

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION

- Généralités
- Prise en compte de la nomenclature routière
- Rappel de la notion de classification des routes

2. ETUDE DU TRACE

- Documents de base pour les études
 - Cartes
 - Plans
- Tracé de routes proprement dit
 - Définition d'un plan coté et d'un plan à courbes de niveau
 - Lecture d'un plan à courbes de niveau
 - Tracé théorique
 - Tracé réel

3. PROFIL EN LONG

- Définition

- Eléments du profil en long
- Présentation du profil en long
- Nivellement de la ligne du projet
- Raccordement vertical

4. CHOIX ENTRE DIFFERENTS TRACES

- Caractéristiques techniques à considérer
- Comment opérer le choix

5. PROFIL EN TRAVERS TYPES - PROFILS EN TRAVERS

- Eléments à considérer
- Présentation
- Eléments du projet

6. TERRASSEMENTS

- Cubatures
- Métré des terrassements
- Mouvement des terres et épure de Lalanne
- Tableau de mouvements des terres

**7. EVACUATION DES EAUX
SUPERFICIELLES**

- Quantité d'eaux à évacuer
- Détermination des débits
- Dimensionnement des canalisations

8. EVALUATION DES PROJETS

- Définitions des termes contenus dans le devis
- Evaluation quantitative et estimative
- Tableau synthèse du devis

AVANT PROPOS

Conformément au programme des enseignements en vigueur à l'IBTP, il a été élaboré le présent cours en deux volumes dont le premier traite de la conception géométrique des routes et des terrassements des routes et de l'évaluation des eaux superficielles.

Il s'est avéré nécessaire de produire le polycopié du premier volume du dit cours et de rendre sa manutention plus pratique et accessible aux étudiants soucieux de mettre au point les notes prises lors des exposés des cours magistraux ex cathedra et de préparer en suite les travaux pratiques, les interrogations et les examens.

Ainsi donc, il a été autorisé à tous ceux qui ont fait la demande, la reproduction de ce polycopié dans sa forme actuelle..

1. INTRODUCTION

1.1. Généralités

Dans le cadre restreint de ce cours, il ne sera pratiquement pas possible d'aborder tous les aspects liés à l'étude des projets des routes. Nous nous conformerons au programme établi pour traiter dans ce premier volume, de la conception géométrique, des terrassements et de l'évacuation des eaux superficielles. Il s'agira, en effet, de réunir tous ces éléments constitutifs du projet afin de l'adapter aux besoins de la circulation.

L'étude d'un projet de route oblige à l'ingénieur concepteur de mettre en pratique son savoir faire pour élaborer un tracé rationnel et économique destiné à relier plusieurs points et ou localités considérés.

Un regard sur l'évolution de la technique routière permet de retenir que jusqu'à la fin du 19^{ème} siècle, le choix du tracé s'inspirait avant tout de la recherche du plus court chemin en limitant les

déclivités à des valeurs admissibles avec la traction animale.

L'invention et le rapide développement du véhicule automobile ont introduit dans la technique routière les préoccupations relatives à la vitesse et à l'adaptation du tracé à de nouvelles exigences en complément de celles existantes déjà c'est-à-dire les exigences traditionnelles.

Considérant que dans une certaine mesure les réseaux routiers sont susceptibles d'être constamment adaptés aux circulations prévisibles dans l'avenir, le tracé dépendra du trafic pour lequel on devra disposer des données résultant des comptages, d'enquêtes et d'analyse qui ne font pas l'objet de ce cours.

Il en est de même des aspects géotechniques, géologiques, de l'incidence des ouvrages d'arts sur le tracé, de l'exploitation de l'environnement, de l'esthétique, et de l'économie pour lesquels un compromis doit être envisagé car dans la conception des routes la solution n'est pas que géométrique

1.2. Prise en compte de la nomenclature routière

☐ Le terrain

C'est le support sur lequel est construite la route. Il est soit à l'état naturel c'est-à-dire avant l'exécution des travaux ou préparé lorsque les travaux des terrassements ont été préalablement réalisés.

☐ La chaussée est la partie de la route destinée à la circulation des véhicules.

☐ La plate forme

C'est la partie comprise entre les fossés ou les crêtes des talus en remblais, comprend les accotements plus la chaussée (éventuellement y compris terre – plein et voies auxiliaires).

☐ L'assiette de la route est l'espace du terrain réellement construit pour créer la route (y compris les talus); c'est-à-dire dans les limites des terrassements.

☐ L'emprise est la surface du terrain appartenant à la collectivité et délimite le domaine public.

☐ La route peut être à chaussée unique ou à chaussées séparées par un terre - plein central.

□ Une voie est une bande de la chaussée correspondant à une largeur de véhicule et circulée dans un seul sens.

□ Les accotements sont des zones latérales bordant extérieurement la chaussée et peuvent être arasés ou surélevés.

□ Une bande cyclable est une bande faisant partie de la chaussée (largeur environ 1,50m), réservée de chaque côté de celle – ci pour la circulation des cycles (pas exclusivement)

□ Une piste cyclable est une voie aménagée sur l'accotement, séparée de la chaussée proprement dite par un terre - plein ou une bordure

□ Une voie d'arrêt (bande de stationnement) est une bande auxiliaire adjacente à la chaussée, destinée au freinage et à l'arrêt de véhicules en panne.

□ Les trottoirs sont des accotements spécialement prévus pour la circulation permanente des piétons ; ils sont généralement séparés de la chaussée par une bordure surélevée.

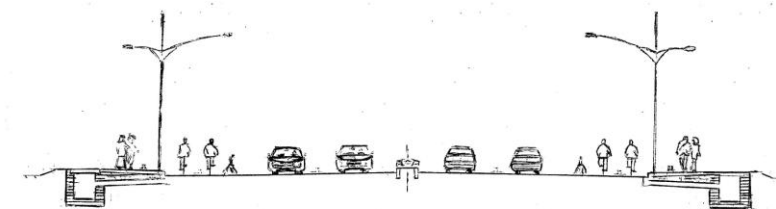
□ Les bordures sont des dispositifs de séparation ou de limite le long des voies ou chaussées. Elles sont en béton coffré, pavés, pierre taillée ou en

béton bitumineux. Elles peuvent être arasées ou surélevés.

□ Les fossés, les caniveaux et les saignées sont des dispositifs placés après les accotements et sont destinés à l'assainissement des chaussées.

□ La banquette est une surélévation (petite digue de terre) aménagée à la limite extérieure de l'accotement en vue de la sécurité des usagers. Dans la conception des routes modernes, on utilise de plus en plus les glissières de sécurité à la place de la banquette.

Figure 1 : Profil transversal d'une route moderne



1.3. Rappel de la notion de classification des routes

La conception des projets des routes ainsi que les besoins de l'exploitation et de

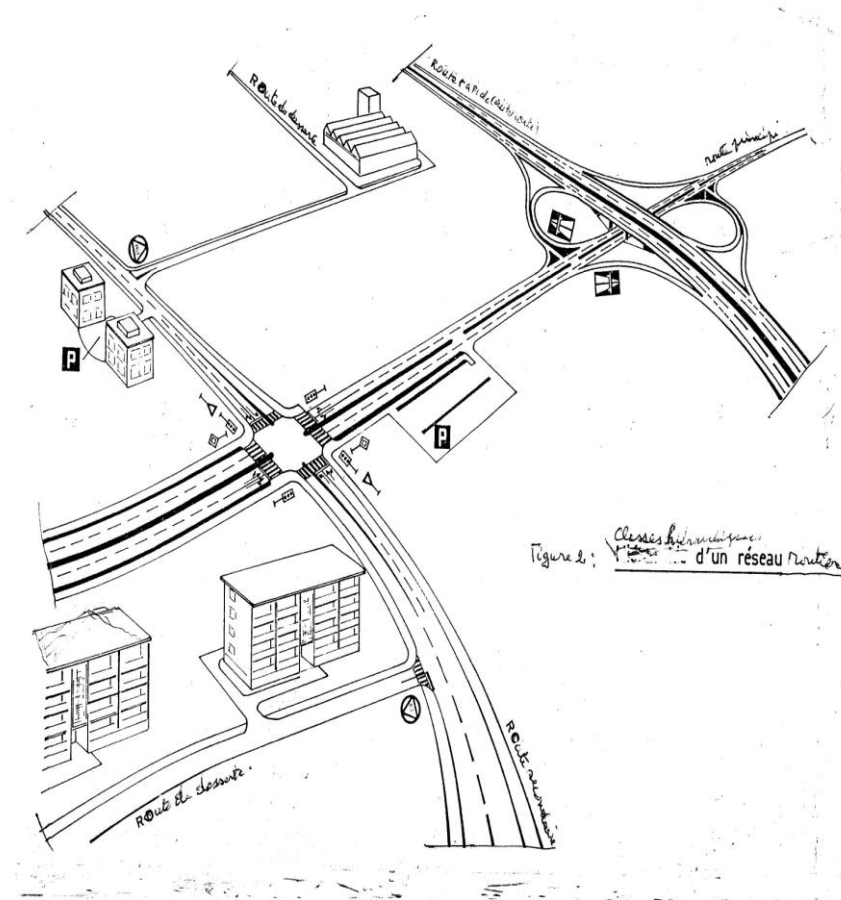
l'administration d'un réseau routier doivent prendre en compte la subdivision existante sur les différentes classes routières.

Avant d'entreprendre les études, on doit à tout prix chercher à définir le type de route auquel on a affaire car de cette notion seront définis deux éléments importants à savoir :

- la vitesse de base permettant de fixer les caractéristiques limites du tracé, comme par exemple le rayon minimum des virages ;
- le profil en travers type déterminant le nombre et le genre de voies (deux voies de circulation + une voie d'arrêt + un trottoir par exemple).

Bien que vue déjà l'année dernière, la notion de classification a été reprise ici à titre de rappel en insistant qu'elle est généralement conçue à partir d'une base de jugements c'est-à-dire suivant des critères essentiellement techniques, juridico – administratifs et fonctionnels.

Figure 2 :Classes hiérarchiques d'un réseau routier



2. ETUDE DU TRACE

2.1. Documents de base pour les études.

Qu'ils s'agissent des études des avants projets sommaires ou des projets détaillés, l'ingénieur concepteur recourt aux documents de base appelés cartes et plans.

2.1.1. Les cartes

Ce sont des documents réalisés à des échelles réduites permettant la couverture de la surface totale intéressant le projet.

Les échelles couramment utilisées sont :

1/200.000 ; 1/50.000 ; 1/20.000 ;
1/10.000 voir 1/5000

D'une manière générale, les documents dressés à ces échelles sont produits en R.D.Congo par l'Institut Géographique du Congo (IGC).

2.1.2. Les plans

Dressés aux échelles plus grandes que les précédentes, les plans sont des documents qui ne

sont toujours pas disponibles au moment où l'on entreprend une étude.

Les échelles couramment utilisées dans la réalisation des plans sont les suivantes :

1/2000 ; 1/1000 ; 1/500 ; 1/200 ;
1/100 ; et 1/50 dans les projets de bâtiments.

C'est sur ces documents qu'est faite d'abord la représentation planimétrique de la surface du terrain et tout ce qui y existe notamment, la végétation, les cours d'eau, les maisons, les voies ferrées, les routes, etc..., puis en suite la représentation du relief du terrain soit par points cotés, soit par courbes de niveau.

2.2. Tracé en plan

Il importe d'indiquer avec insistance que le document de base choisi pour l'étude du projet comprend de nombreux points représentés soit par des altitudes aux dessus du niveau de la mer c'est-à-dire des points cotés, soit par une représentation plus commode appelée courbes de niveau.

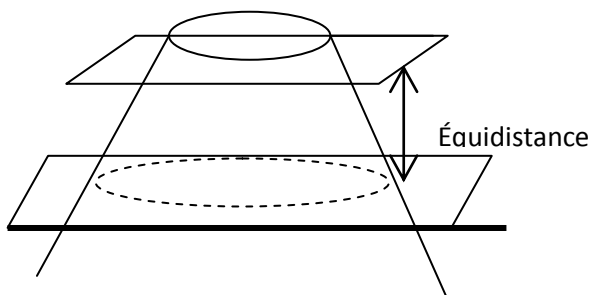
Pour des raisons évidentes, cette étude se réfère au plan à courbes de niveau.

2.2.1. Définition d'une courbe de niveau

Par courbe de niveau, il faut entendre le lieu géométrique des points de même altitude, situés au dessus du niveau zéro qui est la mer.

Les courbes de niveau peuvent aussi se définir comme étant les intersections avec le terrain des plans horizontaux

Fig.3 : courbes de niveau



2.2.2. Lecture d'un plan à courbes de niveau

Dans la lecture d'un plan à courbes de niveau, il faut retenir les points importants ci – après :

- les lignes de niveau qui ont une représentation fermée tel qu'indiqué dans la figure 4.

Fig.4 : ligne fermée



- le thalweg : c'est la ligne le long de laquelle se rassemblent les eaux de ruissellement (ex : dans une vallée le long de la rivière) (fig.5)

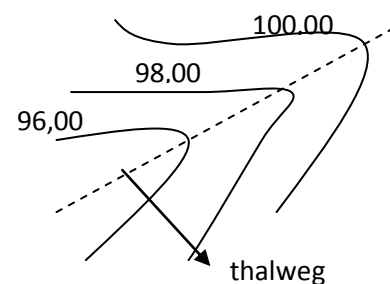


Fig.5 : Thalweg

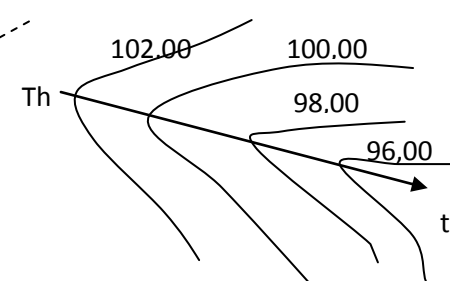


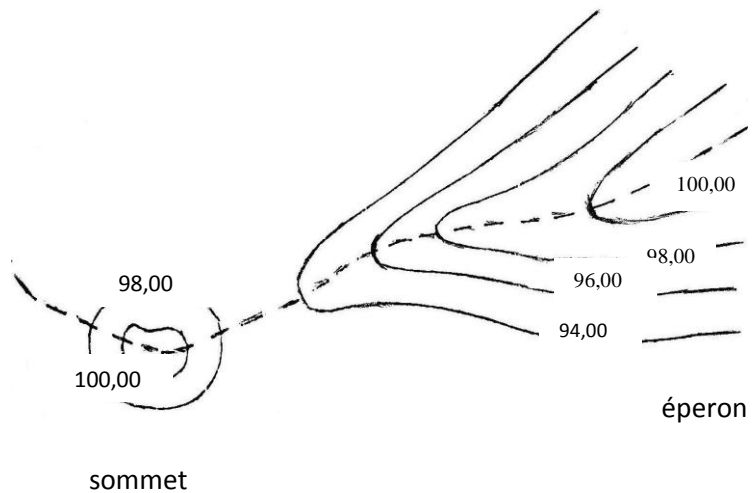
Fig.6 : Thalweg, axe de la famille de courbes

- suivant l'échelle considérée, deux courbes de niveau voisin ont une équidistance exprimée par une valeur égale à 1, 2, 5 ou 10 mètres. Ces deux

lignes qui ont des niveaux différents ne se coupent jamais (voir fig.6)

- de même on dira de deux courbes de niveau voisin qu'elles appartiennent à la même famille.
- la ligne de crête est considérée comme étant l'axe d'une ou de plusieurs familles des courbes du type « sommet » ou du type « éperon » fig.7

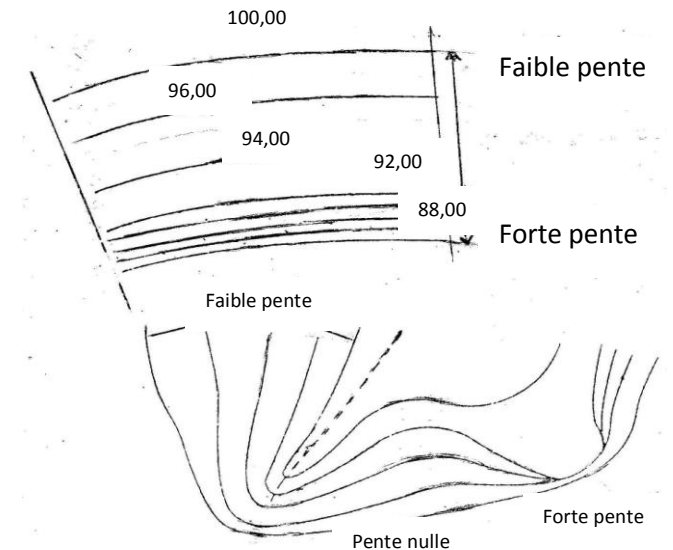
Figure 7 : ligne de crête



2.2.2.1. Notion de pente

Sur un plan à courbes de niveau, le terrain sera considéré comme étant à forte pente lorsque les courbes sont rapprochées entre elles. Dans le cas contraire, c'est-à-dire lorsqu'elles sont assez espacées, le terrain est à faible pente.

Figures 8 : lecture des pentes



Un terrain dont les courbes sont relativement horizontales a une pente nulle (voir fig.8).

2.2.3. Recherche du tracé proprement dit

2.2.3.1. Principes généraux

L'étude d'un projet de route débute par la recherche de l'emplacement de la voie dans la nature et de son adaptation la plus rationnelle à la configuration du terrain. Il importe de retenir que le tracé d'une voie ne pourra se faire sans modifier la nature étant donné les travaux des terrassements à réaliser dans la phase d'exécution.

Ainsi donc, le point de vue du constructeur sera de réaliser un ouvrage techniquement et économiquement avantageux (un trajet court, moins des terrassements, peu ou pas d'expropriation, moins d'ouvrages d'art, etc...), alors qu'en opposition, le futur usager de la route exprimera au cours de l'exploitation le désir de dépenser moins pour le transport (court trajet, faible déclivité, etc) bref, sa préoccupation tournera essentiellement autour de l'économie de temps, du carburant, meilleure condition de circulation, etc...

Présents dans l'esprit du concepteur, ces principes, du reste contradictoires, doivent trouver

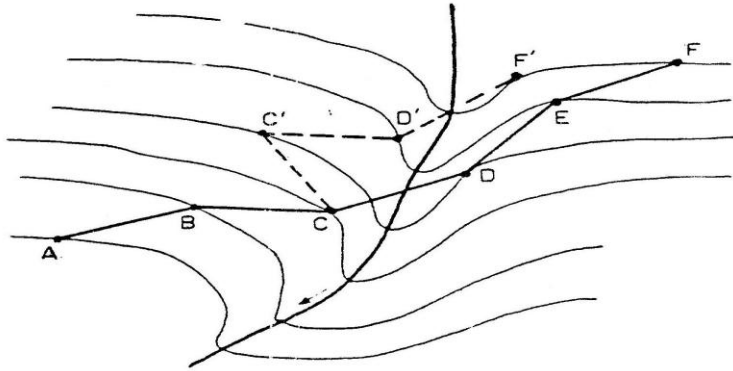
un compromis, une synthèse, de manière à réaliser un tracé harmonieux.

2.2.3.2. Points fixes et points obligés

La première démarche consiste à prendre en compte les points fixés au départ c'est-à-dire les points qui sont données (début et fin projet) et éventuellement les autres points indiquant le passage obligé compte tenu de l'importance des lieux à relier, des obstacles à traverser (cours d'eau, cols, etc...)

Comme on peut le voir sur la figure 9, la première idée que l'on se fait du future tracé est celle d'un polygone ayant pour origine le point A, pour extrémité le point F, plus les points intermédiaires.

Figure 9 : tracé polygonal



Théoriquement on peut dire que si la déclivité calculée entre deux points successifs ne dépasse pas la valeur limite donnée et résultant des études économiques préliminaires, la route pourra suivre d'assez près ce polygone primitif.

2.2.3.3. Recherche de l'axe approximatif de la route

Dans le tracé en plan, on doit s'efforcer de déterminer l'axe approximatif de la route qui sera une ligne à tracer dans le strict respect de la déclivité maximum qu'on s'est imposée.

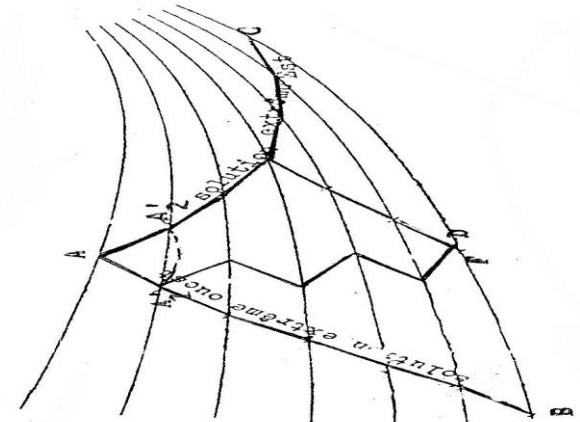
Deux types de tracés sont considérés dans cette démarche, à savoir :

- le tracé théorique et,
- le tracé réel.

a) Tracé théorique

A partir du point indiquant le départ de notre projet et qui se trouve sur une courbe de niveau (par exemple la courbe N), on doit chercher à passer à une autre courbe de niveau voisin ($N - X$ par ex.), voir figure 10

Fig.10 : Tracé théorique.



La première chose à prendre en considération est la déclivité i (%) maximum que l'on doit s'imposer comme dit plus haut. Ensuite, on

doit déterminer la distance horizontale d séparant sur le plan horizontal ou projection horizontale du relief, le point A sur la courbe N de A' située sur la ligne de niveau N - X

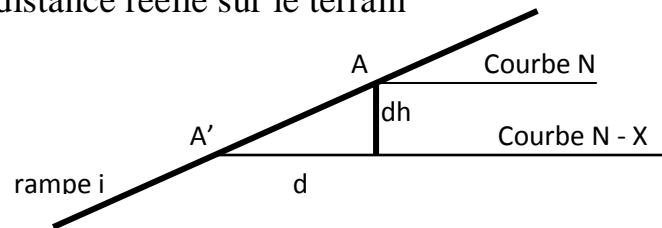
On aura
$$\frac{d}{100} = \frac{dh}{i}$$

$$d = \frac{dh \times 100}{i}$$

d = distance réelle sur le terrain.

dh = dénivelée

fig 11 : distance réelle sur le terrain



Considérant l'échelle du plan, la formule exprimant la distance de cheminement sera :

$$d = \frac{dh \times 100}{i} \times Echelle$$

Dans laquelle : d_{ch} = distance de cheminement

dh = équidistance

i = déclivité fixée

Exemple : soient les courbes de niveau ci-après : 200, 204, 206, 208.

On fixe la déclivité maximum i à 5 %, le plan considéré est dressé à l'Echelle de 1/2000

On a : $d \text{ (réelle)} = \frac{2m \times 100}{5} = 40m.$

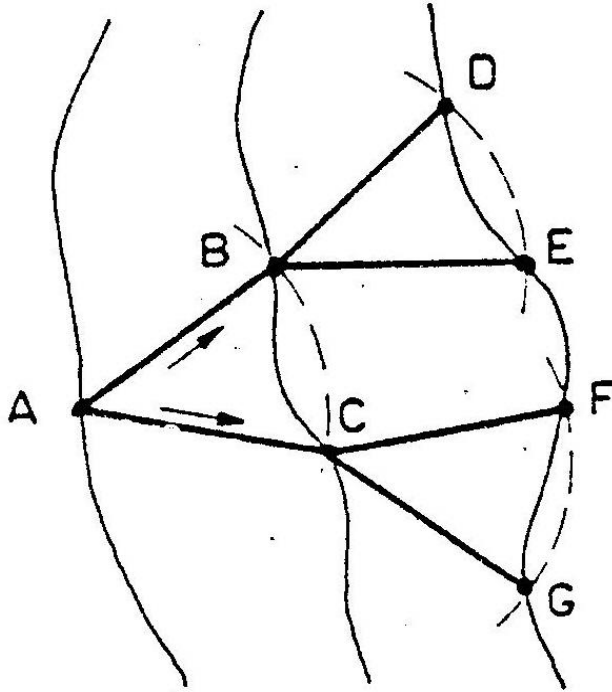
A l'échelle 1/2000, cette distance de 40m représentera $d_{(ch)} = 40 \times 1/2000 = 2cm$

Cette valeur correspond par conséquent au rayon que l'on prendra au compas.

Trois cas peuvent se présenter dans l'étude du tracé théorique, selon que la distance entre deux courbes voisines est inférieure, égale ou supérieure à la distance de cheminement d_{ch} .

1^{ère} cas

Fig 12 : deux points à exploiter pour le cheminement

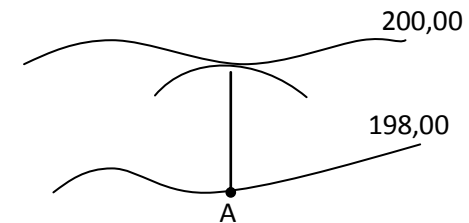


L'arc de cercle tracé à partir de l'origine A coupe la courbe voisine en deux points. Ceux – ci peuvent être exploités séparément pour continuer l'étude du cheminement vers la courbe suivante.

Il est à retenir, que ce cas se produit lorsque la pente réelle du terrain est supérieure à la déclivité maximum considérée.

2^{ème} cas

Figure 13 : point unique à exploiter

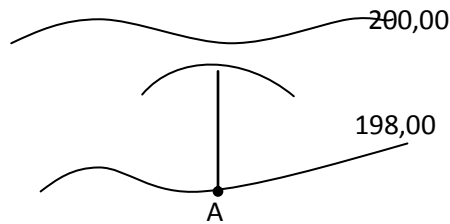


L'arc de cercle coupe la courbe suivante en un seul point. Il n'y a qu'une seule possibilité de pouvoir évoluer vers la courbe de niveau suivante, possibilité exploitant uniquement ce point.

Ce cas indique que la pente réelle du terrain est égale à la déclivité imposée.

3^{ème} cas

fig.14 : L'arc de cercle ne coupe pas la courbe suivante



L'arc de cercle a une longueur trop courte et n'arrive pas à couper la courbe voisine : il n'y a pas de solution. D'où, on considère que la pente maximale du terrain est inférieure à celle qui est imposée.

L'étude du tracée théorique offre plusieurs solutions (comme on le voit sur les figures) dont beaucoup feront l'objet de rejet dans la mesure où elles s'éloignent des points obligés, du point d'arrivée ou se dirigent vers des zones à éviter parce que bâties, marécageuses ou érosives, etc...

Les solutions à conserver s'appellent des tracés théoriques (ou ligne des zéros) passant par les sommets du polygone restant de manière constante

entre les courbes de niveau et servira de guide au tracé définitif.

Si du point de vue du terrassement le tracé théorique présente un certain idéal à cause de sa sinuosité, il ne comprend malheureusement pas des éléments géométriques (figure 10), d'où la détermination du tracé réel.

b) TRACE REEL

C'est la substitution du tracé théorique (lignes brisées) à celui constitué des alignements droits, des arcs de cercle et courbes de raccordement.

Il est recommandé de ne pas trop s'écarter du tracé théorique afin d'éviter de grands terrassements, comme on devra aussi éviter de raccourcir systématiquement le tracé et augmenter la déclivité.

Le tracé réel est une opération très délicate car de lui dépend la suite des études par rapport aux intérêts techniques et économique qui se présentent.

Lorsque les moyens logistiques les permettent, il est vivement conseillé de ne pas

limiter l'étude au bureau, mais de parcourir à pied le tracé étudié afin de faire la reconnaissance du terrain.

Considérant que le tracé théorique a permis de représenter une succession des lignes brisées et que le tracé réel a remplacé ces différents segments par des éléments rectilignes légèrement infléchis, éventuellement, et raccordés par des arcs des cercles déplacés latéralement vers l'intérieur de la courbe en vue de permettre le passage progressif du rayon infini de l'alignement droit à la courbe nulle au rayon R de cercle voisine à courbure $1/R$, dans la recherche du tracé idéal, on devra éviter :

- une courbe isolée à faible rayon
- une succession des courbes à rayons différents
- une succession d'une courbe et d'une contre courbe
- une visibilité insuffisante pour la vitesse de base.

Mais quel rayon faudrait – il adopter dans le tracé en plan ?

Le rayon à adopter dans le tracé en plan dépendra essentiellement des facteurs suivants :

- la vitesse de base à considérer pour la route
- le devers ou relèvement transversal sur la courbe
- le frottement transversal sur la chaussée
- la déclivité longitudinale de la route

Ainsi, nous retiendrons, en fonction d'un ou de plusieurs facteurs de ces variables, les formules ci – après :

$$R = \frac{0,004V^2}{e} \quad R = \frac{0,0079V^2}{(e + f)}$$

ou encore

$R = 0,05V^2$

Dans ces formules on a :

R = rayon en plan exprimé en m

V = vitesse de base adoptée, exprimée en km/h

e = relèvement transversal ou devers exprimé en %

f = coefficient de frottement transversal

c) **REMARQUE IMPORTANTE A RETENIR SUR LES COURBES**

Considérant que les lignes droites du tracé réel doivent être raccordées deux à deux par les courbes, trois questions peuvent alors se poser :

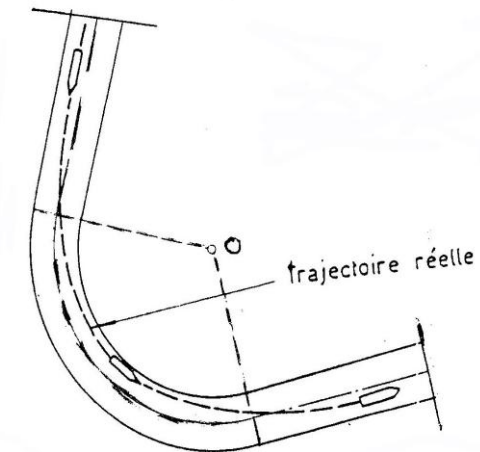
- comment devra – t – on assurer la stabilité sous l'effet de l'accélérateur centrifuge ?
- comment devra – t – on assurer la visibilité dans les courbes (ce point se rapporte au profil en long), et
- comment se présente – t – il le problème d'inscription des véhicules longs dans les courbes de faible rayon ?

Assurer la stabilité du véhicule sur la courbe

Lorsque entre l'alignement droit et le cercle de virage on n'a pas la courbe de raccordement (CR) progressif, la force centrifuge apparaît brusquement au point de tangence. L'accélération tendra subitement à faire dévier le véhicule de sa trajectoire normale. Dans son véhicule, le conducteur aura le sentiment d'insécurité et réagira

instinctivement en braquant son volant généralement plus qu'il ne faudrait. La tendance pour lui serait de prendre le virage à la corde en décrivant un rayon progressif aussi proche que possible de la trajectoire réelle (fig 15).

Fig 15 : tracé dont la forme est proche de la trajectoire réelle.



Pour obtenir géométriquement la stabilité sous l'effet de la force centrifuge, il importera d'agir sur deux facteurs importants à savoir :

- le rayon

- la pente de la chaussée dans le virage c'est-à-dire le dévers

Rayon de courbe en plan

Dans le virage, la partie circulaire doit être tracée avec un rayon unique et les courbes formées d'arcs de rayon différents sont à proscrire.

Lorsqu'il y a un cas exceptionnel où l'on peut quand même rencontrer des rayons différents, la longueur minimale de l'alignement entre les deux rayons devra correspondre à la distance parcourue par le véhicule pendant cinq secondes à la vitesse permise par le plus grand rayon de deux arcs de cercle.

Rayon minimum normal

Le rayon minimum normal de virage pour la vitesse à considérer sera obtenu dans la condition d'assurer la stabilité transversale sous l'action de la force centrifuge en tenant toutefois compte du relèvement du virage et du fait que la résistance au dérapage diminue quand la vitesse augmente. En d'autres termes on dira que le rayon minimum du virage

dépend du taux de relèvement i (dévers variant entre 4 et 8 % et du coefficient de réaction transversale f). Donc le rayon minimum normal doit être tel que la résultante des forces horizontales appliquées soit inférieure à la résistance de frottement, soit :

$$\frac{P}{g} \cdot \frac{V^2}{R} - P \sin i \leq P \cdot f$$

Dans laquelle on peut tirer

$$\frac{V^2}{gr} - \sin i \leq f$$

Dans cette inégalité on a :

P = poids du véhicule

V = vitesse de parcours de véhicule

g = accélération de la pesanteur

i = angle de relèvement de la courbe

R = rayon de la courbe

f = coefficient de frottement longitudinal pneus – chaussée

Si l'on considère la situation la plus défavorable c'est-à-dire $i = 0$ (pas de devers) et $f = 0,15$, on déduira

$$R = 0,05 V^2$$

R est exprimé en m et V en Km /h

Le rayon minimum absolu sera le 2/3 du rayon minimum normal et indique que le coefficient de sécurité ménagé est encore suffisant.

Pour les voies de desserte, le rayon minimum absolu est de 10m et correspond au rayon de braquage de certains véhicules d'incendie et des bennes d'enlèvement des ordures ménagères.

Relèvement des virages

Le devers devra demeurer constant tout le long de la partie circulaire. La valeur maximale prise usuellement est de 8%.

Raccordement

Dans ce problème, il est question de passer du profil en travers en toit en un profil en travers à un seul versant. Pour cela, il faudrait prendre le profil en travers et le pivoter :

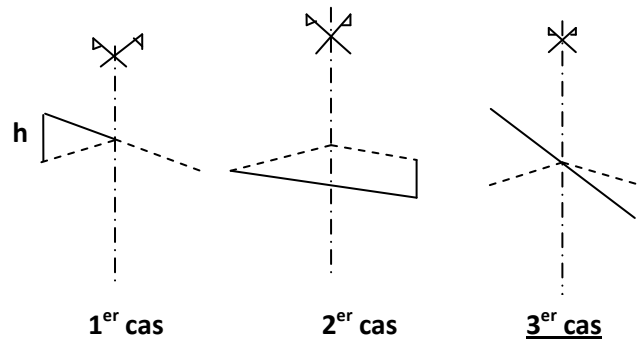
- soit au tour du bord extérieur de la chaussée c'est-à-dire en le relevant (exhaussement) du « grand rayon » (1^{er} cas)
- soit autour du bord intérieur de la chaussée c'est-à-dire qu'il faudrait abaisser le « petit rayon » (2^{ème} cas)
- soit autour de l'axe du profil en long (3^{ème} cas).

Géométriquement, ces trois procédés sont valables.

Lorsqu'il s'agit d'une chaussée existante, il est avantageux de recourir au premier procédé. Le relèvement du virage se fera en remblai et sur une plate forme solide. Par contre, pour les deux autres procédés, il sera question de démolir le tout ou une partie de l'assise, ce qui est parfois difficiles de

reconstituer l'équivalent comme on peut le voir sur les figures 16

Fig. 16 : cas de passage du profil à 2 versants au profil à pente unique



Considérant que la force centrifuge naît avec la courbe et disparaît aussi au même moment qu'elle, il est indiqué de faire régner le devers sur toute l'étendue de la dite courbe sans aller ni au de ça ni au-delà. Il faudrait par conséquent prévoir entre le plein devers et le profil normal de l'alignement droit qui le précède ou qui le suit, une zone de raccordement dans laquelle la courbe en plan augmentera progressivement et où le devers s'établira lui aussi progressivement.

Donc, la Longueur L du raccordement devra être suffisante pour permettre :

□ d'introduire progressivement le devers d'une part, c'est la condition de gauchissement ou de rapidité d'introduction du devers ; et de ne pas imposer d'autre part aux véhicules une variation trop rapide de la sollicitation transversale (condition de confort).

S'agissant de la condition de gauchissement ou de rapidité d'introduction, on retiendra le souci d'éviter de donner lieu à un mouvement brutal de balancement aux véhicules au moment où ils passent d'un profil en toit en alignement à un plan incliné allant jusqu'à 8% dans les virages.

Voici, en fonction de la vitesse V du véhicule, quelques valeurs représentant la longueur L du raccordement :

Tableau 1 : longueur L en fonction de la vitesse.

V (Km/h)	40	50	80	100	120
L (m)	5,5	8,5	11	14	16,5

Exemple : pour une vitesse de référence de 50Km/h, le passage d'un profil en travers de 2% de pente transversale en toit à un profil en travers à un seul versant au devers maximum de 7% entraîne une variation de devers de $2 + 7 = 9\%$; il sera nécessaire de considérer une longueur de raccordement : $9 \times 8,5 = 76,5\text{m}$

Pour ce qui est de la condition de confort, il y a lieu de dire que pendant le parcours du raccordement, la variation par unité de temps de la partie de la force centrifuge non compensée par l'effet du devers est suffisamment faible et se traduit par l'expression :

$$\frac{\frac{V^2}{R} - g.d}{\frac{L}{V}} \leq k.g$$

Dans laquelle :

V = vitesse du véhicule en m/s

L = Longueur du raccordement en m

R = rayon de raccordement en plan

g = la pesanteur

d = dévers

k = coefficient du degré de confort

$$\text{d'où } L \geq \frac{1}{k} V \left(\frac{V^2}{127R} - d \right)$$

Habillage, on utilise la formule suivante :

$$L \geq \alpha \left(\frac{V^2}{127R} - 2 \right)$$

Dans laquelle V = vitesse exprimée en km/h

R = rayon exprimé en m

D = taux du devers

α = coefficient prenant les valeurs
2,8 ; 4,2 ou 5,6

Raccordement progressif entre alignements et courbes

Entre l'alignement droit à courbure nulle et le cercle du virage dont la courbe est $\frac{1}{R}$, le véhicule doit suivre une courbe dont la courbure $1/R$ varie progressivement de 0 à $\frac{1}{R}$ c'est-à-dire qu'il doit suivre une trajectoire à variation continue. En pratique, lorsque les rayons sont supérieurs à 500m, le véhicule trace lui – même sa courbe de raccordement ; mais au – dessous de 500m, le tracé de la voie devra épouser celui d'une courbe de raccordement progressif.

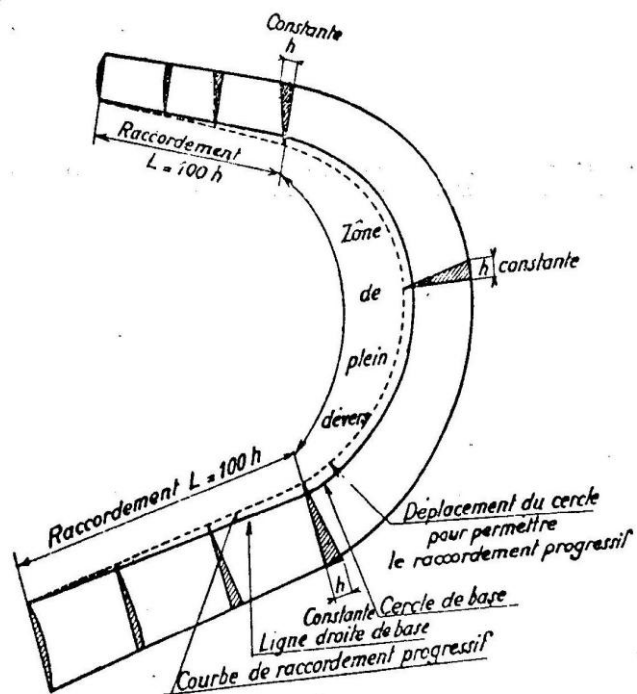
Le raccordement à courbure progressive facilite les manœuvres des automobilistes qui abordent le virage et peuvent braquer de manière progressive tout en restant bien à leur place sur la chaussée. La longueur de raccordement progressif est la plus élevée des deux valeurs calculées précédemment dans les conditions de gauchissement et de confort.

Pour faire ce raccordement, comme le démontre la figure 17 ci – dessous, on a donné au cercle vers l'extérieur de la courbe un déplacement dont la valeur est approximativement

$$\frac{L^2}{24R}$$

L = longueur de raccordement à établir

R = rayon du cercle primitif

Fig.17 : raccordement progressif¹

Il existe un grand nombre de courbes progressives. La courbe couramment utilisée est la clothoïde. On recourt sur le terrain à des tables permettant de piqueter sur place les courbes de raccordement à courbure progressive.

¹ Extrait du cours de routes, Eyrolles, 1972

Surlargeur dans le virage de moins de 200m de rayon en dehors de carrefour

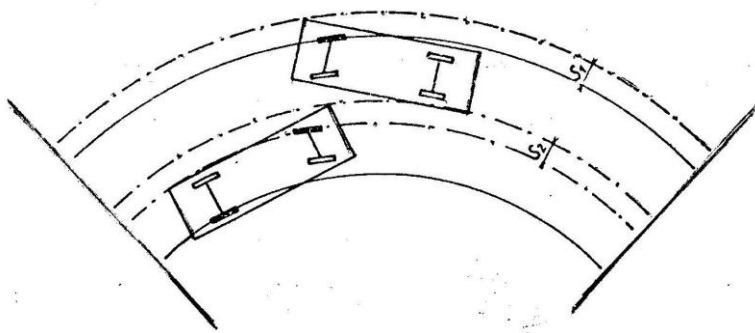
C'est un autre aménagement qui se fait sur le profil en travers dans le virage de rayon $< 200\text{m}$. Ainsi, lorsqu'un véhicule suit une trajectoire courbe, ses roues avant (directrices) prennent une position oblique par rapport à son axe longitudinal, mais le grand coté de rectangle circonscrit en plan à sa carrosserie reste parallèle : le gabarit transversal du véhicule s'accroît progressivement.

Au moment où il y a croisement dans ce virage de faible rayon, il est possible qu'il résulte un accrochage alors que cette même largeur de la chaussée est suffisante en alignement droit pour un croisement normal.

Pour qu'un véhicule de grande longueur (on prendra $\geq 10\text{ m}$) puisse s'inscrire dans la largeur d'une voie d'une chaussée, il convient dans un virage de rayon R , d'augmenter cette voie d'une certaine surlargeur égale à : $S = \frac{50}{R}$ (par voie et pour

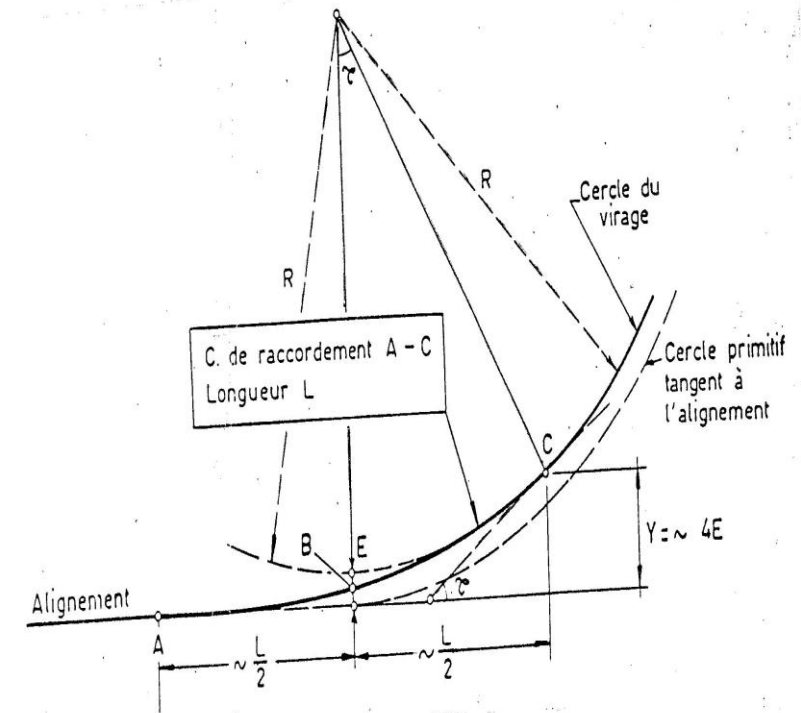
$R < 200\text{m}$). Cette valeur s'ajoutera de part et d'autre de l'axe.

Fig 18 : surlargeur nécessaire



- Courbes mathématiques connues

fig 19 : courbe de raccordement A – c Longueur L



Considérant les données suivantes : R et E , la courbe de raccordement (CR) est tracée par A – B – C B à $\sim \frac{1}{2}E$ $Y = \sim 4E$.

Il importe d'indiquer les 3 types de courbes de raccordement mathématiquement connues et qui satisfont à la condition désirée d'une variation

continue de la courbure. Ces trois courbes dont le piquetage sur le terrain est commode sont :

- ☐ parabole cubique
- ☐ lemniscate
- ☐ clothoïde

dont l'équation générale est $y = \cos st \cdot x^3$

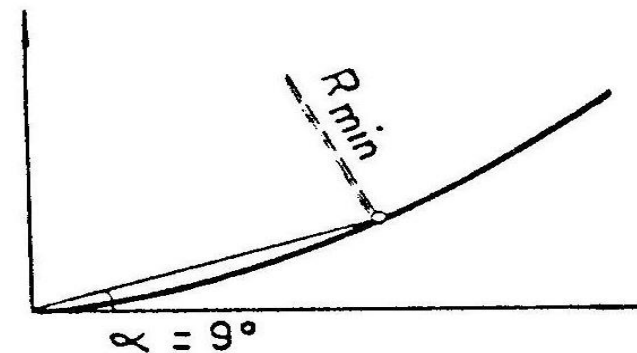
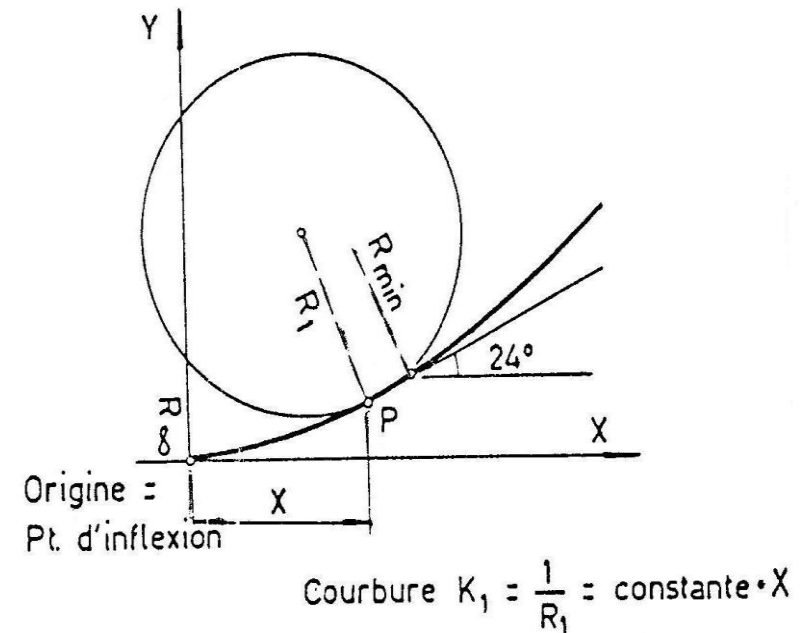
a) Parabole cubique

C'est une courbe de raccordement dont la courbure est proportionnelle à l'abscisse mesurée à partir du point d'inflexion sur la tangente en ce point.

Sa courbure augmente jusqu'à un maximum (angle de tangente 24° ou angle polaire 9°), puis elle diminue, c'est-à-dire que le rayon augmente de nouveau.

La parabole cubique est d'un emploi limitée étant donné que le maximum de sa courbure est vite atteint et ne convient qu'à des raccordements de très grands rayons. Elle est généralement utilisée dans le tracé des chemins de fer.

Fig. 20 : parabole cubique



b) Lemniscate

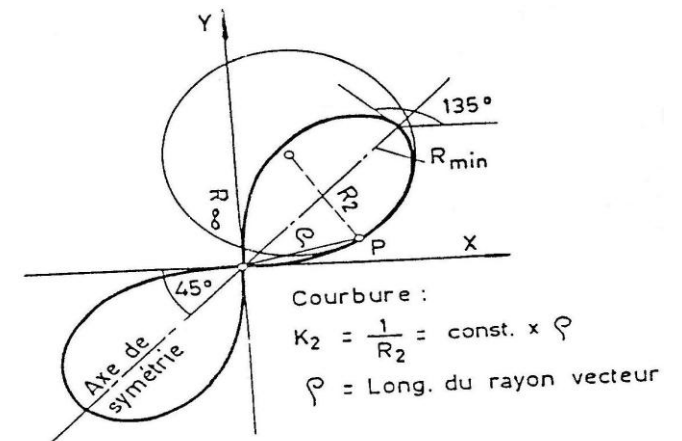
C'est une courbe de raccordement dont la courbure est proportionnelle à la longueur du rayon vecteur, mesurée à partir du point d'inflexion ou centre de symétrie.

Sur les figures 21, on peut voir le maximum de courbure sur la bissectrice des axes de coordonnées, pour un angle de tangente 135° ou un angle polaire de 45° .

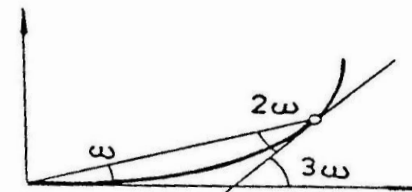
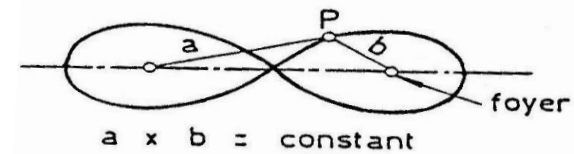
La lemniscate peut également se définir comme étant un lieu géométrique des points dont le produit de leurs distances à deux points fixes (foyers) est constant.

Cette courbe de raccordement trouve des applications pratiques pour certains problèmes de tracé de route dont par exemple le trèfle d'autoroute.

Fig.21. : lemniscate



Lieu des points P :



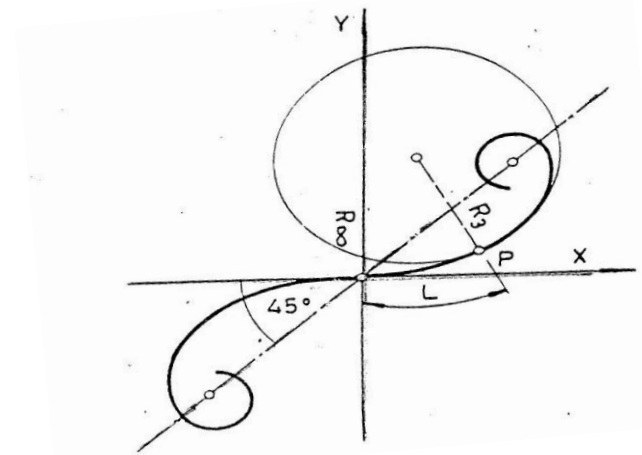
c) Clothoïde

C'est une courbe de raccordement dont la courbure est proportionnelle à l'abscisse curviligne (ou longueur de l'arc), mesurée à partir du point d'inflexion.

Elle est une variation de courbure continue dans le même sens, entre la courbure 0 et la courbure infinie ($R = 0$).

La Clothoïde permet le raccordement de deux éléments géométriques du tracé faisant entre eux un angle quelconque. C'est ainsi qu'elle est considérée comme une courbe idéale du point de vue dynamique. Le véhicule dont le conducteur maintient une vitesse constante (uniforme) et qui tourne son volant de direction à vitesse angulaire constante, décrit une véritable clothoïde. L'arc parcouru ou chemin parcouru L est linéairement proportionnelle à la courbure K :

$$L = c \times k \quad (c = \text{constante})$$



$$\text{Courbure : } K_3 = \frac{1}{R_2} \cos t. \times L$$

L = abscisse curviligne ou longueur de l'arc

Quel choix faut-il faire entre ces 3 courbes de raccordement ?

Dans le tracé des routes, on peut en principe utiliser l'une ou l'autre de ces 3 courbes de raccordement comme on peut le voir sur la figure 23 où nous avons rapporté sur un même graphique ces trois courbes qui sont très semblables pour le tronçon voisin de l'origine des coordonnées. Le

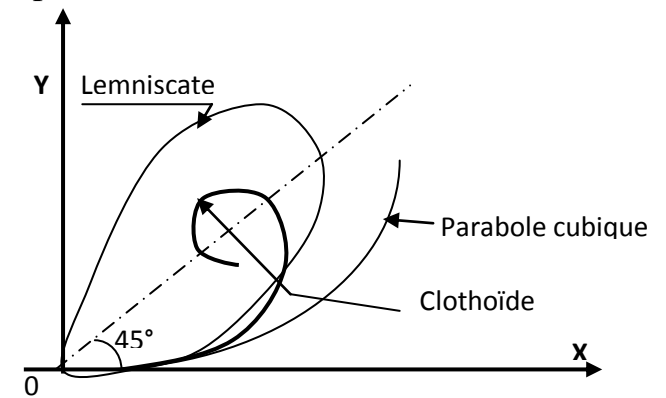
piquetage sur le terrain de ce tronçon ne donnerait que quelques cm de différence entre les trois courbes.

Comparativement à la clothoïde, la parabole cubique diffère peu jusqu'à un angle de tangente de 15° , alors que pour la lemniscate, l'angle de tangente varie jusqu'à 30° .

En négligeant certains termes des développements en série et pour des angles polaires faibles (jusqu'à 4 à 5°), les trois courbes peuvent être définies par la seule équation que voici :

$$Y = \frac{x^3}{6RL}$$

fig.23 : présentation de 3 courbes raccordement



La Clothoïde ou la courbe de raccordement idéale

Théoriquement, la clothoïde est la courbe qui est appliquée souvent dans les projets de routes. Elle est considérée par conséquent comme la courbe idéale pour le raccordement.

La clothoïde est une spirale, dont le rayon de courbure décroît d'une façon continue dès l'origine (ou point d'inflexion) où il est infini jusqu'au point asymptotique où il est nul (sur la bissectrice des coordonnées). Elle renferme deux branches symétriques par rapport à l'origine.

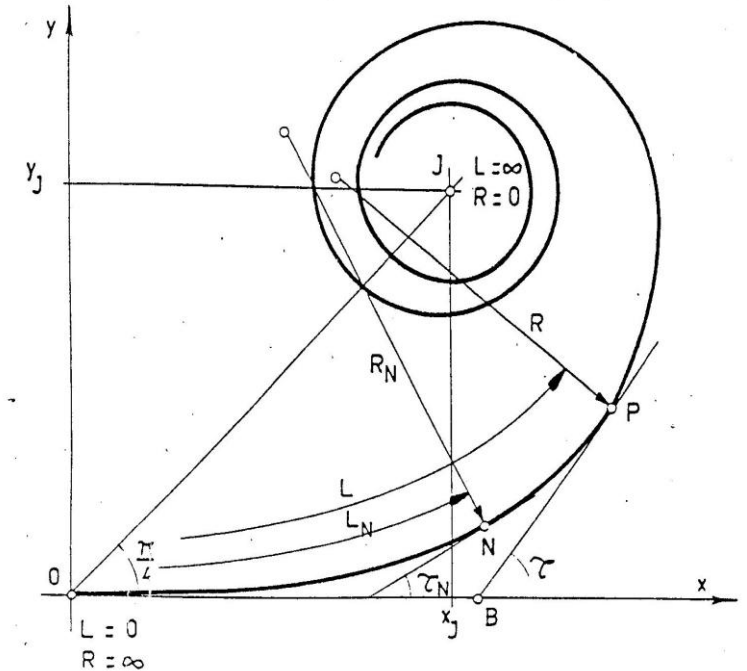
La courbure de la clothoïde est linéaire par rapport à la longueur de l'arc. Grâce à cela, si l'on relie par exemple deux cercles différents entre eux par un arc de clothoïde aux points de contact, non seulement les tangentes sont confondues, mais également les centres de courbure.

Parcourue à vitesse constante, la clothoïde maintient constante la variation de l'accélération transversale, et cela est très avantageux pour le confort des usagers.

Comme dit ci – haut, la variation constante de la courbure de la clothoïde correspond pour le conducteur, à une rotation constante de son volant (valable pour $R < 1000$ m ; pour de plus grands rayons, la trajectoire est de toute façon polygonale).

La Clothoïde, si elle est bien choisie, satisfait également aux exigences d'esthétique et de confort optique (perspective).

Fig. 24 : présentation détaillée de la clothoïde



$$x_j = y_j = \frac{A}{2} \sqrt{\pi}$$

J = point asymptotique de la clothoïde (centre)

P = point quelconque

N = point singulier

$$R_N = L_N = A_N$$

$$\tau_N = 28^\circ 38' 52'' = 31.8310^G$$

Rapport des tangentes :

$$\overline{BP} : \overline{OB} \sim 1 : 2 (\tau < 45^\circ)$$

- Relation mathématique de la clothoïde

Etant donné que la courbure k est linéairement proportionnelle à la longueur curviligne L , on a :

$$K = \text{constante } C.L \quad K = \frac{1}{R}$$

$$L.R = \frac{1}{C}$$

Posons pour l'homogénéité de la formule :

$$\frac{1}{C} = A^2,$$

l'équation fondamentale sera : $L.R = A^2$

Ainsi, en considérant un point P de la clothoïde, on a :

R = rayon de courbure en ce point A (rayon du cercle osculateur)

L = longueur le long de la courbe entre l'origine et le point P

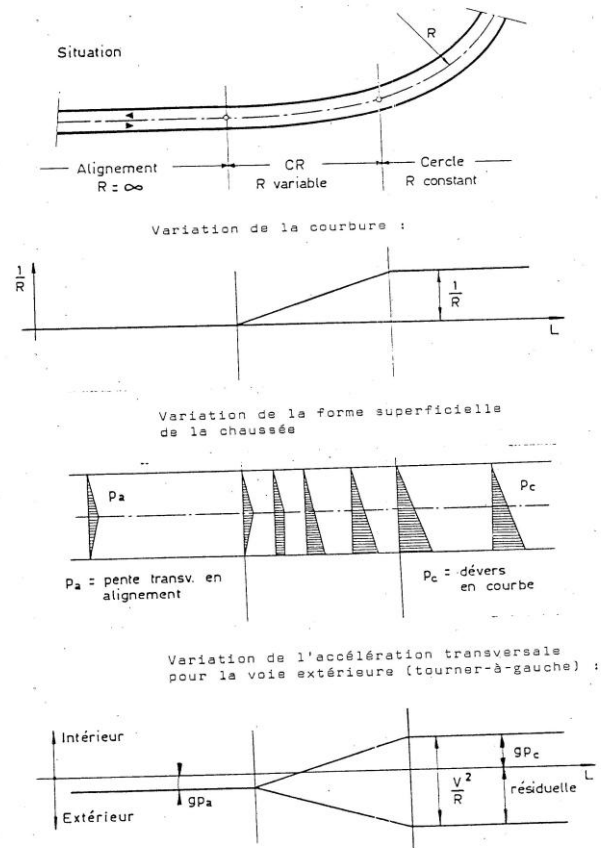
A = paramètre

Mais à l'origine $L = 0$ et $R = A^2 = \infty$

Dès l'origine, L augmente, tandis que R diminue ; et on a une spirale.

S'agissant de la valeur du paramètre A , on considère qu'elle définit une clothoïde, c'est-à-dire qu'à chaque paramètre correspondra une seule clothoïde. En faisant varier A , on obtient une famille de clothoïdes homothétiques géométriquement semblables entre elles.

Fig.25 : schématisation de la variation de la courbure



Piquetage de la clothoïde sur le terrain

La clothoïde est une courbe de raccordement qui est piquetée sur le terrain point par point par coordonnées rectangulaires ou par coordonnées polaires conformément aux instruments disponibles.

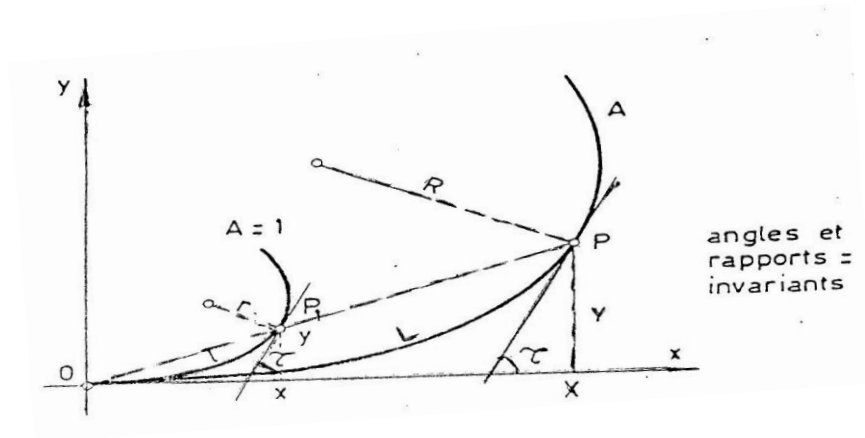
Les éléments des coordonnées doivent être connus et sont malheureusement les intégrales impossibles à résoudre par les mathématiques élémentaires.

En pratique, la clothoïde est implantée en faisant usage des tables déterminant les différents éléments.

Parmi les tables utilisées, nous pouvons citer par exemple celle de KLAUS qui considère que le paramètre $A = 1$ (clotho unitaire, table unitaire) dont l'équation fondamentale est :

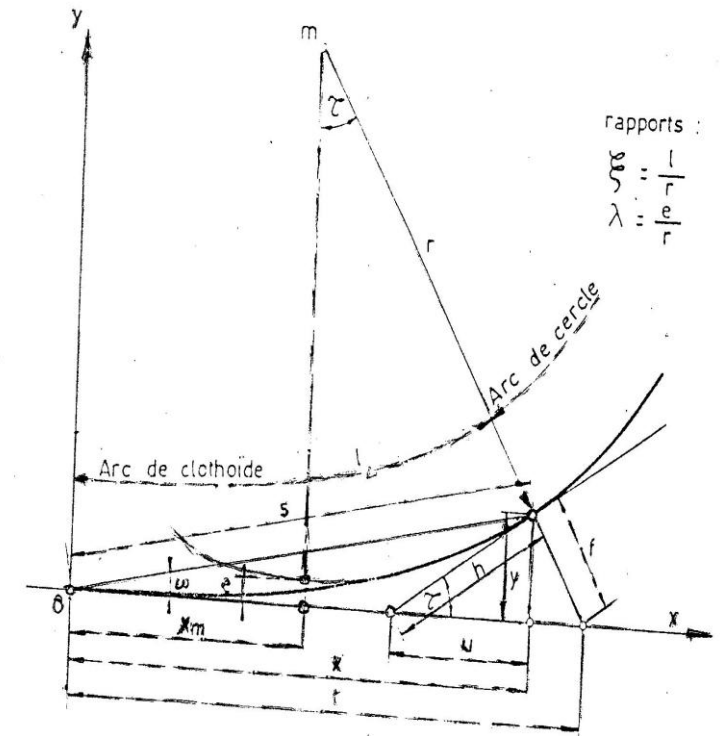
$$Lr = 1$$

Fig. 26 : Eléments des coordonnées par p



Clothoïde	Unitaire	Quelconque	
Equation	$l \cdot r = 1$	$L \cdot R = A^2$	$Y = A \cdot y$ etc
$L = A \cdot l$	$R = A \cdot r$	$X = A \cdot x$	

Fig.27 : Eléments de la clothoïde unitaire donnés par la table de KLAUS :



3. Le profil en long

3.1. Définition

Le profil en long se définit comme étant une représentation (coupe) longitudinale du terrain à l'échelle réduite suivant le plan vertical passant par l'axe de la route.

Ce document représente essentiellement deux lignes importantes ; celle du terrain naturel dessinée en noir et l'autre du projet dessinée en rouge. Représentant l'axe de la route, ces deux lignes passent par le début et la fin du projet ainsi que les points obligés.

3.2. Notion de déclivité

La déclivité est la ligne du projet selon qu'elle va dans le sens de la montée, c'est la rampe ou dans le sens de la descente c'est la pente.

Pour la tracer, on s'efforce de monter le moins possible afin d'éviter le dépassement de la déclivité maximum de la région intéressant l'étude.

3.2.1. *Déclivité minimum*

Soulignons que pour des raisons d'assurer un bon écoulement des eaux pluviales, une déclivité horizontale dite « palier » doit être évitée. Ainsi donc, l'eau qui sera accumulée latéralement devra être évacuée longitudinalement avec facilité. La déclivité minimum est : $p_{\min} = 0,5\%$, de préférence 1%.

Certains auteurs proposent dans des localités d'utiliser $p_{\min} = 0,3\%$ voir 0,2%.

Dans les localités urbaines comme à Kinshasa par exemple où le sol est sablonneux, la déclivité minimum conseillée est de 0,5%, de préférence 1%, si cela est possible comme dit plus haut.

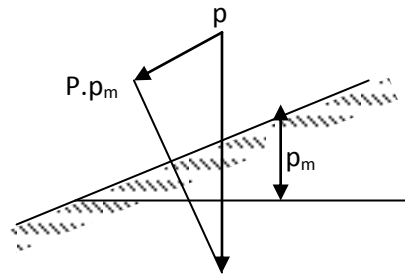
3.2.2. Déclivité maximum (rampe maximum théorique)

Sur un tronçon de route, la rampe maximum est celle qui ne permet plus au véhicule d'avancer (et ou commence à patiner), c'est-à-dire que théoriquement, l'adhérence est égale à la composante du poids plus les résistances contre le mouvement.

$$p_i f \geq P(k_r + p_m)$$

A la limite, $p_m = \frac{P_1}{P} \cdot f - k_r$

Généralement : $P_1 = \frac{2}{3} P$



$$p_m = 0,67 f - k_r$$

P = poids du véhicule

p_1 = poids adhérent = poids sur roues motrices

p_m = rampe maximum

f = coefficient du frottement entre pneus et chaussée

Traction sur deux essieux : $f - k_r = p_m$

K_r = coefficient de résistance au roulement

Si on a par exemple $K_r = 0,02$,

Pour une voie sèche $f = 0,4081$

on aura $p_{\max} = \pm 25\%$

3.2.3. Rampe économique

Bien qu'ils puissent monter à de faibles vitesses, certains camions sont capables de gravir de fortes rampes variant entre 10 et 20%.

Il importe de retenir que l'augmentation excessive d'une rampe donne lieu aux inconvénients ci – après :

- faible vitesse
- gêne du trafic
- effort de traction considérablement accru.
- coût élevé de transport
- consommation excessive de carburant

Cette question n'a pas un caractère simplement technique mais aussi économique et un compromis doit être trouvé entre le coût de la construction et les frais supplémentaires d'exploitation à long terme.

3.2.4. De manière pratique les valeurs maximum ci après peuvent être adoptées en ce qui concerne les déclivités. Il s'agit :

- route de desserte : 10% - 12%
- route secondaire : 8 – 10%
- route principale : 4 – 6%
- voie rapide : 3 – 5%

Toutefois, il sera nécessaire de vérifier si des voies lentes ou des voies de dépassement ne sont pas nécessaires.

Dans un projet de route, l'adoption d'une déclivité maximum est liée à un certain nombre des facteurs dépendant du relief du terrain, du trafic empruntant la route, de la vitesse de base et des rayons du tracé en plan.

En région montagneuse, certains auteurs conseillent d'adopter les valeurs variant entre 8 – 10%, tandis qu'en pleine et en zone peu

accidentée on peut utiliser respectivement ; 4% et 6 – 8%.

3.2.5. Considérations sur les variations des déclivités

Dans l'étude du profil en long, il faut tenir compte de la variation des déclivités selon que l'on passe d'un point haut ou bas devant dans certains cas être introduite de manière progressive.

Il est donc évident que le passage d'une déclivité à l'autre puisse être adouci afin d'éviter aux occupants du véhicule les sensations désagréables dues aux variations brusques des composantes verticales des accélérations du véhicule désignées couramment par le terme « coup de raquette ». Des courbes de raccordement entre deux inclinaisons successives appelées « courbes de raccordement vertical » seront donc adoptées.

3.2.5.1. Cas rencontrés

a) Succession des déclivités de même sens

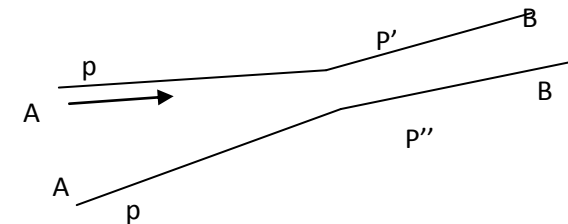


Fig.29 : rampe suivie d'une rampe

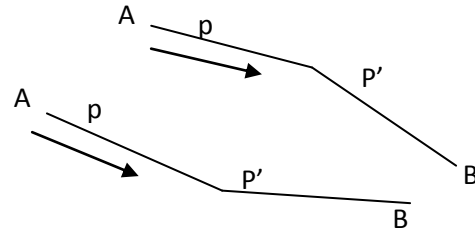


Fig.30 : pente suivie d'une pente

b) Succession de deux déclivités contraires

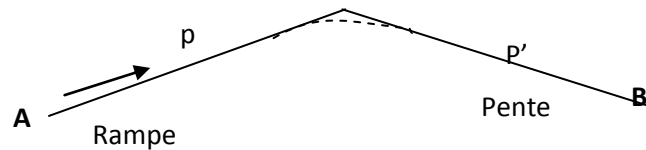


Fig.31 : rampe suivie d'une pente

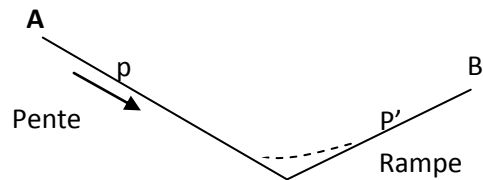


Fig.32 : pente suivie d'une rampe

Deux déclivités qui se succèdent doivent être raccordées et ce raccordement se fera tangentiellement aux deux droites considérées.

Le raccordement ainsi adopté interviendra par conséquent dans le respect :

- de la visibilité suffisante pour la vitesse de base considérée
- du confort des usagers des véhicules
- de la puissance disponible du moteur

Ainsi donc, le rayon de raccordement convexe doit satisfaire aux deux premières conditions relatives à la visibilité et au confort.

3.2.5.2. *Prise en compte de condition de visibilité*

Il est important de noter que si le tracé en plan ainsi que le raccordement vertical du profil en long sont mal faits, ils peuvent compromettre la visibilité.

Considérant deux déclivités de sens opposés, on appellera point haut, la succession de deux déclivités n'occasionnant pas à deux véhicules qui sont sur le point de se croiser, de pouvoir s'apercevoir à une distance au moins égale à la somme de leurs distances de freinage respectives

correspondant à la vitesse de base admissible pour la route.

La distance à admettre pour qu'un véhicule puisse freiner en toute sécurité dépendra :

- de la vitesse de base ou vitesse maximum du véhicule
- du temps de perception du conducteur
- de l'état mécanique du véhicule (pneumatique, freins)
- de l'état de la chaussée.

Si l'on admet que la chaussée comme le véhicule sont en bon état, la distance qu'il faudra pour freiner s'exprimera par l'expression :

$$D = \frac{V}{5} + \frac{V^2}{100}$$

dans la quelle :

V = vitesse du véhicule en Km/h

$\frac{V}{5}$ = terme correspondant à l'attention concentrée du conducteur

$\frac{V^2}{100}$ = terme introduit par la vitesse du véhicule

En attention diffuse on a l'expression :

$$D = \frac{2V}{5} + \frac{V^2}{100}$$

Fig.33 : raccordement convexe et concave

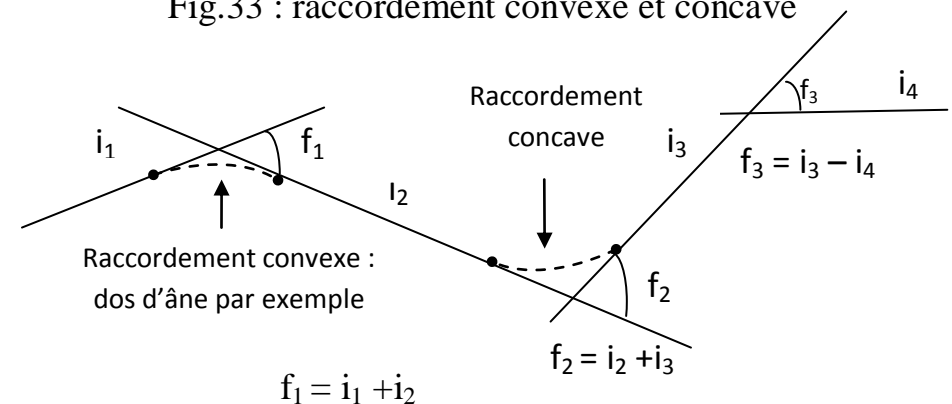
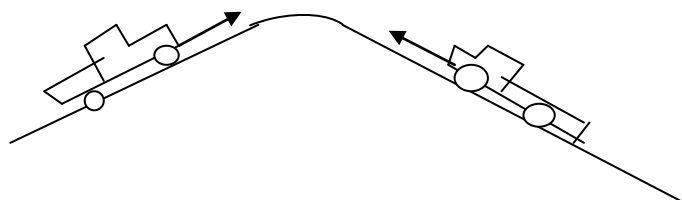


Fig.34 : visibilité en courbe



3.2.5.3. Condition de confort

Le confort est la deuxième condition recherchée dans un raccordement convexe. En effet, lorsque le profil en long comporte une forte courbure convexe, le véhicule qui s'y engage est soumis à une accélération verticale importante qui modifie sa stabilité et gêne les usagers au risque de les projeter brusquement au plafond ou les précipiter sur leurs sièges.

3.2.5.4. Réduction de la déclivité maxima admissible

Considérant l'alignement droit placé avant le virage et comportant sa rampe maximum, on doit, au niveau du virage, réduire cette déclivité afin qu'une disponibilité de puissance du moteur du véhicule permette d'absorber le surplus d'effort de

traction introduit par la courbe du tracé en plan. La réduction de cette déclivité devra se voir maintenir sur une certaine distance sur l'alignement amont afin de permettre au véhicule de pouvoir reprendre sa vitesse ayant été réduite en courbe.

3.2.5.5. Rayon de raccordement vertical

Sur une courbe, la sécurité exige une visibilité telle que l'œil du conducteur supposé être à 1 m au dessus de la chaussée puisse apercevoir le dessus de la carrosserie du véhicule haut de 1,30 venant en sens inverse à une distance exprimée par la relation :

$$2D = 2 \left(\frac{V}{5} + \frac{V^2}{100} \right)$$

Cette distance est calculée en attention concentrée étant donnée la circulation dans le sens inverse et à laquelle le conducteur devra s'attendre. De même, la sécurité exige aussi que

l'automobiliste puisse s'arrêter devant un petit obstacle de 25 cm de hauteur se plaçant sur sa bande de roulement. Dans cette situation, la distance de visibilité exigée sera :

$$D = \frac{2V}{5} + \frac{V^2}{100}$$

calculée en attention diffuse étant donné que l'obstacle est imprévisible.

Pour exprimer ces deux conditions, on adopte un rayon R pouvant satisfaire à la fois à :

$$R_1 = 0,436 D_1^2$$

⇒ pour une chaussée à deux sens de circulation

$$R_2 = 0,222 D_2^2$$

⇒ pour une chaussée à sens unique avec séparateur central

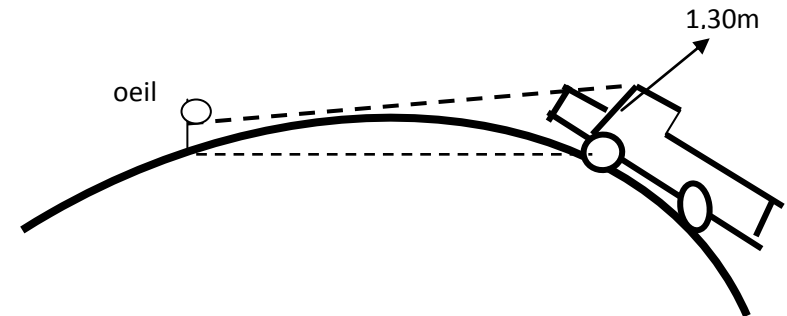
Les rayons de raccordement vertical sont très grands soit de 1 à 25km pour des vitesses de base de l'ordre de 60 à 150km/h

Dans certains ouvrages de spécialité, certains auteurs moins exigeants conseillent de prendre

$$R_1 = 0,4 D^2 \Rightarrow \text{aux points hauts}$$

$$R_2 = 0,2 D^2 \Rightarrow \text{aux points bas}$$

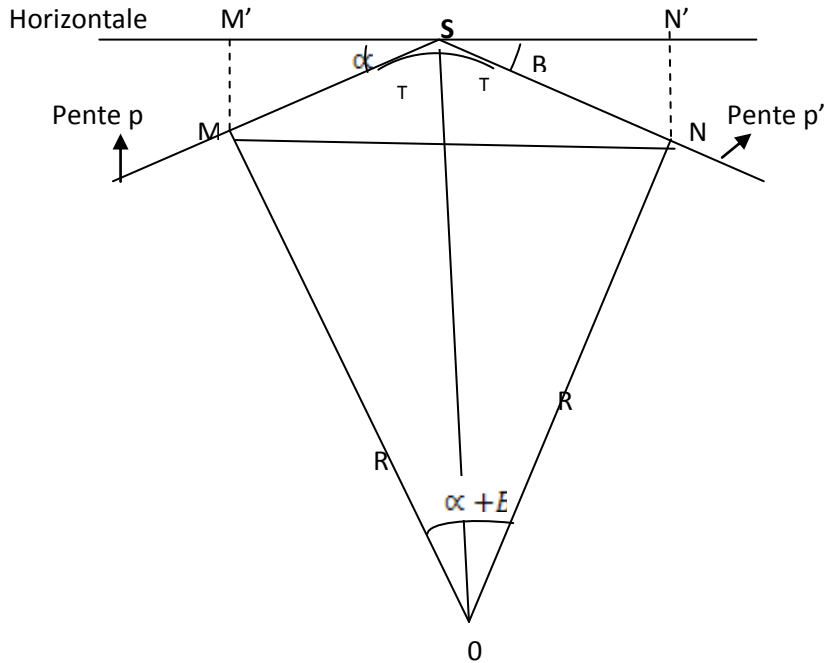
Fig.35 : distance de visibilité



3.2.5.6. Répercussion du raccordement vertical sur la ligne rouge.

Soit un point S considéré comme un point haut et qui est formé par deux versants de pentes p et p' . Dans la phase de l'avant projet, le raccordement sera déterminé à suffisance par le rayon R , les points M et N de tangence et l'abaissement ST (ou sa projection ST') du point haut.

Fig.36 : raccordement vertical



Dans la figure 33, nous avons :

$$SM = SN = R \operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2} = R \frac{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta}{2} = R \frac{p + p'}{2} \quad (1)$$

- Etant donné que les angles α et β sont très petits, les distances $\boxed{SM' = SM \cos \alpha}$ et $\boxed{SN' = SN \cos \beta}$

Et à l'échelle des abscisses, on a les points M et N par projection. S'agissant du ΔSOM , on a :

$$ST = SO - R \frac{R}{\cos \frac{\alpha + \beta}{2}} - R \text{ avec}$$

$$SO^2 + MO^2 = \left(R \frac{p + p'}{2} \right)^2 + R^2$$

$$\Rightarrow ST = \sqrt{R^2 \left(\frac{p + p'}{2} \right)^2 + R^2} - R$$

$$ST = R \sqrt{\left(\frac{p + p'}{2} \right)^2 + 1} - R = R \sqrt{\left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{p + p'}{2} \right)^2 \right]^2} - R$$

En négligeant les termes en p et p' à la 4^{ème} puissance :

$$ST = R \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{p+p'}{2} \right)^2 \right]^2 - 1 = \frac{R}{2} \left(\frac{p+p'}{2} \right)^2 \quad (2)$$

Donc ; $\boxed{ST = \frac{R}{2} \left(\frac{p+p'}{2} \right)^2}$ = l'abaissement

Par la suite on portera finalement $ST = ST'$ verticalement à partir du point S à l'échelle des hauteurs choisie et la courbe M – T – N sera tracée à partir de ces 3 points et de sa tangence aux déclivités p et p'

Ex : considérant deux déclivités ayant $p = 4\%$ et $p' = 6\%$ inverses par rapport à l'horizontale et $V_b = 70\text{Km/h}$.

On aura : $D = \frac{70}{5} + \frac{70^2}{100} = 63m$

$R(\text{sommet}) = 0,4 \times (63)^2 = 1600 \text{ m de rayon de raccordement}$

$SM = SN = 1600 \frac{0,04 + 0,06}{2} = 80m (\text{tangentés})$

$SM' = 80m \cos \alpha = 79,92m$

$SN' = 80 \cos \beta = 79,89m$

$ST = \frac{1600}{2} \left(\frac{0,04 + 0,06}{2} \right)^2 = 2,00m (\text{abaissement})$

Dans l'hypothèse où p et p' sont de même sens c'est-à-dire une montée suivie d'une autre montée ou d'une descente suivie d'une autre descente, le facteur $(p + p')$ deviendrait $(p - p')$.

Généralement on a : $SM = R \left(\frac{p \pm p'}{2} \right)$ et

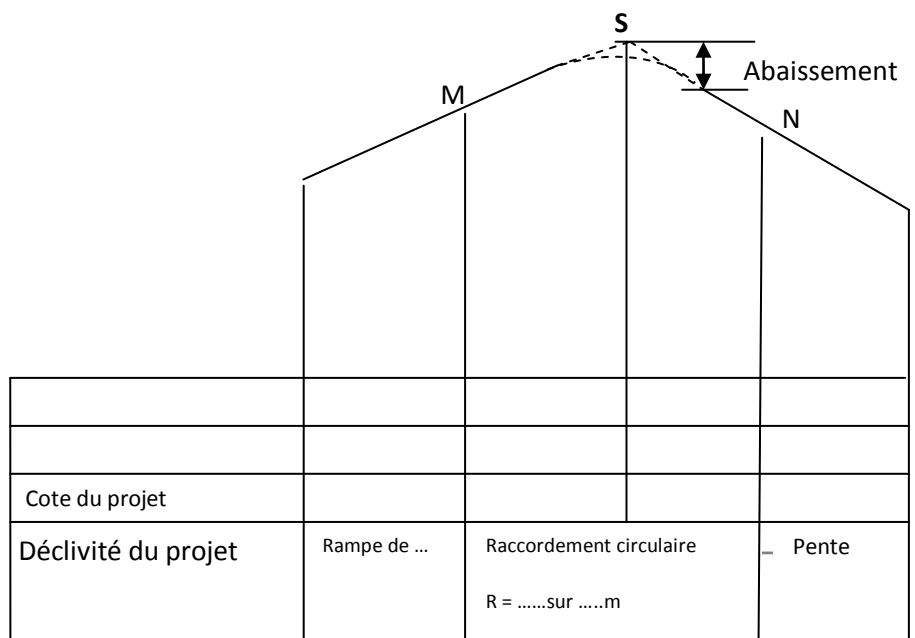
$$\boxed{ST = \frac{R}{2} \left(\frac{p \pm p'}{2} \right)^2}$$

La valeur de ST est considérée comme étant suffisamment exacte en pratique.

Sur le profil en long, on doit prendre des précautions pour dessiner les raccordements circulaires, du fait que l'échelle des hauteurs adoptée est généralement plus grande (10 fois p.ex) que celle des longueurs.

Compte tenu de la déformation des échelles, on sera empêché de dessiner la courbe au compas pour la simple raison que le cercle sur le dessin du profil en long devient une ellipse dont le rapport des axes est dans les rapport des échelles hauteurs longueurs (soit le rapport de 10 en générale)

Fig.37 : raccordement circulaire en profil en long



3.2.5.7. Nivellement de la ligne du projet (ligne rouge)

La ligne du projet est fixée par tâtonnement et tient essentiellement compte des considérations ci – après :

- respecter les cotes intermédiaires obligées pouvant être les points particuliers à desservir, le niveau de la chaussée au droit d'un ouvrage d'art, un passage à niveau, etc...
- économiser le déblai en terrain difficile (terrain rocheux par exemple) ;
- tenir compte de la hauteur admissible des remblais eu égard à la possibilité de leur établissement et à leur bonne tenue ultérieure ;
- avoir présent à l'esprit la nécessité ou non de compenser le remblai et le déblai etc... ;
- le respecter de la déclivité maximum ;
- limiter tant que faire se peut de nombreux ouvrages d'art ;

- éviter tant que faire se peut les terrains marécageux ou exposés à l'érosion, etc.

3.2.5.8. Présentation du profil en long

Le profil en long est un document qui est présenté dans le souci de tenir essentiellement compte des considérations relatives à sa mise en page et des éléments à reporter.

1. Mise en page du profil en long

On doit avant tout tenir compte des échelles à adopter. D'une manière générale, on prendra sur l'axe des abscisses, l'échelle utilisée dans le tracé en plan et pour ce qui est des hauteurs, la même échelle exagérée de 10 fois (agrandie de 10 fois).

Les éléments ci – après devront alors faire l'objet du report. Il s'agit :

- plan de comparaison et numéro des profils
- cotes du terrain naturel (en noir)
- cotes du projet (en rouge)
- distances partielles
- distance cumulées
- déclivités du projet (en rouge)

Il est à noter que dans le choix du meilleur tracé (étant donné qu'on est en présence de plusieurs variantes), on peut, en première approximation, se contenter d'un profil en long sommaire pour chaque variante en tenant seulement compte des côtes du projet et du terrain naturel, ainsi que les distances cumulées. Il faudrait par ailleurs tenir également compte de l'indication des pentes sur la ligne rouge afin de pouvoir s'assurer que la déclivité maximale admissible n'a pas été dépassée.

2. Eléments à reporter

En ce qui concerne les éléments à reporter, on notera :

- le plan de comparaison

On prend comme plan de comparaison un plan ayant une côte arrondie à 100 ;50 ou 10 m près, de telle manière à ce que le calcul de différents niveaux puisse se faire mentalement c'est – à – dire sans difficulté.

Dans le choix d'une côte ronde, on se préoccupera de reporter sur le plan les cotes plus

hautes et plus basses indiquant les lignes rouges et noires.

- distances cumulées

La longueur totale du projet sera divisée en alignements et courbes tels que obtenus dans le tracé en plan où la longueur des courbes est calculée à partir du rayon et de l'angle au centre correspondants alors que les alignements droits sont mesurés en prenant en compte l'échelle du plan.

Au cas où la somme des alignements droits et courbes ne correspondrait pas à la longueur totale, on fera la répartition de l'erreur (différence) sur tous les éléments proportionnellement à leurs longueurs.

- alignements et courbes

Il faudrait ici donner les renseignements sur la longueur des alignements droits et les rayons, l'angle au centre ou au sommet, et l'orientation de chaque courbe.

- cotes du terrain naturel

Les côtes du terrain naturel étant celles représentant l'axe de la chaussée en tracé en plan, elles seront reportées sur chaque profil en travers en tenant compte de l'échelle des hauteurs.

- cotes du projet

Les cotes du projet sont calculées en tenant compte du produit de la pente adoptée et la distance comprise entre le point de cote connue au point de cote inconnue, plus ou moins la cote connue. En ce qui concerne les points obligés, leurs côtes sont reprises comme telles.

$$\frac{\text{cote connue} - x}{d} = \text{pente}$$

Cote x = (pente x d) \pm cote connue

Avec : p = pente ; d = distance ; cote x = inconnue.

- numéro des profils

Les profils en travers sont tous numérotés.

- distances partielles

Dans l'interligne correspondant il faudrait inscrire les distances entre profils voisins en vérifiant que chaque alignement ou courbe correspond à la somme des distances partielles suivant lesquelles il a été décomposé.

- déclivités

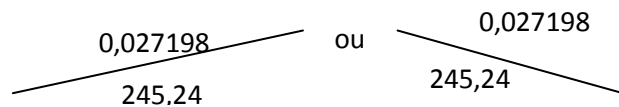
Ici également, on inscrira dans l'interligne prévu, les déclivités du projet avec une précision de cinq décimales et les longueurs intéressées

correspondantes seront représentées sous une des formes suivantes :

$$i = 0,02719 \text{ sur } 245,24\text{m}$$

On notera : - rampe (ou pente) de 0,02719 sur 245,24 m

$$\text{ou } \frac{\text{rampe(ou pente) de } 0,02719}{245,24\text{m}}$$



Plan de comp 350.00

N° du profil	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cotes du T.N												
Cotes du projet												
Distances partielles												
Distances cumulées												
Déclivités	0,02719						245,24m					
Alignements et courbes	Alignement droit						T = 22,74					
	Surm											

R = 180,00m

D = 45,24

Fig.38 : Profil en long

4. Choix entre différents tracés

Les éléments contenus dans les différents tracés peuvent faire l'objet d'une comparaison de manière à retenir la variante qui offre plus d'avantages pour être retenue comme représentative du projet.

Le moyen de comparer objectivement doit permettre de disposer des éléments sur lesquels on s'appuiera. Il s'agit ;

- établir la liste des caractéristiques techniques de chaque variante et apporter une appréciation sur les avantages et les inconvénients de chaque tracé ;

- donner une note à chaque variante par ordre décroissante de qualité, c'est-à-dire zéro au meilleur, 1, 2, etc.

- additionner la cote pour chaque tracé, comparer les valeurs et retenir le meilleur sur le plan technique et économique.

4.1. Caractéristiques techniques servant de comparaison

Les caractéristiques techniques à prendre en compte lors de la comparaison sont :

- la vitesse de base : la meilleure serait la plus élevée ;
- la longueur de la route : la plus courte est considérée comme la moins coûteuse ;
- la déclivité longitudinale maximum : la meilleure est la plus faible ;
- la longueur du projet ou déclivité maximum : la plus courte sera la meilleure ;
- la déclivité moyenne : est obtenue en divisant la somme des dénivellations franchies, montées et descentes, par la longueur totale du projet. Ce qui donne :

$$i_{\text{longitudinale moyenne}} = \frac{\Sigma(dh)}{L_{\text{totale}}}$$

La valeur la plus faible est considérée comme étant la meilleure et

conviendrait pour une route à trafic lourd important ;

- rayon minimum en plan : le meilleur est celui dont le rayon minimum est le plus élevé
- nombre des courbes à rayon minimum : moins il en aura, mieux il sera
- indice de sinuosité : est le quotient de la somme des angles au centre de toutes les courbes en plan du projet par la longueur totale. Sa valeur devra être faible surtout pour une route à trafic commercial.

L'indice de sinuosité est un indicateur précieux dans la comparaison à faire. On pourra ainsi dire que la valeur la plus faible donnera une indication sur la voie la plus agréable à parcourir.

$$i_{\text{sinuosité}} = \frac{\Sigma\alpha}{L_{\text{totale}}}$$

- Importance relative des terrassements
Le tracé peut fournir une idée des remblais d'accès aux ouvrages d'art, mais c'est surtout le profil en long qui

permettra d'évaluer l'importance relative des déblais et des remblais ainsi que les hauteurs maxima correspondantes.

- importance des ouvrages d'art

Il faut regrouper les ouvrages d'importance principale (notamment les ponts, les viaducs, les tunnels), et secondaires (buses, dalots, etc...), et tenant compte de la nature de matériaux les composant (en bois, en maçonnerie, métallique, béton armé ou précontraint), comparer leur importance à partir de la surface en plan.

- divers : pour chaque variante, il sera question de tenir compte des observations particulières notamment les zones marécageuses à franchir, le déblai rocheux de grande hauteur, les tunnels, les viaducs, etc.

Choix définitif

Le choix définitif à faire doit en plus des éléments ci – hauts énumérés, tenir compte de l'influence réelle que peut avoir la cotation sur le plan économique et technique. C'est ainsi qu'en zone montagneuse, on préférera un tracé à déclivité plus forte avec le meilleur rayon en plan plutôt qu'un autre sinueux.

A titre illustratif, le tableau ci – dessous indique comment devra se faire le choix du tracé au regard des caractéristiques de comparaison retenues.

Tableau 2 : caractéristiques de comparaison dans le choix du tracé

Caractéristique	TRACE 1		TRACE 2		TRACE 3	
		Cote		Cote		cote
Vitesse de base V_b (km/h)	52	1	50	2	60	0
Longueur totale L (m)	2950	1	2400	0	3200	2
Déclivité maximum (%)	6,0	1	6,0	1	3,5	0
Longueur à i_{max} (m)	1500	1	2050	2	1450	0
Montées et descentes (m)	109		124		98	
d'où i_{moyen} (%)	2,08	0	3,02	1	3,62	2
rayon en plan min ^m (m)	150	1	120	2	180	0
nombre de rayons min ^m	3	0	5	1	3	0
courbes et contre – courbes	1	1	2	2	0	0
indice de sinuosité i_s	0,088	1	0,141	2	0,055	0
importance relative des						
déblais	Assez	1	Importa	2	moyens	0
remblais	important	1	nts	0	moyens	1
ponts en béton armé (m ²)	s	0	Faibles	0	660	1
buses et dalots	moyens		200			
observations et divers	200					
Total		9		15		6

5. Profil en travers types – profil en travers

Le profil en travers type est un document reprenant les éléments constructifs se répétant tout au long du projet.

Il s'agit en effet des dispositifs à adopter tout au long du projet que l'on se propose de réaliser tant pour la voie future que pour son rattachement au terrain naturel.

Ce document comporte les éléments ci – après :

- la chaussée qui reçoit la circulation
- les bordures surélevées ou arasées
- les accotements
- les terres pleins (éventuellement)
- les trottoirs (au besoin)
- les fossés
- les pistes cyclables (au besoin)
- les banquettes, glissières de sécurité, parapets à considérer ;

- les talus types à adopter pour le raccordement au relief naturel ;
- les surlargeurs ;
- les devers à adopter, etc...

5.1. La chaussée

Un aperçu historique permet de comprendre que jusque vers les années 1930 la forme que l'on donnait à la chaussée était bombée (convexe), plus ou moins parabolique, pour la simple raison qu'on imaginait à l'époque que la forme voûtée était moins déformable qu'une autre à condition que les bords soient bien résistants. De plus on pensait que de l'axe vers les bords, l'écoulement d'eau était très favorisé grâce à cette forme voûtée.

Le bombement est aujourd'hui abandonné au profit d'une pente transversale constante pour ne pas modifier la stabilité des véhicules rapides appelés à changer de trajectoire et qui subiraient une variation de la sollicitation transversale.

5.1.1. *Forme de la chaussée en alignement*

Du point de vue dynamique, la forme de la chaussée en alignement est horizontale, mais il faut toutefois faire attention car on doit assurer l'évacuation des eaux qui est primordiale en évitant sa stagnation sur la chaussée.

Il existe deux solutions permettant d'évacuer les eaux. Il s'agit de :

- donner à la chaussée un profil en forme de « toit » à deux versants ;
- la chaussée a une pente transversale rectiligne unique sur toute sa largeur

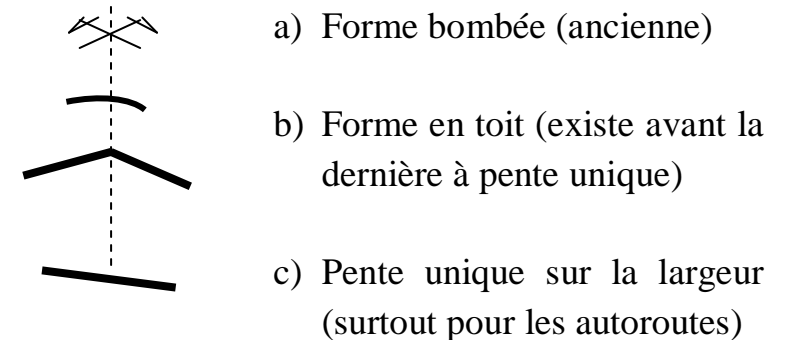


Fig.39 : forme de la chaussée en alignement droit

Entre les deux dernières formes, celle en toit existe bien avant et convient aux routes larges à plus de deux voies et aussi aux routes secondaires et aux localités.

La forme à pente unique surplante de plus en plus celle à deux toits surtout pour les routes principales.

En ce qui concerne les autoroutes, on adopte de plus en plus la solution à pente unique. D'une manière générale, la forme transversale à donner à la chaussée dépend des facteurs suivants :

- type de route ;
- localisation de la route (rase compagne ou en milieu urbain) ;
- vitesse de base ;
- largeur de la chaussée.

En résumé, on retient :

- voie rapide (autoroute – route express)
pente unique

- route principale

< hors localité pente unique : 3 voies
< hors localité forme toit : 4 voies

- route secondaire $\left\{ \begin{array}{l} \text{en localité} \rightarrow \text{toit} \\ \text{hors localité} \rightarrow \text{les 2} \end{array} \right.$
- route de desserte $\left\{ \begin{array}{l} \text{hors localité} \rightarrow \text{les 2} \\ \text{hors localité} \rightarrow \text{les 2} \end{array} \right.$

5.1.2. Valeur de la pente transversale en alignement

La pente transversale dépend généralement du type de revêtement adopté, notamment :

- revêtement en béton de ciment : 2 %
- revêtement en hydrocarboné : 2,5 %
- chaussée pavée : 3 %
- chaussée stabilisée ou en terre : 4 – 5 %

5.1.3. Largeur de la chaussée

La largeur de la chaussée est généralement déterminée en fonction de l'importance de la circulation. Celle – ci fixe la classe de la route en

prenant en compte les résultats de comptage pour des routes existantes.

Si l'on considère que le gabarit des véhicules varie de 1,5 à 2,5, on serait tenté de dire que 2,50m est une largeur minimum suffisante pour une voie. En réalité, un véhicule roulant vite a besoin d'une marge de sécurité suffisante tant pour le croisement que pour le dépassement de gros véhicules surtout. C'est ainsi que théoriquement on a adopté dans les nouvelles normes, la largeur de 3,50m par voie.

De manière exceptionnelle, cette largeur est parfois réduite à 3 m (assez rarement 2,50 m) sur les routes peu fréquentées.

Aussi et d'une manière simplifiée, on dira qu'une voie de 3,50 m peut laisser passer par heure ± 1000 véhicules. Par contre, sur une autoroute où la circulation est plus aisée, une voie de 3,50 m assure un débit horaire normal de ± 1200 soit ± 1500 véhicules lorsqu'il y a saturation.

5.2. Les accotements

Ces sont des espaces bordant la chaussée et qui ont pour rôle d'épauler les voies de circulation et de servir aussi de bandes d'arrêt d'urgence pour les routes n'ayant pas des voies d'arrêt.

Sur certaines routes, on voit encore les accotements surélevés par rapport au niveau de la chaussée. De plus en plus aujourd'hui, les accotements sont presque systématiquement « dérasés » avec une pente transversale plus élevée de 3 - 5 % et une largeur normale variant entre $\pm 1 - 3$ (voir 4 m sur les autoroutes).

5.3. Les talus

Dans l'étude du projet, le terrain naturel est raccordé à la plateforme par les talus en déblai ou remblai. Ce raccordement est réalisé par la pente. Il importe de noter que la première qualité d'un talus est sa stabilité permanente quellesque soient les conditions de surcharge et de teneur en eau. Il faut par conséquent craindre les éboulements si la pente considérée est excessive. Par contre, le terrassement

risque d'être excessivement important lorsque la pente est faible. Le projeteur devra par conséquent trouver le juste milieu.

Lorsque aucune étude géotechnique ne fournit les caractéristiques exactes des terres, les valeurs ci – après peuvent être adoptées dans les avants projets car confirmées par l'expérience. Il s'agit de :

1/1 en déblai et 3/2 en remblai

En Suisse par exemple, on admet la pente de 4/5 ou 2/3 en déblai et 2/3 en remblai.

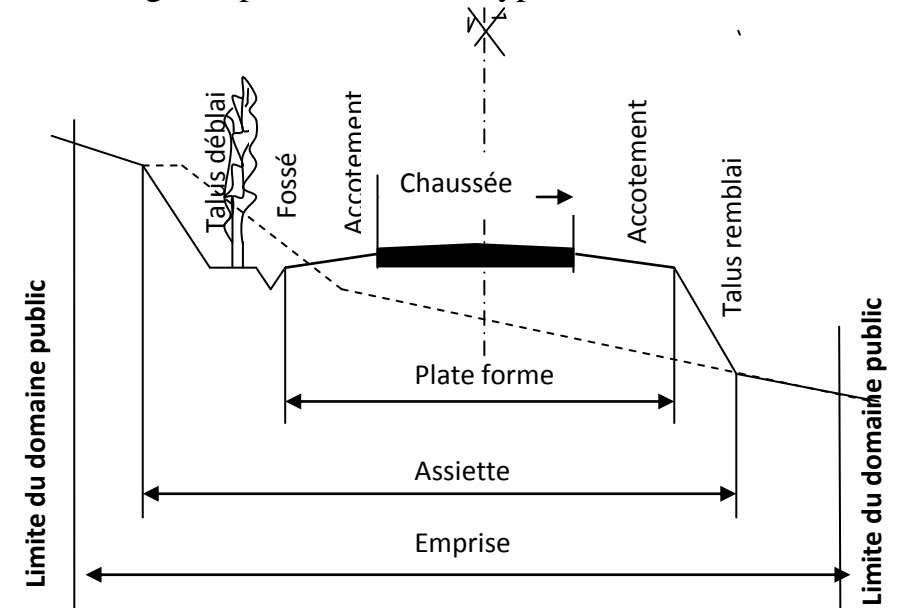
Lorsqu'on a des talus plus raides et que ces pentes ne peuvent plus être maintenues, on va recourir à une consolidation des talus par des perrés, des dalles en béton, voir des murs de soutènement.

Les autres éléments canalisant la chaussée ont été défini au chapitre premier point 12

5.4.1. Représentation du profil en travers – type

La figure ci – dessous est une illustration d'un profil en travers type en alignement et certains éléments énumérés au point 1, 2 du chapitre premier n'y figurent pas.

Fig.40 : profil en travers type



Lorsqu'un projet est en étude, on est tenu de considérer, selon le cahier des charges donné :

- ☐ le profil en travers type en alignement droit, et
- ☐ le profil en travers type en courbe en précisant le devers et la surlargeur à adopter en fonction du rayon retenu en tracé en plan.

Fig.41 : cas de l'alignement

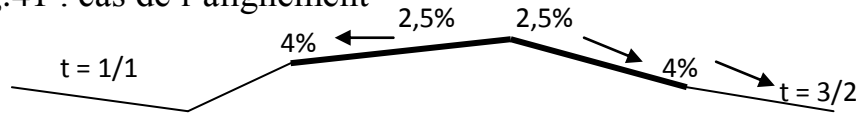
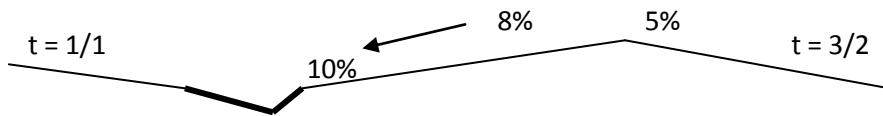


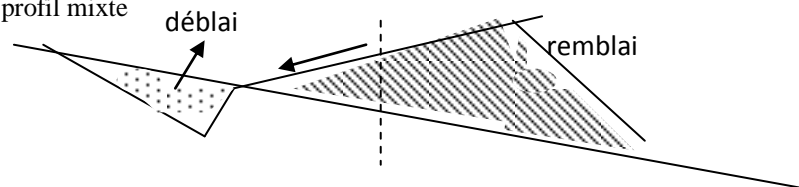
Fig.42 : cas de la courbe



Les éléments ainsi considérés permettent de définir le profil en travers comme une coupe transversale (verticale) du terrain naturel menée selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de route. C'est sur ce point qu'est reporté le profil en travers type correspondant et raccordé au terrain naturel par les pentes des talus bien indiquées et des fossés exigés.

Un profil en travers est dit en « déblai », en « remblai » ou mixte, selon qu'il exige des terrassements de déblais seulement, de remblai seulement ou les deux à la fois au cours des travaux d'infrastructure.

Fig.43 : profil mixte



5.5. Représentation graphique du profil en travers

Pour représenter correctement les profils, il faut tenir compte de la position exacte de chaque point prélevé par rapport aux sens de parcours.

En effet, lorsque le promeneur se dirige vers l'extrémité du projet (point final du projet) la gauche (ou la droite) est effectivement pour lui ce qui se trouve à sa gauche (ou à sa droite).

Une autre considération serait de rabattre le profil en travers vers l'origine et à l'inverse du promeneur. Sur la figure, le dessinateur devra se retourner vers l'origine du projet, et ce qu'a été dans le 1^{er} cas le côté gauche représentera le côté droit tandis que le côté droit sera alors la gauche du profil en travers.

Compte tenu de la confusion souvent faite, il est dans beaucoup des cas conseillé d'adopter la 1^{ère} situation.

En ce qui concerne la mise en page du projet, l'échelle de 1/100 pour les largeurs comme pour les hauteurs est celle qu'on utilise souvent.

Sur les profils en travers clairement numérotés, on mentionnera les indications suivantes :

- ☐ plan de comparaison (sa cote devra être mentionnée)
- ☐ cotes du terrain naturel (en noir)
- ☐ cotes du projet (en rouge)
- ☐ distances du terrain naturel
- ☐ distances du projet

Lorsque sur un profil donné, la pente du talus est parallèle au terrain naturel il ne sera pas possible de faire le raccordement. Un mur de soutènement est souvent envisagé pour soutenir la terre.

5.6. Calculs des éléments du projet

Les éléments reportés doivent aider à compléter les cases encore vides. Il s'agira de calculer les cotes du projet de part et d'autre de l'axe naturellement en tenant compte de la pente transversale adoptée et des distances séparant les points considérés.

Au droit de chaque ligne de rappel on devra compléter les cotes manquantes (rouges ou noires). De même, on calculera les dénivellations entre le terrain naturel et la ligne rouge au droit de chaque point anguleux du terrain ou de la ligne de projet en l'inscrivant contre la ligne rouge à côté des surfaces de terrassement, les cotes de pied ou tête de raccordement des talus inutiles. Aussi on calculera les abscisses manquantes situées notamment aux extrémités amont et aval des talus de raccordement.

Les points fictifs étant situés sur le profil en travers, on calculera enfin et séparément à gauche et à droite de l'axe du projet, les surfaces de déblai et de remblai par surfaces élémentaires situées entre deux lignes de rappel successives.

Considérant le calcul de différents profils en travers et la distance qui les sépare deux à deux, il sera établi le « métré des terrassements » qui est un tableau résumant le bilan des remblais et des déblais à réaliser sur le chantier en faisant toutefois ressortir la compensation s'il y en a, l'excès des terres à emprunter ou à entreposer. Ce qui entraînera par la suite l'étude de mouvement des terres visant à établir le moindre « moment de transport » c'est-à-

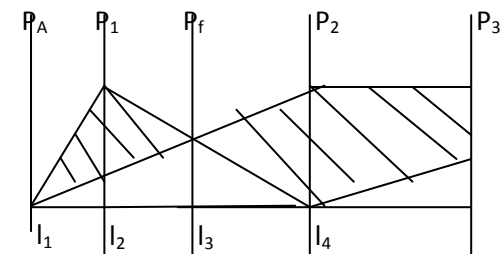
dire le produit du cube à déplacer par la distance correspondante de transport.

6. TERRASSEMENTS

6.1. Cubature

La méthode dite des profils permet de déterminer avant tout les surfaces totales (à gauche et à droite de l'axe) des déblais et remblais de chaque profil. Ensuite, on considère la longueur d'application correspondante à chaque profil (moyenne de la somme des distances entre deux profils successifs). Ainsi, on arrive à évaluer avec une approximation suffisante le volume limité par deux profils en travers successifs en multipliant la surface de déblai ou de remblai par la longueur d'application correspondante.

Fig.44 : décomposition en figures géométriques simples



6.4. Métre des terrassements

C'est un tableau regroupant le calcul de la totalité des déblais et remblais correspondant à la réalisation du profil en long. Ce tableau comprend au total 12 colonnes disposées de manière ci – après :

- ☐ les colonnes 1 et 2 seront complétées en se servant des éléments du profil en long et après introduction des profils fictifs ;
- ☐ la colonne 3 indique la longueur d'application d'un profil P_f et qui s'obtient en prenant la demi – somme des distances à ses voisins $\frac{L_1 + L_2}{2}$;
- ☐ les colonnes 4 ; 5 ; 8 et 9 sont obtenues à partir des profils en travers dont les surfaces ont été calculées au préalable ;
- ☐ la colonne 6 : on devra additionner les colonnes 4 et 5 ;
- ☐ la colonne 7 est obtenue par le produit des colonnes 3 et 6 ;
- ☐ la colonne 10 : il faut faire la sommation de 8 et 9 ;
- ☐ la colonne 11 est le produit de 3 et 10.

Vérification

- ☐ le totale de la colonne 2 doit être égal à la colonne 3 ;
- ☐ les tableaux des colonnes 7 et 11 doivent faire apparaître, l'excès de déblai ou de remblai du chantier en faisant la différence ;
- ☐ la colonne 6 = colonnes 4 + 5 ;
- ☐ la colonne 10 = colonnes 8 + 9 ;
- ☐ la colonne 7 = colonnes 3 x 6 ;
- ☐ la colonne 11 = colonne 3 x 10.

Tableau 3 : métré des terrassements

N° des profils	Distances entre profil	Longueur d'applicatio n	Déblai				Remblai				Obs ervation s
			Surface				Surfaces			Cubes	
			4	5	6	7	8	9	10	11	
1	2	3									12
			A Gauche de l'axe	A Droite de l'axe	Total	Cubes	A Gauche de l'axe	A Droite de l'axe	Total		
A		15,60	0,34	1,38	1,72	27,00	0,40	-	0,40	6	
1	31,20										
	29,65		0,71	1,52	1,23	36	-	-	-	-	
	28,10										
P.F	28,475		-	-	-	-	-	-	-	-	
	28,85										
2	23,575		0,16	0,46	0,62	15	3,79	1,10	4,89	115	
	18,30										
B	9,15		0,23	0,10	0,33	3	-	2,85	2,85	26	
totaux	106,45	106,45				81m ³				147m ³	

6.3 Mouvement des terres

Dans l'étude des terrassements, le mouvement des terres est l'opération par laquelle on recherche les quantités de terres à déplacer ainsi que la distance et la direction de transport de ces terres.

On se prononcera de manière générale en faveur du transport le moins coûteux. Un choix devra alors se faire sur le mode de transport à utiliser. Pour les distances très courtes, le transport manuel conviendrait alors que le transport motorisé est conseillé pour les longues distances.

6.3.1. *Tableau du mouvement des terres*

On dressera un tableau de 17 colonnes dont les 6 premières sont remplies en premier lieu et le reste se complétera au fur et à mesure que la représentation graphique des transports des terres des terrassements à l'aide de l'épure de Lalanne se fera suivant les principes économiques.

L'étude de la première partie du tableau soit jusqu'à la colonne 6 permet de considérer les 3 premières colonnes dont les éléments proviennent

du tableau de métré des terrassements sans tenir compte des profils fictifs.

La colonne 4 indique le volume des terres à employer transversalement à l'axe c'est-à-dire sur place à chaque profil.

De manière pratique, on prendra la valeur la plus faible des colonnes 2 et 3 qu'on porte à chaque ligne dans la colonne 4

- ☐ la colonne 5 indique l'excès de déblai obtenu en faisant la différence des colonnes 2 et 4.
- ☐ la colonne 6 représente l'excès de remblai soit la différence des volumes des colonnes 3 et 4.

Tableau 4 : première partie du tableau du mouvement des terres

N° des profils	Cubes de déblais	Cubes de remblais	Volume à employer transversalement à l'axe	Excès de déblais (+)	Excès des remblais (-)
1	2	3	4	5	6
A	27	6	6	21	-
1	36	-	-	36	-
2	15	115	15	-	100
B	3	26	3	-	23
Totaux	81	147	24	57	123

Vérification

Pour ces six premières colonnes du tableau de mouvement des terres, on effectuera la vérification de manière suivante :

$$\Sigma \text{ Colonne 5} = \Sigma \text{ colonne 2} - \Sigma \text{ colonne 4}$$

$$\Sigma \text{ Colonne 6} = \Sigma \text{ colonne 3} - \Sigma \text{ colonne 4}$$

6.3.2. Représentation graphique des terrassements (Méthode de Lalanne)

Dans le déplacement de terres, il importe de déterminer de manière détaillée comment le transport de terres se fera d'un profil à un autre profil et des profils à un ou plusieurs dépôts lorsqu'il s'agit d'un excès de déblai, et d'un ou de plusieurs lieux d'emprunt à des profils dans le cas d'excès de remblais.

6.3.2.1. Epure de Lalanne et son établissement

L'épure de Lalanne est une méthode de représentation graphique des terrassements.

Jugée très pratique par rapport à la méthode de Brückner qui n'est pas exposée dans le cours, l'épure de Lalanne est établie de façon suivante :

- il faut supposer que le volume des terrassements se trouve à chaque profil, concentré au lieu même du profil en travers et non réparti sur toute la longueur d'application du profil,

comme cela est réellement le cas en pratique ;

- il faut en suite tracer une ligne horizontale appelée ligne des terres (LT), ou encore ligne initiale, sur laquelle on portera à l'échelle choisie soit généralement celle du profil en long, l'emplacement de différents profils en travers ;
- on tracera des perpendiculaires à cette ligne de terre et qui partiront de tous les points des profils. Sur ces perpendiculaires, on portera les cubes des déblais et des remblais pris dans les colonnes 5 et 6 du tableau de mouvement des terres. Ici, on devra choisir l'échelle des cubes par exemple : 1cm pour 20m^3 ; 50m^3 ; 100m^3 , etc... . Les déblais seront portés de bas en haut soit positif (+) et les remblais de haut en bas soit négatif (-) en passant d'un profil à l'autre par un échelon horizontale, cumulant les cubes à chaque profil. Le signe (+)

indique qu'on a des terres disponibles alors que le négatif (-) donne l'image d'un trou à combler ;

- ☐ pour la suite, on doit vérifier que le point final 0 se trouve à une distance de la ligne HH' égale à l'excès de remblais général, ou à l'excès de déblais le cas échéant ; pour un excès de déblais, le point 0 situé au dessus de HH' indiquant un cube positif ; pour un excès de remblais le point 0 est situé en dessous de la ligne HH' dont le résultat indique un nombre négatif.

En générale, la distance comprise entre la ligne de terre et le point 0 est égale à la différence, avec son signe, des totaux des colonnes 5 et 6 du tableau du mouvement des terres ;

- ☐ le lieu d'emprunt ou de dépôt choisi judicieusement sera indiqué sur l'épure par 2 traits perpendiculaires ;
- ☐ rechercher ensuite la ligne de répartition ;
- ☐

- ☐ évaluer enfin les moments de transport.

6.3.2.2. Recherche de la ligne de répartition de la direction des transports

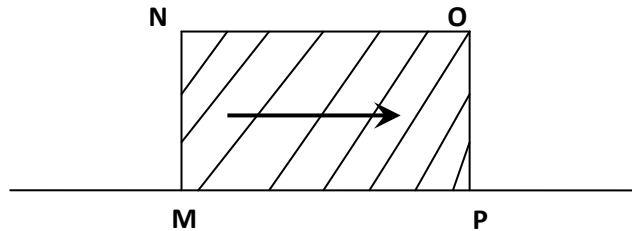
La ligne de répartition de la direction des transports est une ligne horizontale au dessus de laquelle tous les cubes seront transportés de gauche à droite c'est-à-dire pour les volumes se trouvant au dessus de cette ligne, et de droite à gauche pour ceux situés au dessous de cette même ligne.

Les sens ainsi donnés résultent de ce qui a été convenu plus haut en portant de haut en bas les remblais et de bas en haut les déblais.

6.3.2.3. Evaluation des moments de transport

Pour évaluer les moments de transport, on devra considérer les produits de différents cubes à transporter par leur distance respective de transport.

fig.46 : évaluation de moment de transport



Considérant la fig. MNOP dans laquelle le sens de la flèche indique qu'on transporte un déblai MN pour combler le remblai OP situé à la distance MP. La figure ainsi hachurée est le rectangle (MNOP) qui a comme surface le produit du cube MN par la distance MP.

C'est donc cette surface que nous appelons moment de transport qui représente les quantités proportionnelles à la dépense des travaux de transport, dépense variant à la fois avec les cubes transportés et avec la distance des transports.

Il est à noter qu'on doit toujours indiquer que l'on transporte un déblai vers un remblai et non l'inverse qui n'aurait pas de signification.

6.3.2.4. Cas à envisager dans la recherche de la ligne de répartition

L'établissement de l'épure de Lalanne donne souvent lieu à un excès de déblai ou de remblai et on peut bien imaginer théoriquement qu'il y ait compensation entre les remblais et les déblais même si cela n'est pratiquement pas possible.

Il sera envisagé par conséquent un seul lieu d'emprunt ou de dépôt à placer à gauche, à droite ou à l'intérieur de l'épure. Comme il pourra également être considéré 2 ou plus de 2 lieux d'emprunt ou de dépôt situés l'un à gauche, l'autre à droite de l'épure, ou encore à l'intérieur de l'épure de Lalanne.

En examinant dans les détails les différents cas envisageables, on a :

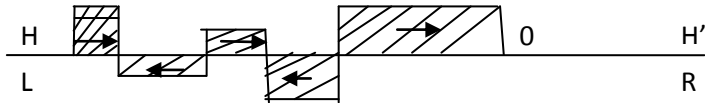
1^{er} cas : compensation entre le déblai et le remblai

Sur un chantier de terrassement il est en pratique impossible que le déblai et le remblai se compensent. Mais théoriquement, nous acceptons

cela pour comprendre ce qui se passe réellement dans les autres cas.

Cette situation indique que le point final 0 est sur la ligne de terre $LT \equiv HH'$. En même temps, la ligne HH' représentera la ligne de répartition LR des sens de transport indiqués par les flèches en hachurant les rectangles qui représentent les moments de transport.

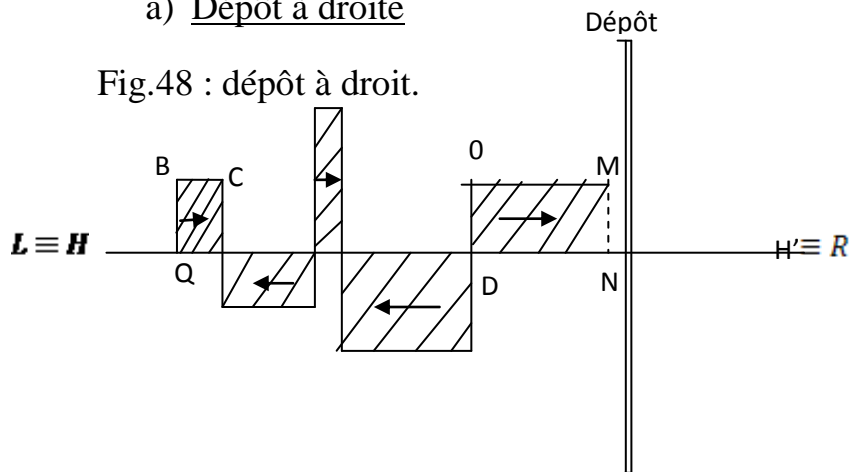
Fig.47 : compensation entre le déblai et le remblai



2^{ème} cas : dépôt ou emprunt unique situé à l'extérieur de l'épure

a) Dépôt à droite

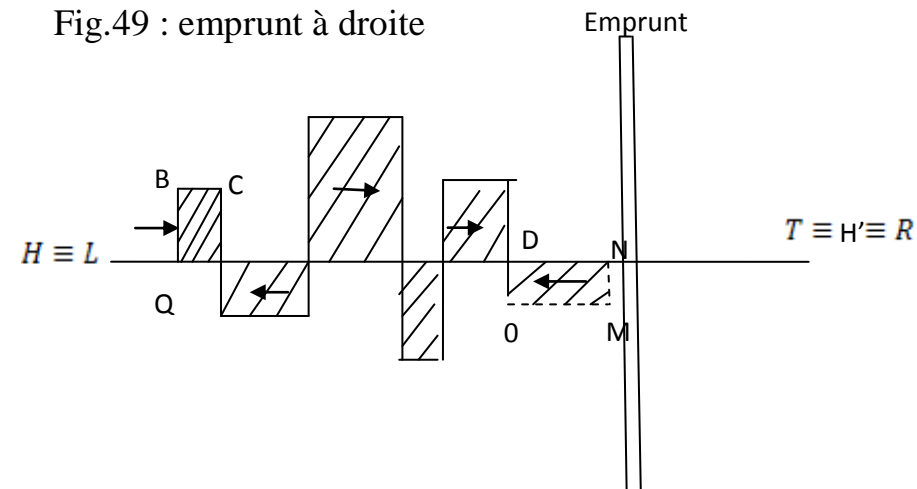
Fig.48 : dépôt à droit.



Considérant la figure 48 où on a un excès de déblai et le lieu du dépôt ainsi choisi est à l'extérieur (à droite) de l'épure. Le dépôt peut être considéré comme un profil comportant un remblai MN , DO étant le déblai. La compensation est alors faite dans ce cas sur l'horizontale HH' et où l'épure s'est transformée en une figure indiquant $QBC...DOMN$. Q Etant le point initial et N le point final, ces 2 points se trouvent donc situés sur la même horizontale HH' . Celle-ci sera par conséquent la ligne de répartition des sens de transport.

b) Emprunt

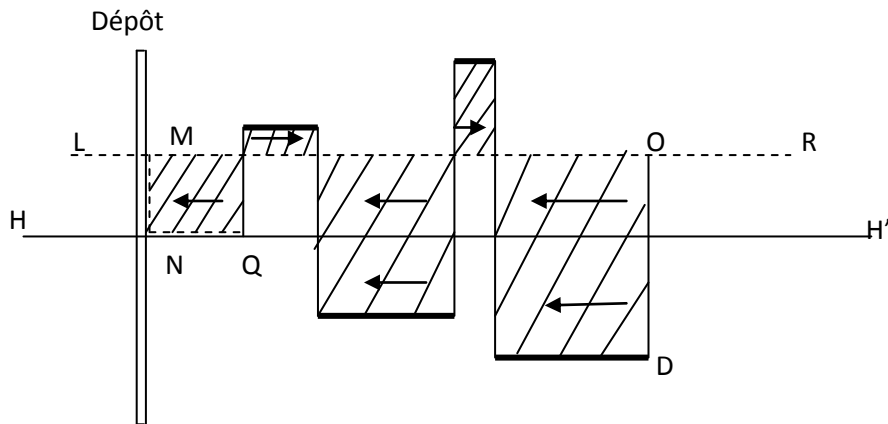
Fig.49 : emprunt à droite



En ce qui concerne le cas d'un excès de remblai dont le lieu d'emprunt se trouve à l'extérieur droit, le raisonnement est le même que dans le cas précédent. Ici, l'emprunt peut être considéré comme un profil et le remblai D0 se compense en déblai MN. L'origine Q et le point final N se trouvent sur l'horizontale HH' qui est en même temps aussi la ligne de répartition des sens de transport.

c) Dépôt à gauche (excès de déblai)

Fig.50 : dépôt à gauche

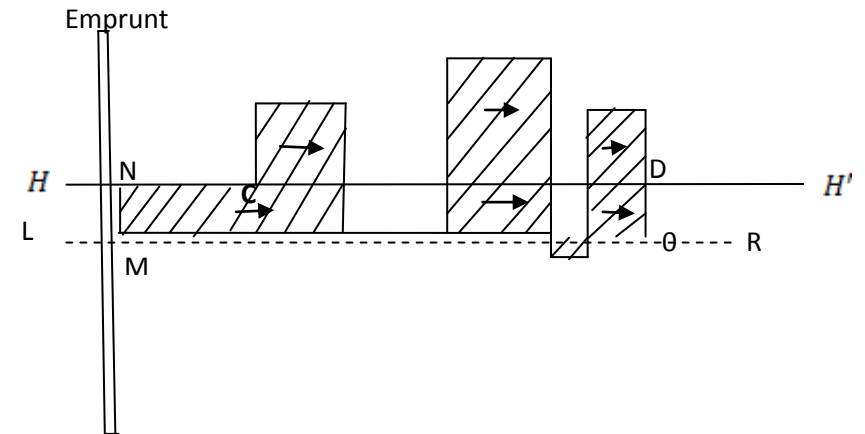


Dans ce cas, le dépôt équivaut à un profil en remblai MN et l'épure se fermera en MNQ... D0

sur la ligne LR qui est la ligne de répartition des sens de transport.

d) emprunt à gauche (excès de remblai)

Fig.51 : emprunt à gauche



L'emprunt équivaut à un profil en déblai dont le volume MN sera égal à l'excès de remblai D0 de l'épure. Celle - ci se fermera en MNC D0 sur la ligne LR passant par O qui est la ligne de répartition des sens de transport.

3^{ème} cas : Dépôt ou emprunt unique intermédiaire

Le dépôt ou emprunt divise l'épure en deux. Donc le chantier se voit diviser en deux parties.

Dans la première partie, le dépôt ou l'emprunt est à droite. Tandis que dans la seconde partie, le dépôt ou l'emprunt se trouve à gauche.

La recherche de la ligne de répartition se fera, dans chaque cas, par application des cas étudiés précédemment.

Fig.52 emprunt intermédiaire

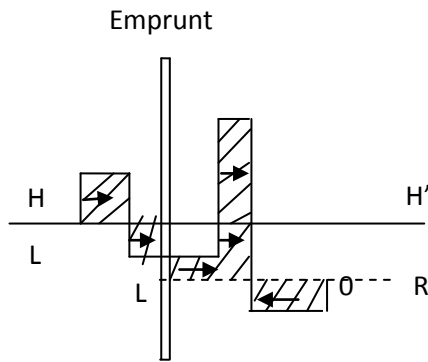
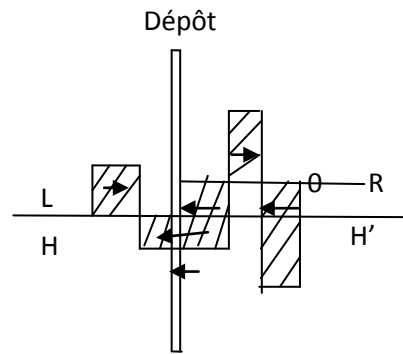


Fig.53 dépôt intermédiaire



4^{ème} cas : Deux dépôts ou emprunts à l'extérieur de l'épure

Soient un excès de déblai DO et deux dépôts A et B situés à gauche et à droite de la figure 54.

Dans le transport des terres qu'on a en excès, on peut dire que chaque dépôt recevra une quantité précise soit x cubes des terres pour le dépôt A et Y cubes pour le dépôt B

Donc $D0 = x + y$ soit une équation à 2 inconnues.

Le problème de transport des terres sera résolu en posant une condition supplémentaire, celle qui permettra de réaliser la moindre dépense. Pour ce faire, la solution donnant une somme minimum des moments de transport sera celle à pouvoir adopter.

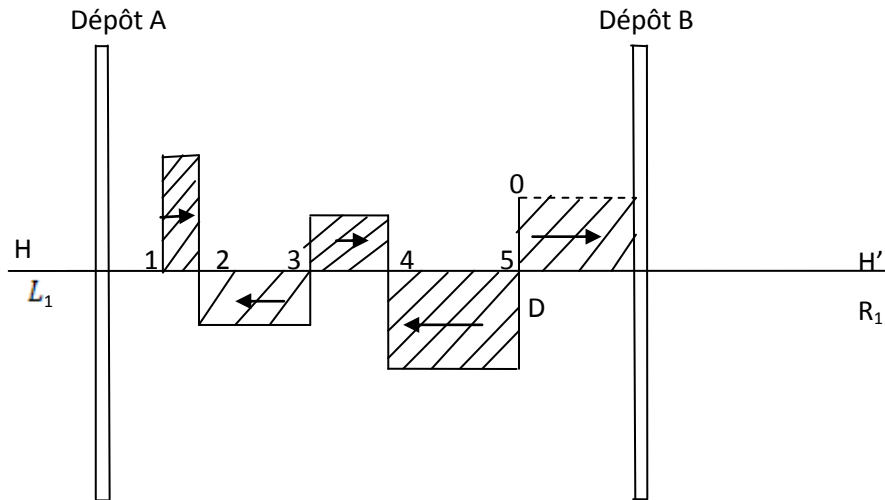
Pour y parvenir, on est obligé de faire plusieurs essais conduisant à prendre successivement les différentes lignes de répartition possibles entre l'horizontale HH' et l'horizontale passant par le point final 0.

a) Discussion à mener

□ il faut avant tout faire confondre la ligne de répartition à l'horizontale initiale HH' et placer ensuite une deuxième (ligne de répartition) sur le premier échelon horizontal de l'épure rencontré en ordre utile en allant de H vers 0 comme indiqué sur la fig.54, c'est-à-dire entre les profils 3 et 4. Ceci devra conduire à comparer les moments de transport obtenus par ces 2 lignes de répartition des sens de transport.

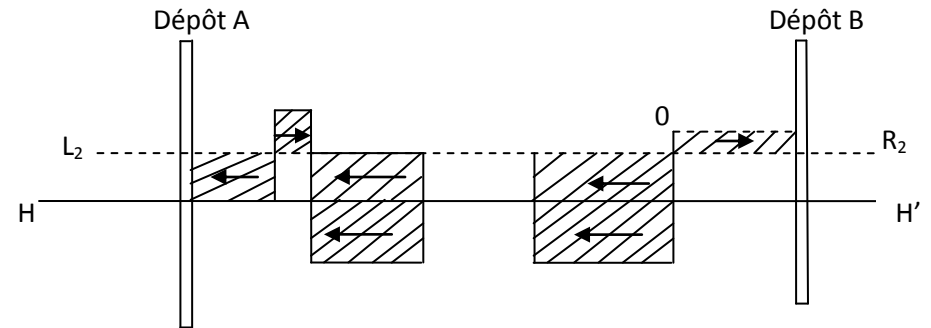
□ ce cas considéré où L_1R_1 est confondu à l'horizontale initiale HH' , les sens de transport suivent ceux indiqués dans la fig. ci – dessous.

Fig.54 : ligne de répartition confondue avec HH'



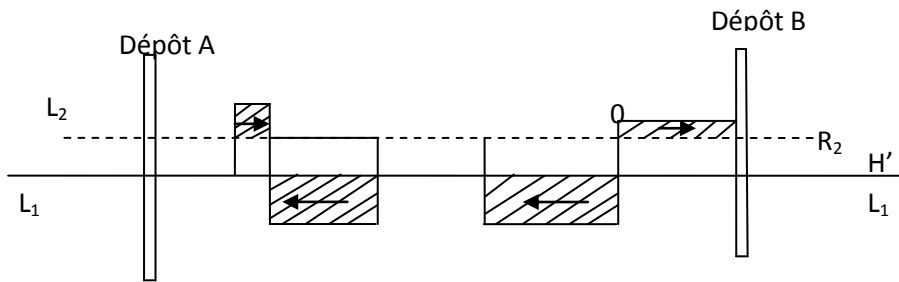
□ ensuite et dans l'ordre utile on prendra l'horizontale de l'échelon le plus rapproché de HH' dans le sens d'aller vers 0. Les mouvements sont indiqués comme suit dans la figure 55 ci – dessous.

Fig.55 : ligne de répartition placée sur le 1^e échelon



Dans les 2 dernières figures (54 et 55), on peut comparer les moments de transport et on remarque qu'il existe des moments de transport communs à ces 2 cas et ces parties communes nous intéressent dans la comparaison à faire puisque nous pouvons les éliminer comme on le constate dans la figure 56

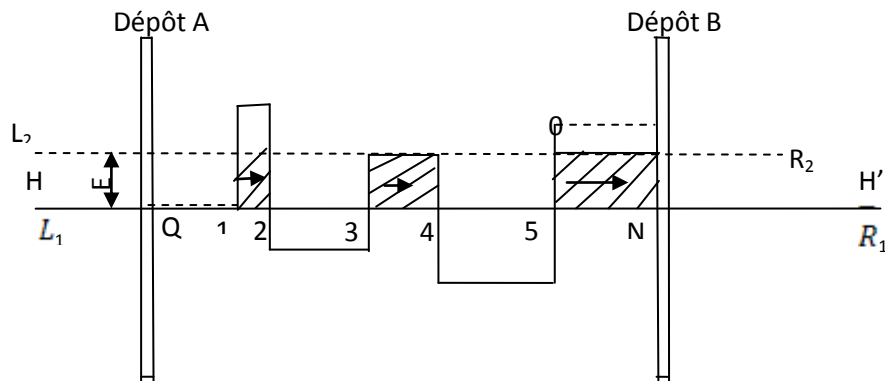
Fig.56 : Elimination des parties communes



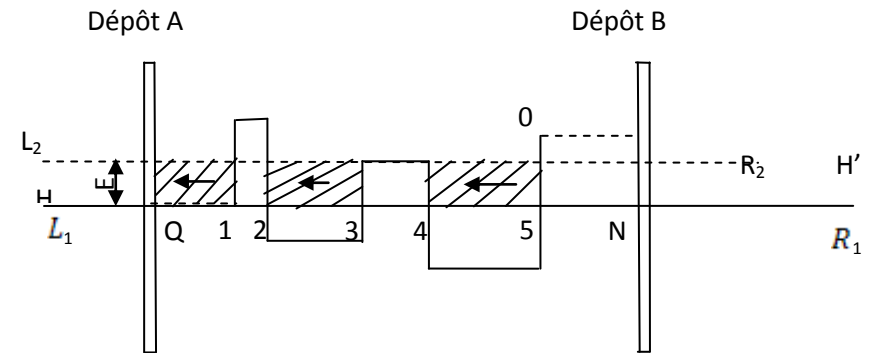
Nous comprenons que dans les 2 cas des figures, 54 et 55, les moments communs sont situés respectivement en dessous de L_2R_2 et au dessus de L_1R_1 .

□ il faut comparer les moments de transport des dépôts A et B et qui sont :

a) Pour la ligne de répartition L_1R_1 on a les moments indiqués dans la figure 57

Fig.57 : Moments pour la ligne de répartition L_1R_1 

b) Pour la ligne de répartition L_2R_2 on a les moments indiqués dans la figure 58

Fig.58 : moments pour la ligne de répartition L_2R_2 

Dans ces deux figures nous désignons par E une valeur représentant le cube séparant L_1R_1 et L_2R_2 .

Pour la 1^{ère} figure la somme des moments de transport pour la ligne L_1R_1 est égale à

\sum Moment de transport pour la ligne $L_1R_1 = E(1 - 2) + E(3 - 4) + E(5 - N)$ Tandis que dans l'autre figure, on a :

\sum Moment de transport pour la ligne $L_2R_2 = E(Q - 1) + E(2 - 3) + E(4 - 5)$

On remarquera que : $1 - 2$; $3 - 4$; $5 - N$, etc ..., représentent la longueur séparant les profils 1, 2, 3, 4, etc.

Dans les 2 expressions le cube E est commun, il sera par conséquent question de faire la comparaison entre les 2 sommes de longueurs

$$(1 + 2) + (3 - 4) + (5 - N)$$

Ce qui signifie que chacun de ces segments est la longueur d'un rectangle disposé c'est-à-dire formé au dessus de L_1R_1

$$(Q - 1) + (2 - 3) + (4 - 5)$$

Ici, chacun de ces segments représente la longueur d'un rectangle formé au dessous de L_2R_2 soit du côté de L_1R_1 .

En additionnant les 2 sommes de longueurs comparées, on a la longueur totale entre les 2 lieux de dépôts ou d'emprunt, donc une façon de faire la vérification.

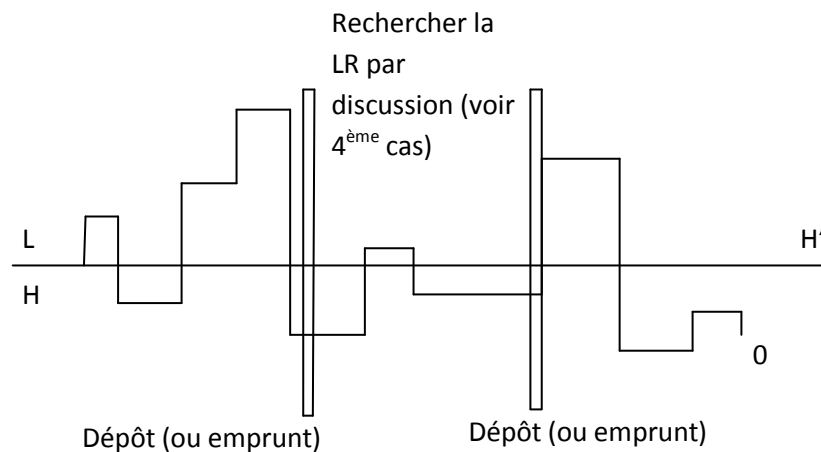
Règle à retenir dans la discussion de l'épure de Lalanne.

- 1°) En allant dans le sens de l'horizontale initiale HH' vers le point final 0, il faut faire passer la ligne de répartition des sens de transport par des horizontales.
- 2°) Les lignes à essayer doivent passer par le point initial, par les échelons de l'épure, par le point final, sans aller au-delà de ce point final.
- 3°) A chaque essai, il faut comparer les sommes des segments déterminés :
 - ☐ sur L_1R_1 par les rectangles fermés du côté L_2R_2
 - ☐ sur L_2R_2 par les rectangles fermés du côté L_1R_1
- 4°) Trouver les sommes des segments qui vont en diminuant puis, en passant de la ligne L_nR_n à la ligne $L_{n+1}R_{n+1}$, la somme des segments devra augmenter. Ainsi, il sera inutile d'essayer la ligne $L_{n+2}R_{n+2}$ étant donné que la meilleure ligne a été dépassée.

5°) La ligne de répartition définitive à adopter pour le sens de transport sera la ligne $L_n R_n$ qui donne une somme de segments inférieure à la somme de la ligne $L_{n-1} R_{n-1}$ qui la précède et une somme inférieure à la somme de la ligne $L_{n+1} R_{n+1}$ qui la suit.

5^{ème} cas : Deux dépôts ou emprunts à l'intérieur de l'épure

Fig.59 : deux dépôts ou emprunts à l'intérieur de l'épure



Dans ce cas précis, le chantier se voit diviser en 3 parties dont la première et la dernière auront respectivement leur ligne de répartition en appliquant le deuxième cas. La partie centrale aura sa ligne de répartition LR en appliquant le 4^{ème} cas qui est le résultat d'une discussion.

6.3.2.5. Résumé de différents cas

- a) Lorsque l'épure ou une partie de l'épure a un seul lieu de dépôt ou d'emprunt, il n'y a pas de discussion, la ligne LR est choisie comme suit :
 - ☐ excès de déblais, dépôt à droite : on a la ligne H
 - ☐ excès de déblais, dépôt à gauche : on a la ligne passant par 0
 - ☐ excès de remblais, emprunt à droite : on a la ligne H
 - ☐ excès remblais, emprunt à gauche : LR passe par 0
- b) Lorsque l'épure ou une partie de l'épure est située entre 2 lieux de dépôt ou d'emprunt, il faut faire une discussion afin de comparer les différentes lignes horizontales.

6.3.2.6. *Achèvement du tableau du mouvement des terres.*

Dans la poursuite de l'étude, il sera d'abord consigné dans un tableau les résultats obtenus par l'épure et en suite on prendra une décision sur les différents modes de transport (jet de pelle, brouette, dumper, camion, etc.) pour chaque moment à prendre en considération.

Pour chaque mode de transport choisi, il faudrait calculer la distance moyenne de transport correspondante. Ainsi, au regard des prix unitaires à considérer, il sera possible de juger de l'opportunité du choix effectué au début.

Tableau 4 : Achèvement du mouvement des terres

7. *Evacuation des eaux superficielles*

La tenue d'une route dépend dans beaucoup de cas de l'efficacité des ouvrages d'assainissement. C'est ainsi qu'il est accordé une attention particulière à la prise en charge des eaux pluviales susceptibles de produire des dégâts.

Mais, où l'eau de pluie doit – elle être récoltée ?

Où doit – on placer des dispositifs adéquats c'est-à-dire la canalisation devant protéger la route ?

Comment dimensionner cette canalisation ?

Les éléments de réponse à ces questions sont déterminants pour l'ingénieur qui doit avant tout réunir les informations relatives aux précipitations atmosphériques, puis examiner ensuite le bassin versant précisant le sens suivant lequel l'eau s'écoule, et à quel endroit exact elle devra être récoltée, et déterminer enfin la forme et la section de l'ouvrage qui recueillera l'eau.

7.1. Quantité d'eau à évacuer

Sur un bassin donné, la quantité d'eau à évacuer est celle qui résulte d'une précipitation pluviale et devant par conséquent être prise en charge par la canalisation. Celle – ci sera calculée non pour la plus forte précipitation pluviale connue, mais plutôt pour une précipitation donnée dont la probabilité est déterminée. La pluie décennale est celle qui est généralement prise en compte dans les calculs étant donné quelle est enregistrée tous les dix ans comme étant la plus forte.

7.2. Détermination des débits

Il existe dans la pratique plusieurs méthodes qui ont chacune un champ d'application bien précis.

7.2.1. *La méthode rationnelle*

Les débits peuvent être déterminés en utilisant la méthode rationnelle qui ne devra malheureusement pas s'appliquer pour de grands ensembles car les calculs seraient longs dans une agglomération urbaine, par contre cette méthode est

utilisée sans problème sur des quartiers, des usines, etc..., et la formule suivante permet de calculer le débit :

$$Q = C \cdot i \cdot A \left(\frac{l}{s} \right)$$

Avec : C = coefficient de ruissellement

i = intensité moyenne de précipitation
(l/ha/s)

A = surface d'apport (bassin versant)

7.2.1.1. Coefficient de ruissellement (C)

Les précipitations qui atteignent le sol peuvent être divisées en :

- ☐ fraction d'eau qui ruisselle à la surface du sol ;
- ☐ fraction d'eau qui s'infiltre soit dans la couche superficielle, soit en profondeur ;
- ☐ fraction d'eau qui s'évapore ;
- ☐ fraction en condensation (humidité, brouillard).

La première fraction est celle qui va atteindre la canalisation et que l'on doit considérer pour le dimensionnement de l'ouvrage (éventuellement l'eau d'infiltration mais qui est négligeable).

Expérimentalement, il a été déterminé des coefficients de ruissellement en faisant le rapport du volume d'eau qui ruisselle sur une surface donnée, au volume d'eau tombée sur cette surface.

Pratiquement, les surfaces à drainer sont décomposées partiellement et les coefficients y afférents sont appliqués (chaussée, accotement, toitures, jardin, prairies, etc.) comme on peut le voir ci – dessous :

- ☐ - forêts : 0,1
- ☐ champs cultivés : 0,2
- ☐ terrains nus : 0,5
- ☐ routes non revêtues : 0,7
- ☐ routes revêtues : 0,9
- ☐ agglomérations, toitures : 0,9

7.2.1.2. Intensité moyenne de précipitation (*i*)

L'intensité des pluies diminue fortement en fonction du temps. Donc on peut retenir qu'une précipitation pluviale est caractérisée par son intensité et sa durée en considérant que les pluies les plus fortes, intenses sont les plus courtes.

En effectuant le calcul du débit déterminant pour le dimensionnement d'une canalisation, on devra tenir compte aussi du temps d'écoulement (durée) c'est-à-dire du temps que met la pluie tombant sur le point le plus éloigné du bassin versant pour atteindre l'entrée du collecteur devant évacuer la quantité d'eau sur la surface considérée.

On devra définir, pour chaque canalisation, le temps de concentration *T* exprimée par la relation :

$$T = t_1 + t_2$$

t_1 = temps mis par l'eau qui provient de toits, chaussée, etc. pour atteindre le point considéré (bouche d'égout) comme étant le plus proche de la

canalisation. Généralement, on donne à T_1 la valeur de 5 minutes

T_2 = c'est le temps mis par l'eau pour s'écouler à partir du point le plus éloigné (bouche d'égout) jusqu'à l'extrémité aval de la canalisation.

Le terme T_2 est fonction de la vitesse d'écoulement soit 1m/s admis généralement.

$$\text{Donc } T_2 = \frac{D}{60} \text{ (min)}$$

D = parcours amont en égout (m)

$$T = 5 + \frac{D}{60} \text{ (min)}$$

Pour la ville Kinshasa et ses environs, la formule suivante permet de calculer l'intensité des pluies :

$$i = \frac{128.000}{6(T_c + 31)} \text{ (l/s/ha)}$$

Avec i = intensité des précipitations des pluies exprimée en (l/s/ha)

T_c = temps de concentration soit $T_c = T_1 + T_2$

T_1 = temps de parcours sur le terrain naturel

T_2 = temps (durée) de parcours le long de l'ouvrage.

Tenant compte de la répartition des pluies dans l'espace, il a été pris en compte dans la formule de Caquot le coefficient de FRUHLING (k) =

$$A^{-0,05} \text{ soit } k = \frac{1}{A^{-0,05}}$$

Ainsi, la formule rationnelle corrigée devient : $Q_0 = C \cdot i \cdot K \cdot \lambda$ Débit à évacuer dans laquelle :

C = coefficient de ruissellement

i = intensité des précipitations des pluies

k = coefficient de correction de l'intensité

λ = fréquence pluviale (1 par exemple).

Cette dernière formule peut également s'écrire :

$$Q_0 = C \cdot i \cdot A^{-0,95} \text{ Débit à évacuer}$$

Il importe de retenir que la méthode rationnelle a une limite d'application, car si les fortes précipitations ne peuvent couvrir qu'une surface limitée, il faudrait alors faire effectivement usage de la dite méthode que lorsque le temps

d'écoulement (T) sera inférieur à 30 minutes soit une valeur de $D = 1500m$

7.2.2. Méthode superficielle

On doit avant tout faire remarquer que dans la méthode rationnelle, il n'a pas été question de prendre en compte la capacité de remplissage des égouts et autres conduites. Monsieur Caquot a alors proposé la formule ci – dessous permettant d'évaluer les débits :

$$Q_0 = 1340 I^{0,30} \cdot C^{1,17} \cdot A^{0,75}$$

Dans laquelle :

Q = débit de pointe

I = pente sur le tronçon considéré

C = coefficient de ruissellement pondéré

A = superficie du bassin versant

7.2.3. Méthode linéaire

Cette méthode s'applique dans les zones urbanisées où le coefficient de ruissellement décroît avec la longueur des rues. La formule de Caquot énoncée ci haut dans la méthode superficielle devient :

$$Q_1 = 1340 I^{0,30} \cdot 0,56 \left(\frac{L}{2A} \right)^{0,75} \cdot A^{0,75}$$

Ou $Q_1 = KL^{0,75}$

$$\text{Avec } K = 1340 \times 0,56 \times \left(\frac{1}{2} \right)^{0,75} \times I^{0,30} = 446 \times I^{0,30}$$

L = longueur en (hm) des rues

A = superficie en hectare de la zone considérée.

7.3. Dimensionnement des canalisations

L'objectif poursuivi étant de dimensionner l'ouvrage, on doit :

- déterminer la forme de la canalisation (triangulaire, rectangulaire, arc, trapézoïdale), et

- indiquer ses mesures c'est-à-dire sa section transversale

Comme on sait, dans les travaux de génie civil, le dimensionnement consiste à procéder avant tout au prédimensionnement de l'ouvrage, et effecteur ensuite le calcul de vérification.

Considérant une canalisation à dimensionner, la surface intérieure (S) de la section dépend du débit (Q) à évacuer et de la pente p de cet ouvrage.

On exprime le débit de cette canalisation par l'expression :

$$Q = S_m V$$

Avec Q = débit en plein section ou débit capable

S_m = surface mouillée

V = vitesse de l'eau dans la canalisation. Cette vitesse est fonction de divers paramètres (géométriques et hydrauliques). Parmi ces paramètres, nous citons :

- la pente longitudinale de l'ouvrage (p) ;

- le coefficient de rugosité k c'est-à-dire le coefficient de frottement de l'eau sur les parois de la canalisation ;
- la forme de l'ouvrage considérée

Plusieurs formules permettent de déterminer la vitesse d'écoulement :

a) La formule de BAZIN

$$V = 87 \frac{R_H}{k + R_H} \sqrt{I_H} \quad (\text{m/s})$$

Avec :

V = vitesse d'écoulement d'eau en plein section

R_H = rayon hydraulique

k = coefficient de rugosité

I_H = pente longitudinale de la canalisation

Ou également :

$$V = V_{PS} = \frac{87 \sqrt{R_H + I_H}}{1 + \frac{0,46}{\sqrt{R_H}}} = \frac{87 \sqrt{R_H + I_H}}{1 + \frac{0,46}{\sqrt{R_H}}}$$

Monsieur Bazin propose les valeurs ci – après de k :

- béton, maçonnerie : 0,16 – 0,46
- terre, pavé : 0,85
- végétation : 1,30
- lit pierreux : 1,75

b) La formule de STRICKLER

Elle s'exprime par l'expression :

$$V = k X R_H^{2/3} X p^{1/2}$$

Avec :

V = vitesse de l'eau dans la canalisation

k = coefficient de frottement de l'intérieur de la canalisation.

R_h = rayon hydraulique comme dit plus haut dans la formule de Bazin

p = pente de la canalisation

Considérant les formules

$$Q = S_m \cdot V \text{ (débit)}$$

$$V = k \cdot R_h^{2/3} \cdot p^{1/2}, \text{ nous pouvons}$$

écrire respectivement :

$$Q = S_m \cdot k \cdot R_h^{2/3} \cdot p^{1/2} \quad \text{Pour le débit capable}$$

$$S_m = \frac{Q}{V} \quad \text{pour la section, et}$$

$$p = \frac{V^2}{k^2 R_h^{4/3}} \quad \text{pour la pente}$$

En fonction de la surface d'écoulement, les coefficients de frottement (k) selon Strickler sont :

Tableau 6 : coefficient de frottement selon Strickler

Surface d'écoulement	Coefficient de frottement (k) selon Strickler
<input type="checkbox"/> tuyau Eternit, béton centrifuge, tube en acier soudé neuf b	90 – 100
<input type="checkbox"/> béton avec coffrage acier, tuyau en fonte	75 – 85
<input type="checkbox"/> béton coffrage bois, tuyau en acier rouillé	65 – 75
<input type="checkbox"/> maçonnerie fine, talus recouverts de dalles de ciment	50 – 60
<input type="checkbox"/> talus engazonnés, maçonnerie brute, gravier	30 – 40
<input type="checkbox"/> talus en bloc de pierres	20 – 30

Dans ces deux formules, le rayon hydraulique sera obtenu en faisant :

$$R_h \equiv \frac{S(\text{mouillée})}{P(\text{mouillée})}$$

S_m = surface mouillée

P_m = périmètre mouillé

Nous disons que l'ouvrage pré dimensionné sera retenu lorsque le débit dont il est capable de prendre en charge sera supérieur au débit évacué, c'est-à-dire :

$$D_{ps} > D \text{ évacué}$$

Enfin, il est important de noter que dans les calculs, on est obligé d'admettre une revanche de sécurité de l'ordre de $\pm 10\text{cm}$ car l'eau coulant dans le caniveau ne devra pas pratiquement remplir toute la section de l'ouvrage.

8. EVALUATION DU PROJET

Les points traités dans les chapitres précédents ont permis de fixer les idées sur les éléments techniques relatifs à l'élaboration d'un projet de route.

Dans l'évaluation du projet, les considérations économiques sont et restent au centre des préoccupations car elles permettent de réunir les informations nécessaires sur l'état détaillé des travaux à réaliser ainsi que leur coût estimatif étant entendu que le coût réel ne sera connu qu'après la réalisation complète de l'ouvrage.

Aussi, il est important de retenir que pour l'administration publique par exemple, initiatrice du projet de route ou de voirie, une bonne approximation du coût de l'ouvrage considéré représente un indicateur essentiel dans les études des prévisions budgétaires.

Considérant les coûts des travaux antérieurs des voiries et des routes exécutées dans notre pays, les services administratifs spécialisés en l'occurrence l'Office des voiries et l'office des

Routes disposent des données statistiques y relatives que l'on peut exploiter afin de fixer au moment de l'étude et par extrapolation des prix unitaires officiellement admis.

S'agissant de l'évaluation proprement dite, nous pouvons, pour de plus amples explications, définir avant tout les termes repris dans le devis, puis indiquer, au regard des activités à réaliser, les travaux qui commandent l'évaluation quantitative et estimative du projet. Enfin, un tableau synthèse des résultats est joint pour illustrer le devis.

8.1. Définitions des termes contenus dans le devis

8.1.1. Devis

Le devis est une synthèse des détails de divers travaux à exécuter ainsi que leur coût.

8.1.2. Nature des travaux

C'est la désignation distinctive de chaque activité considérée comme par exemple le terrassement, l'imprégnation, etc...

8.1.3. Unité de mesure

Il s'agit de la valeur (grandeur) choisie pour mesurer les grandeurs de même espèce. Par exemple, le mètre (m) est considéré comme l'unité fondamentale des mesures de longueur, tandis que le m^3 est l'unité de volume.

8.1.4. Prix unitaire

Ce terme exprime en monnaie la valeur donnée à chaque nature des travaux. Nous pouvons dire par exemple qu'un mètre cube (m^3) d'enrobé vaut 385 dollars américains (\$).

8.1.5. Quantité

En présentant le devis, on indique pour chaque poste donnée ayant fait l'objet de mesure, le nombre d'unités représentatif. Par exemple, le volume des terres déblayées est de $1500 m^3$.

8.1.6. Total

C'est le résultat de l'addition de l'ensemble des opérations effectuées.

8.1.7. Installation et repli chantier

Ce poste indique dans le devis les opérations relatives à la préparation du lieu où seront par exemple entreposés les matériaux, aménagé la cabane de chantier, etc... et lorsque l'ouvrage est terminé, tout y est retiré.

A l'Office des Voiries et Drainage par exemple, les documents officiels disponibles permettent de calculer les frais y relatifs en appliquant la valeur de 7% du coût des travaux.

8.1.8. Frais d'études

Point n'est besoin de souligner ici l'importance des études permettant de réunir les différentes tâches de conception. Précédant l'exécution, elles produisent l'ouvrage grâce à l'application des connaissances intellectuelles. Les

frais y relatifs sont souvent estimés à 5 % du coût des travaux.

8.1.9. Contrôle et surveillance

Dans le domaine des travaux publics, il est de règle que l'on s'assure que ce qu'on réalise sur le terrain est conforme à ce qui est prévu.

Il faut donc faire une vérification qui est faite dans le cadre du contrôle alors que par rapport à la surveillance, on devra garantir que les travaux exécutés ne sont ni dangereux ni interdits.

Il sied de préciser qu'en R.D.Congo, le contrôle des travaux routiers est assuré soit par le Bureau Technique de contrôle (BTC) dépendant du Ministère ayant les travaux publics dans ses attributions, soit par d'autres services que l'administration désigne.

8.1.9. Imprévus

Au cours de l'exécution, on est parfois surpris de faire face à des travaux non prévus lors de

l'évaluation. Dans le devis, le présent poste apporte la solution au problème des moyens financiers. Il est généralement calculé en appliquant 10% du coût des travaux.

8.2. *Evaluation quantitative et estimative*

Cette évaluation permet de faire à la fois le métré c'est-à-dire le relevé détaillé de différentes quantités représentant chaque poste retenu ainsi que le prix unitaire.

8.3. *Synthèse des résultats ou devis quantitatif et estimatif*

Après l'évaluation des activités ayant fait l'objet d'études les résultats sont regroupés dans un tableau appelé devis quantitatif et estimatif où l'on fait mention du coût total de l'ouvrage tel qu'on peut le voir dans le tableau ci – dessous.

Tableau n° 7 : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF DES TRAVAUX

N°	DESIGNATION	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE (USD)	PRIX UNITAIRE (USD)
A : Chaussée					
1	Débroussaillage	m ²	34820	7,00	243740
2	Terrassement	m ³	170040,00	14,00	2380560
3	Préparation de la plate – forme	m ²	27410	1,00	27410
4	Fourniture et pose bordure	ml	5482	24,00	131568
5	Mise en œuvre couche de fondation	m ³	6852,50	15,00	102787,5
6	Mise en œuvre couche de base	m ³	4111,50	60,00	246690
7	Imprégnation	m ²	27410	1,65	45226,5
8	Mise en œuvre couche de roulement	m ³	1096,4	307,11	336715,404
Sous Total₁					1372697,404 \$
B : Assainissement					
9	Quantité de terre à extraire	m ³	516,60	10,00	5166
10	Béton de propreté (200 kg/m ³)	m ³	309,96	170,00	52693,2
11	Radier dosé à 250 kg/m ³	m ³	54,98	210,00	11545,8

12	Maçonnerie en moellon	T	1214,01	200,00	242802
12	Enduit	m²	2583	8,00	20664
sous total₂					332,271 \$
Sous total₁ + sous total₂					1705568,404 \$
4	Installation et repli chantier			7%	119389,7883
5	Frais d'études			5%	85278,4202
6	Contrôle et surveillance			6%	102334,1042
7	Imprévus			10%	170556,8404
TOTAL					2183123,6 \$