41,180	54,535	0,000	,000
279,718	0,000	104,965	132,891	20,549
315,398	0,000	0,000	338,306	166,268
351,077	0,000	0,000	82,992	172,928
386,757	0,000	4,134	13,741	4,551
390,872	0,000	0,123	4,303	2,418
394,987	0,000	0,000	7,986	5,525
399,101	0,000	0,000	9,452	8,780
403,216	0,000	0,000	10,861	11,294
407,330	0,000	0,000	12,364	15,323
411,459	0,000	0,000	13,065	19,215
415,589	0,000	0,000	13,607	19,939
419,718	0,000	0,000	13,946	19,984
423,847	0,000	0,000	14,180	20,523
427,976	0,000	0,000	29,155	35,747
440,752	0,000	0,000	37,293	53,333
453,529	0,000	0,512	33,201	43,687
466,305	0,170	1,802	28,759	33,410
479,081	1,721	2,485	23,431	28,714
491,858	5,059	6,894	18,547	27,598
504,634	8,788	10,035	15,186	19,991
517,410	12,527	8,904	12,945	24,694
530,187	15,580	4,747	11,765	19,971
542,963	10,708	7,644	14,494	23,474
555,739	4,669	7,220	10,972	10,567
559,869	1,107	2,202	7,025	6,026
563,998	1,148	3,394	6,569	5,047
568,127	1,718	4,317	5,595	4,843
572,256	2,196	3,111	4,998	5,247
576,385	2,562	3,386	4,496	5,038
580,500	1,447	2,212	5,530	6,457
584,614	0,536	0,934	7,165	7,960
588,729	0,102	0,254	8,369	10,221
592,844	0,000	0,089	10,125	11,709

Abscisse	Déblai		Remblai	
	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel
596,958	0,000	0,000	13,853	18,069
602,768	0,000	0,000	22,012	29,583
608,579	0,000	0,000	29,062	36,222
614,389	0,000	0,000	35,630	43,880
620,199	0,000	0,000	39,070	50,189
626,009	0,000	0,000	37,680	46,921
630,124	0,000	0,000	32,394	39,653
634,238	0,000	0,000	34,525	42,069
638,353	0,000	0,000	34,257	37,391
642,468	0,000	0,000	33,339	33,748
646,582	0,000	0,000	31,658	30,995
650,711	0,000	0,000	29,097	26,334
654,841	0,000	0,000	25,091	19,076
658,970	0,000	0,000	17,471	16,028
663,099	0,000	0,000	9,683	9,732
667,228	0,000	0,000	12,692	19,821
691,861	232,244	224,556	0,000	,000
716,494	447,944	379,002	0,000	,000
741,127	286,333	311,369	0,533	,000
765,760	0,000	0,000	245,631	248,197
790,393	0,000	0,000	336,894	326,497
815,026	0,000	0,000	280,452	244,352
839,659	0,000	0,000	75,025	70,815
864,292	46,056	27,687	0,000	4,361
888,925	54,142	33,643	0,000	19,823
913,558	9,588	12,102	10,714	14,097
917,687	2,006	3,155	5,544	5,391
921,816	2,200	3,482	6,075	5,466
925,945	2,027	3,909	6,657	5,114
930,074	1,888	2,604	7,076	5,476
934,203	1,886	0,875	7,178	8,471
938,318	1,741	1,198	7,555	11,956
942,433	1,724	0,478	7,734	12,650
946,547	1,848	0,280	7,585	14,644
950,662	2,109	0,017	7,191	15,568
954,776	5,125	0,002	15,551	35,913
968,992	10,287	1,213	21,167	49,486

Abscisse	Déblai		Remblai	
	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel	Avec relevé automatique	Avec relevé manuel
982,906	10,845	0,619	21,279	52,209
996,821	9,694	1,375	23,431	58,384
1010,737	7,534	6,199	25,091	38,941
1024,652	4,881	7,786	9,652	13,383
Total	1392.990	1448,720	2680,00	2851,780

VOLUMES TERRASSEMENT PAGE 1
CHAUSSEE + .00

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGNE	DEBLAI VOLUME	REMBLAI VOLUME	DECAPAGE VOLUME	ACCOTE VOLUME	FORME VOLUME	BASE VOLUME
1	.00	2.3	14.38	.0			
2	25.00	.0	20.43	.0			
3	50.00	.0	61.25	.0			
4	75.00	7.9	46.10	.0			
5	100.00	10.9	33.05	.0			
6	125.00	3.9	44.61	.0			
7	150.00	44.0	.00	.0			
8	175.00	43.1	.00	.0			
9	200.00	35.1	.00	.0			
10	225.00	67.4	.00	.0			
11	250.00	37.2	.00	.0			
12	275.00	.0	87.44	.0			
13	300.00	.0	49.20	.0			
14	325.00	.0	116.76	.0			
15	350.00	.0	110.36	.0			
16	375.00	.2	9.85	.0			
17	400.00	.0	56.16	.0			
18	425.00	.0	110.51	.0			
19	450.00	.0	91.81	.0			
20	475.00	4.3	59.97	.0			
21	500.00	21.7	36.24	.0			
22	525.00	16.6	44.99	.0			
23	550.00	14.7	37.61	.0			
24	575.00	23.9	24.65	.0			
25	600.00	.0	112.19	.0			
26	625.00	.0	235.56	.0			
27	650.00	.0	167.86	.0			
28	675.00	2.7	6.35	.0			
29	700.00	301.3	.00	.0			
30	725.00	316.4	.00	.0			
31	750.00	146.9	5.46	.0			
32	775.00	.0	309.18	.0			
33	800.00	.0	323.09	.0			
34	825.00	.0	175.29	.0			
35	850.00	4.7	11.30	.0			
36	875.00	28.2	12.66	.0			
37	900.00	28.2	.05	.0			
38	925.00	28.9	10.51	.0			
39	950.00	1.8	78.74	.0			
40	975.00	1.9	80.39	.0			
41	1000.00	6.0	73.80	.0			
42	1025.00	16.0	13.03	.0			
43	1025.66	1.3	.11	.0			
		1217	2670	0	0	0	0



BIBLIOGRAPHIE

- ☞[1] Normes techniques d'aménagement des routes B40 1977.
- ☞[2] Cours de Route a l'ENP 1997.
- ☞[3] " Cour de projet de tracé et de terrassements ".
ALLEGRES Edition Eyrolles 1952.
- ☞[4] Route et informatique.
Acte du colloque organisé par l'ENPC. Paris 13-15 Mars 1990.
- ☞[5] " Théorie des approximations ".
B.CHOCAT S.THIBAULT.
- ☞[6] " Route circulation tracé construction ".
R. COQUAND. Edition Eyrolles 1980.
- ☞[7] " Les travaux publics ".
R.ALLARD G. KIENERT. 2^{ème} Edition
Edition Eyrolles 1981.
- ☞[8] " Traité de route ".
ESCRIO. Traduit par JACOB.
Edition DUNOD 1954.
- ☞[9] " Microsoft fortran ".
.Advanced Topics
.Microsoft 1993.
- ☞[10] " Métodes numériques appliquées ".
GOURDIN - BOUMAH RAT
.OPU 1991.