

COURS DE ROUTES

I. GENERALITES

Définitions

a) La route : C'est une voie ou un passage aménagée au sol et qui permet la circulation des biens et des hommes entre deux points A et B. On distingue sur le plan structurel deux types de routes : les routes non revêtues (routes en terre) et les routes revêtues.

b)

Terminologie routière

Caractéristiques spécifiques de la route

Evolution des techniques routières

En Occident les plus grands constructeurs de chaussées furent les Romains. La coupe d'une chaussée romaine dont l'épaisseur dépassait 1 m était la suivante :

Couches inférieures :

- Une couche de fondation en pierres plates (*statumen*) ;
- Une couche de déchets pierreux (*rudus*)

Couche de base :

- Une couche de pierres concassées et de chaux grasse (*nucleus*)

Couche de roulement :

- Un dallage scellé au mortier de chaux (*summum dorsum*)

Comme on peut le voir l'entretien de telles routes était difficilement envisageable. Il a fallu attendre le XVIIème siècle pour voir se dessiner une tentative de normalisation. C'est au XVIIIème siècle que l'entretien des routes entre dans le budget de l'Etat en France ; les idées modernes de la reconnaissance du tracé, de la recherche des matériaux locaux, de l'appréciation de la qualité des sols rencontrés sur le tracé sont déjà exposés à cette époque. Mais la recherche d'un optimum économique n'est pas encore entrée dans les mœurs, et chose curieuse le compactage des remblais est déconseillé ; on laissait au temps le soin d'assurer le tassement.

Vers la fin du XVIIIème et au début du XIXème siècle il n'y a pas encore une grande évolution des techniques routières. TRESAGUET (mémoire de 1775) préconise :

- Une fondation en grosses pierres posées de champ et enfoncées à la main ;
- Une couche de régularisation constituée par des éclats de pierres, rangées et battues à la main ;
- Une couche de roulement de 3 pouces, en pierres de la grosseur d'une noix, cassées à la pierre et jetées à la pelle.

L'Ecosais MAC ADAM pose en 1820 la question de l'utilité de la fondation en grosses pierres et formule clairement l'idée que la chaussée constitue un matelas épanouissant les charges.

L'automobile a fait son apparition avant le début du XXème siècle, mais elle n'a pris son essor que grâce à l'invention du pneumatique.

En 1887, DUNLOP (vétérinaire anglais) obtient le 1^{er} brevet de pneumatique collé sur la jante.

En 1889, les Frères Michelin réalisent le 1^{er} pneumatique démontable pour bicyclette, et les 1ers pneumatiques pour automobiles 1893.

Evolution du parc automobile.

France :

1901 : 5386 voitures

1910 : 53669 voitures

1920 : 107535 voitures.

Etats-Unis :

1912 : 1.000.000 voitures

1921 : 9.300.000 voitures

1.200.000 camions

En 1921, il y avait :

01 voiture pour 11 habitants aux USA (1/5 en Californie ; 1/28 en Alabama)

01 voiture pour 110 habitants en Grande Bretagne

01 voiture pour 151 habitants Suisse

01 voiture pour 160 habitants en France.

Sur 11.000.000 véhicules dans le monde, il y avait 230.000 en France et plus de 9.000.000 aux USA.

Ce fut le souci de résoudre le problème de la poussière qui fut à l'origine de l'emploi des liants hydrocarbonés, à savoir le goudron et le bitume.

Les matériels routiers actuels existaient dès 1920.

En 1925, il y avait la niveleuse tractée par des chevaux aux USA.

En 1925, il y avait des postes d'enrobage discontinus.

1.5 Le réseau routier au Cameroun

15.1 Classification du réseau routier

La classification se fait généralement selon deux critères : le critère technique et le critère administratif.

15.1.1 Critère technique

Le critère technique se base sur le mode d'exécution des travaux de construction ou d'entretien. On distingue alors :

- La piste saisonnière difficilement praticable en saison de pluie a un intérêt principal d'évacuer les produits de récolte. Elle supporte une circulation maximale de 40 véhicules par jour en saison sèche.
- La route en terre ou piste améliorée ; contrairement à la piste saisonnière elle est praticable pendant toutes les saisons.
- La route revêtue permet la circulation rapide des véhicules de tous genres.

15.1.2 Critère administratif

Le critère administratif basé sur les fonctions politiques et économiques (intensité du trafic) prend en compte l'ensemble du réseau routier national et international. Ainsi, on distingue cinq types de routes :

- Les routes régionales qui relient les régions frontalières.
- Les routes nationales qui relient essentiellement les chefs lieux des provinces à la capitale d'un pays et ce dernier aux pays voisins.
- Les routes provinciales qui relient à l'intérieur d'une province les chefs lieux de départements à la capitale provinciale.
- Les routes départementales relient à l'intérieur d'un département les arrondissements aux chefs lieux du département.
- Les routes communales et rurales desservent les campagnes ; les plantations et les zones industrielles locales.

15.2 Réseau routier camerounais

L'ensemble du réseau routier interurbain camerounais a une longueur totale d'environ 50.000 km dont:

- 45 000 km de routes en terre et
- 5 000 km de routes revêtues.

Dans le cadre du Programme Sectoriel des Transports, le gouvernement a défini un « réseau prioritaire » comportant l'ensemble des routes bitumées et une partie des routes en terre sur lequel devrait être axé l'essentiel des opérations d'entretien. Il faut noter que le réseau prioritaire est le réseau pertinent sur lequel l'intégralité des ressources disponibles sera concentrée. Le choix du réseau prioritaire tient compte du trafic et de l'environnement économique.

Tableau 1 : Linéaire du réseau prioritaire

	<i>Routes Bitumées (km)</i>	<i>Routes en Terre (km)</i>	<i>Routes Rurale (km)</i>	<i>Total (km)</i>
<i>PST en 1992</i>	4054	9704	10 952	24 710
<i>Arrêté n° 3295/A/MINTP/CAB du 09/11/99</i>	4047,8	9929	12110	26 086,8
<i>Arrêté n°47/A/MINTP/CAB du 13 mars 2003</i>	4724,3	11 316,6	12 110	28 150,9

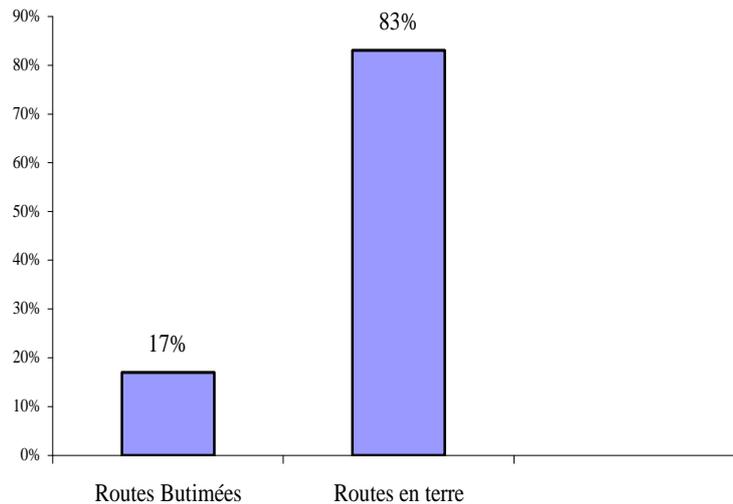


Figure 2 : Linéaire du réseau prioritaire en 2003

La figure 1 montre que les routes en terre constituent 83% du réseau prioritaire.

1.6 Etude du trafic

1.6.1 Introduction

L'étude de trafic est une partie essentielle de toute étude routière. Du volume de trafic dépendent, en effet, les caractéristiques essentielles d'une liaison, telles que la géométrie, la largeur, le gabarit, les charges de ponts et structures de chaussées.

Mais l'étude de trafic est surtout importante pour le calcul du coût global (combinaison entre les coûts dus à l'Etat et à l'utilisateur) de fonctionnement des véhicules, qui détermine de manière essentielle la rentabilité d'un projet. Globalement parlant, l'investissement peut être plus lourd, si son bénéfice est partagé par un grand nombre d'utilisateurs. Parfois, le trafic intervient aussi dans le calcul du coût individuel de fonctionnement d'un véhicule (en particulier en cas de saturation de trafic).

De plus, l'entretien des routes, et plus particulièrement l'entretien des structures de chaussées est largement dépendant du trafic, non seulement pour la fréquence et les méthodes d'entretien mais aussi pour adapter l'organisation des services techniques aux différentes demandes d'entretien possibles.

L'étude de trafic peut être plus ou moins détaillée, en fonction du besoin, des moyens, et du but recherché. Elle peut aller du comptage manuel aux pesées d'essieux dynamiques et d'une projection simple de trafic aux modèles informatisés de prédiction les plus compliqués.

1.6.2 Différents types de trafics

i) Trafic normal

C'est le trafic actuel sur une liaison existante en tenant compte de la croissance annuelle, en « situation stable ». Cette situation fait abstraction de tout aménagement, de toute construction nouvelle ou concurrente mais prend en compte l'évolution du trafic dû aux mutations socio-économiques.

ii) Trafic dérivé

C'est le trafic supplémentaire sur une liaison qui est dévié d'autres itinéraires suite à des aménagements et investissements sur une autre la liaison.

iii) Trafic induit

C'est le trafic créé nouvellement suite à un aménagement, et qui n'existait pas avant.

Souvent, le terme trafic induit regroupe le trafic dérivé et le trafic induit.

iv) Trafic saisonnier

Il existe deux types de trafic saisonnier :

- trafic variant librement en fonction de la période de l'année (récoltes,...) ;
- trafic interdit ou limité par périodes (barrières de pluies ...)

1.6.3 Charges à l'essieu

Par pays, la charge à l'essieu autorisée varie de 8t à 13t; de même manière, le PTC varie de 35t à 45t en fonction du type de Poids Lourds.

Comme la charge à l'essieu est une des données de base de tous les dimensionnements de chaussées, l'effet d'une surcharge se sent immédiatement et met en danger la pérennité d'une structure.

En effet, le dommage occasionné par une charge roulante unique est évalué par la notion d'agressivité. La chaussée est toujours dimensionnée de telle sorte qu'elle peut supporter un nombre de passages limités avant de « rompre ». Ce n'est donc pas une seule surcharge qui crée la rupture, mais le passage successif de surcharges.

La loi donnant l'effet des surcharges est du type :

$$A = k \left(\frac{P}{P_o} \right)^\alpha \text{ Avec } k \text{ et } \alpha \text{ dépendant de la structure et du type d'essieu}$$

P_o est la charge de référence (13t en France, 10t en GB.)

Pour les chaussées souples, $\alpha = 4$ (alors que pour les chaussées avec graves hydrauliques ou en béton $\alpha = 8$ ou $\alpha = 12$).

Ceci veut dire qu'une surcharge de 10% crée 1.5 fois plus de dommage que la charge réglementaire, une surcharge de 20% crée 2 fois plus de dommages (comme si le trafic était doublé!), et 50% de surcharge équivaut même à 5 Poids Lourds réglementaires !

Ceci est particulièrement important quand on pense que les histogrammes d'essieux de tous les pays présentes un certain pourcentage de surcharges, mais qu'il est particulièrement fort dans quelques pays en voie de développement. Si possible, il faut prendre en compte dès la conception les effets des surcharges, et éventuellement épaissir la structure en conséquence (ce qui vaut toujours mieux que de la reconstruire 5 ans plus tard...).

1.6.4 Calcul de trafic cumulé

Pour calculer le trafic cumulé, il faut d'abord décider du nombre d'années de service pour lesquelles l'on veut faire un investissement. Mais il faut surtout disposer du taux de croissance du trafic, c'est à dire de la variation du volume total de trafic d'une année sur l'autre. Comme ce taux est susceptible de varier d'une année sur l'autre (souvent lié au PNB), le mieux est de disposer de deux études de trafic faites dans un intervalle d'au moins 5 ans. On utilise alors le taux moyen de croissance. Le taux de croissance peut aussi différer fortement entre les catégories de véhicules, qu'il faudra alors distinguer au moment des comptages.

Deux approches sont possibles pour le taux de croissance :

* la croissance géométrique, où le trafic augmente tous les ans d'un pourcentage fixe par rapport à l'année précédente. Pour l'année N, on a alors :

$$\underline{T_N = T_o * (1 + r)^N} \quad \text{trafic à l'année N et le cumul pour les N années :}$$

$r = \text{croissance géo}$

$$\underline{S_N = T_o * \frac{(1 + r)^N - 1}{(1 + r) - 1} * 365}$$

Par exemple avec une croissance de 4% géométrique, si le trafic à l'origine, T_o , est de 100 véhicules au bout de 15 ans, il est de :

$$T_N = 100 * 1.04^{15} = 180 \text{ véhicules}$$

$$\text{Le trafic cumulé est de } S_N = T_o * \frac{(1.04^{15} - 1)}{1.04 - 1} * 365 * 100 = 730860 \text{ passages.}$$

* La croissance linéaire, où le trafic augmente d'un volume constant tous les ans.

Pour l'année N, on a alors :

$$\underline{T_N = T_o * (1 + N * a)} \quad \text{et le cumul } S_N = N * T_o * \left(1 + \frac{a * N}{2} \right) * 365$$

Par exemple avec les mêmes données, mais une croissance linéaire, on a $T_N = 100 * (1 + 15 * 0.04) = 160$ véhicules, et le trafic cumulé est de

$$S_N = 15 * 100 * \left(1 + \frac{0.04 * 15}{2}\right) * 365 = 711750 \text{ passages.}$$

En conclusion, l'on dira que *le trafic est un élément fondamental de toute étude*, et intervient largement dans la justification des projets dans le modèle HDM. Il est donc indispensable de connaître son volume et sa composition. Certains aménagements avec faible trafic doivent aussi pouvoir se justifier autrement, et le coût pour la collectivité de l'absence d'une route est souvent élevé, même si le trafic potentiel serait faible. Il faut donc avoir en tête les deux principes (parfois contradictoires) suivants :

- *à trafic élevé, plus d'usagers profitent d'un aménagement ;*
à trafic faible, une route peut être le « fil de la vie » d'une région

1.7 Etudes économiques

1.7.1 Environnement politique et économique de la route

Bien que la route soit un facteur important de développement, elle n'est cependant pas le seul car il existe d'autres secteurs tels que les industries, les entreprises etc. qui doivent être soutenues dans un cadre de mesure économique et sociale appropriée.

Aussi est-il important de savoir quelle place devra tenir l'équipement routier dans l'ensemble des actions possibles et comment les investissements routiers devront être coordonnés avec les autres actions pour la poursuite et les atteintes des objectifs fixés.

Certaines enquêtes ont montré que :

- *dans certaines zones de production agricole, on a pu enregistrer un accroissement de la production en même temps que l'expansion du réseau routier ;*
- *pour certains pays, il a été mis en évidence une corrélation entre la production agricole par tête d'habitant et un indicateur d'équipement comprenant les investissements routiers ;*
- *les pays à plus fort revenus sont ceux dont la densité de route par unité de surface est la plus élevée.*

L'influence des investissements routiers sur les économies est donc certaine et les pouvoirs publics disposent là d'un moyen d'orientation de l'économie. Le rôle de la route apparaît d'une façon plus ou moins directe, mais à coût sûr dans tous les éléments de l'évolution du développement économique (extension des marchés intérieurs et extérieurs, accroissement des points de contact, des courants commerciaux etc.).

En conclusion, nous pouvons dire que *la route est donc un facteur de développement car elle désenclave et facilite le transport des personnes et des biens.*

1.7.2 Importance des études économiques

Le rôle des études économiques est de **faciliter le dialogue entre les différentes personnes qui interviennent dans la vie d'un projet (décideurs politiques, les bailleurs de fonds, les financiers, les techniciens, etc.)**

Tandis que *le politique cherche à satisfaire la volonté des élus*, le financier dira qu'il n'y a pas assez de liquidité et il faudrait faire appel à une aide extérieure. Le bailleur de fonds ne s'intéressera pas au projet parce qu'il est insuffisamment justifié ou trop cher et en ce temps le technicien de son côté établira des aménagements en fonction des observations qu'il aura faites de la circulation. Tant que les différents protagonistes ne se mettent pas d'accord, le projet ne sera jamais réalisé.

Les études économiques devraient permettre de faire progresser le dialogue grâce à la connaissance des effets des travaux routiers, à l'analyse de leur incidence économique et financière. Les divers points de vue pourront être alors rapprochés comparés et conciliés.

Il est donc évident que *les études économiques suscitent le dialogue, le travail en équipe, elles font recours à des spécialistes et le technicien qui a un rôle important à jouer en offrant l'éventail des solutions techniques propres à son domaine en apportant des éléments indispensables de compatibilité techniques et de coût. Mais bien souvent, seul devant son projet, le technicien sera amené à se poser la question fais-je trop ou pas assez ? et bien souvent, il devra trouver la réponse lui-même et soutenir les raisons de son choix.*

1.8 Notion de circulation routière

2. TRACES ROUTIERS

2.1 Caractéristiques géométriques

2.1.1 Introduction

Le tracé routier se définit par la connaissance du tracé de son axe en plan (Tracé en plan), de la position en altitude de ses profils (Profil en long) et de son gabarit (Profil en travers). Ce tracé doit satisfaire certaines conditions de la nature et de l'importance du trafic. Les problèmes suivants :

- 1 un véhicule rapide doit pouvoir circuler à grande vitesse ;**
- 2 un véhicule lourd doit pouvoir gravir les déclivités ;**
- 3 un véhicule long doit pouvoir s'inscrire dans les courbes**

les problèmes suivants :

- 1. la largeur de la chaussée doit pouvoir évacuer un débit assez important de trafic dans les conditions de sécurité et de confort;**
- 2. les différents dévers doivent permettre aux véhicules dans une courbe de passer sans dérapage ;**
- 3. l'eau doit s'écouler et l'assainissement doit se faire aussi facilement que possible.**

2.1.2 Paramètres fondamentaux Le profil en travers courant doit pouvoir résoudre quant à lui Le tracé en plan et le profil en long doivent résoudre

2.1.2.1 Paramètre de base

A) Vitesse de circulation

Il existe trois sortes de vitesse :

i) Vitesse de référence (Vr)

Elle permet **de définir les caractéristiques minimales des d'aménagement points particuliers** (les points ayant des caractéristiques géométriques les plus contraignants pour les usagers) d'une route.

Par définition, c'est **la vitesse qu'un automobiliste pratique lors de la traversée du point le plus contraignant d'une section de la route en toute sécurité.** Elle a un caractère indicatif.

ii) Vitesse à vide (Vo)

C'est la vitesse moyenne que pratique un véhicule isolé en dehors des points particuliers et à leur approche

iii) Vitesse de groupe ou vitesse pratiquée (Vp)

C'est la vitesse d'un groupe de véhicules sur les voies rapides urbaines qui permet d'effectuer certains mouvements d'entrecroisement et de dépassement. On a dans

$$V_p = \frac{3}{4} V_o$$

la plupart des cas :

2.1.2.2 Paramètres cinématiques

Ces éléments sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Vitesse du véhicule	V (Km/h)	40	60	80	100	120
Longueur de freinage	do (m)	15	35	60	105	170
Distance d'arrêt en alignement	d1 (m)	40	70	105	160	230
Distance d'arrêt en courbe	d2 (m)	45	80	120	180	280
	Minimale	dd (m)	150	250	325	400
	Normale	dp (m)	250	350	500	800
Distance de visibilité de manœuvre de dépassement	dMd (m)	70	120	200	300	400

2.1.3 Autres paramètres

a) Les plans

Le terrain naturel est représenté sous forme d'un plan coté dans le système de coordonnées LAMBERT (coordonnées planimétriques x et y). Sur ces plans, nous retrouvons :

- **les courbes de niveau** dont les distances dépend de l'importance du projet (courbe de niveau : ligne qui relie tous les points d'un terrain ayant même altitude) ;
- **les quadrillages ou carroyages** qui sont les divers points de repérage. Ces points sont équidistants et représentés par des croix ;
- **les coordonnées planimétriques et les coordonnées altimétriques ;**
- **la direction du Nord, l'échelle ;**
- **la représentation des autres éléments** tels que : les cours d'eau, les zones de marécage, les cases, les poteaux électrique, etc.

Le plan topographique qui sert de support au travail du projeteur est à une **échelle qui dépend de l'avancement de l'étude et de la zone urbaine ou rurale de travail.**

Les échelles suivantes sont généralement adoptées :

Zone urbaine	Zone rurale
---------------------	--------------------

Esquisse	1/2000	1/10000 ou 1/5000
Avant Projet Sommaire	1/2000 ou 1/1000	1/5000 ou 1/2000
Avant Projet Détaillé Projet d'exécution	1/1000 ou 1/500 (ou 1/100)	1/2000

Le projet d'exécution se fait de préférence au 1/500 en zone urbaine sauf dans les tronçons comportant des points durs où l'on travaille au 1/100.

b) Les circulaires

Les normes établies par la Direction des Routes et de la circulation Routière sont souples pour l'utilisateur car elles donnent au projeteur des indications qu'il est souhaitable de respecter sans que cela soit un impératif absolu. Elles sont liées aux considérations de coût et de confort pour les usagers. Nous avons les circulaires suivantes :

- I.C.T.A.R.N : Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales ;
- I.C.T.A.A.L : Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison ;
- I.C.T.A.V.R.U : Instructions sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines.

2.1.4 Les catégories de routes

Les routes font l'objet de réglementations adaptées à leur destination, suivant qu'elles sont situées en milieu urbain ou en rase campagne. Les différences entre catégories concernent principalement les caractéristiques techniques minimales à adopter pour la route. Les catégories sont établies d'après une vitesse dite "de référence" qui détermine leurs caractéristiques d'aménagement.

Le choix de la catégorie d'une route a pour objectif principal de conserver à une voie ou section de voie une bonne homogénéité nécessaire à la sécurité.

Ce choix dépend essentiellement :

- **de la fonction principale de la route à réaliser ;**
- **du site et de l'environnement (relief, urbanisation, occupation du sol, etc.) ;**
- **de la comparaison économique (coûts, avantages) des catégories possibles ;**
- **etc.**

Catégorie de la route	Vitesse de référence (Km/h)
Exceptionnelle	120

1ère	100
2ème	80
3ème	60
4ème	40

2.2 TRACE EN PLAN

2.2.1 Définition

d'une succession de Il est composé segments de droites (Alignement droit) raccordés par des courbes. Ces dernières sont soit des clothoïdes (courbes à courbures progressives), soit des cercles.

2.2.2 Les rayons en plan (RH)

2.2.2.1 Le rayon minimal absolu (RHm)

C'est le rayon en dessous duquel l'on ne devrait pas descendre. Il correspond à la plus faible valeur à admettre pour un tracé. (On se place à la limite du dérapage avec le dévers maximal qui est de 7%)

2.2.2.2 Le rayon minimal normal (RHN)

C'est le rayon en dessous duquel l'on ne devrait pas descendre dans le cas normal sauf cas particulier. Il assure un confort et une sécurité plus grande et correspond à la vitesse $V_r + 20\text{Km/h}$.

2.2.2.3 Le rayon au dévers minimal (RH'')

C'est le rayon qui permet de déverser la chaussée à une valeur minimale de 2% (chaussée rigide) ou de 2.5% (chaussée souple). Ce rayon correspond au dévers minimal que doit présenter toute chaussée.

2.2.2.4 Le rayon non déversé (RH')

C'est le rayon à partir duquel même en courbe, la chaussée garde son profil en travers comme dans un alignement droit.

2.2.3 Quelques recommandations

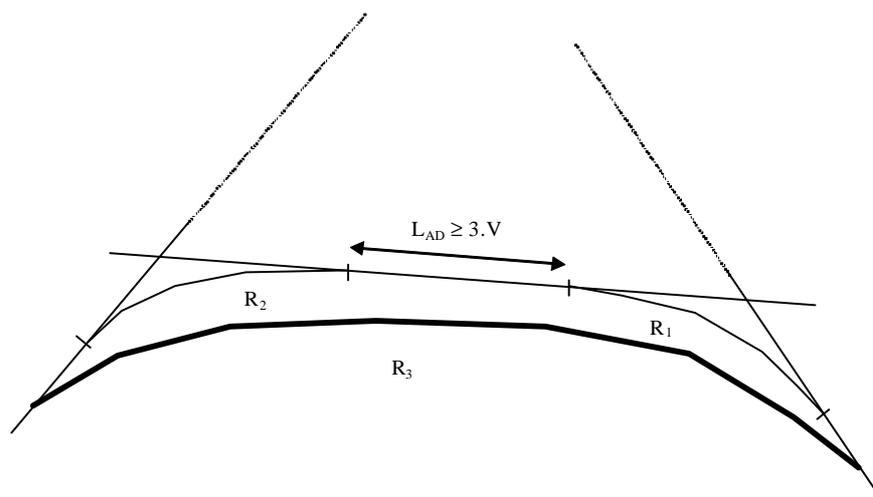
La détermination du tracé en plan d'une route obéit à certaines recommandations prévoyant :

- *visibilité suffisantes pour faciliter les dépassements sur 40 à 60% de l'itinéraire, pour les routes à double sens ;*
- *pour des raisons des rayons très supérieurs, si possible, au rayon minimal pour la catégorie retenue (avec des développements circulaires d'au moins 200 mètres de longueur) ;*

- **des ouvrages de grandes longueurs, si possible, en dehors des sections circulaires et des zones de raccordement progressif ;**
- **des distances de économiques et de sécurité, choisir un axe de projet perpendiculaire aux voies raccordées etc. ;**
- **la longueur d'un alignement droit à deux (02) Km maximum pour les raisons suivantes :**
 - **éblouissement par les phares des autres automobilistes venant dans le sens opposé ;**
 - **monotonie dans la conduite qui peut créer la somnolence ;**
- **en moyenne 60% d'alignement droit contre 40% de courbes quitte à remplacer les très longs alignements droits par des courbes de grands rayons ($R > RH'$) ;**
- **50m minimum entre deux courbes de sens contraire ;**
- **3 secondes pour passer d'une courbe à une autre. La vitesse considérée ici est celle déterminée après observation du comportement réel des conducteurs.**

V (m/s)	Nombre de voies de la chaussée
$\frac{1200}{36\left(1 + \frac{346}{R^{1.5}}\right)}$	2 x 2 voies
$\frac{1020}{36\left(1 + \frac{346}{R^{1.5}}\right)}$	3 voies ou 2 voies (6 et 7 m)
$\frac{920}{36\left(1 + \frac{366}{R^{1.5}}\right)}$	2 voies (5m)

Soit LAD la longueur d'alignement droit entre deux courbes de même sens, $LAD \geq 3.V$ (m/s)



Dans l'impossibilité d'intercaler une longueur d'alignement droit convenable, on peut faire un raccordement unique en choisissant un rayon R3 plus grand.

Surlargeurs

Lorsqu'un véhicule circule dans une courbe, il occupe une largeur plus grande que sur l'alignement droit. Il est très sensible pour les véhicules longs, c'est donc pour leur permettre de s'inscrire dans la largeur d'une voie au niveau des virages de petit rayon que cette notion est née. Les circulaires limitent l'adoption des surlargeurs aux rayons inférieurs à 200 m, la surlargeur S en courbe par voie

de circulation est calculée par la formule :

$$S = \frac{50}{R} \text{ et } 0.20\text{m} < S \leq 3\text{m}.$$

2.3 Profil en long

2.3.1 Définition

Deux types de profil en long existent : le profil en long du terrain naturel et le profil en long du projet.

2.3.1.1 Le profil en long du terrain naturel

C'est la représentation sur un plan vertical des différents points (en X et Z) du terrain naturel suivant l'axe du tracé en plan choisi.

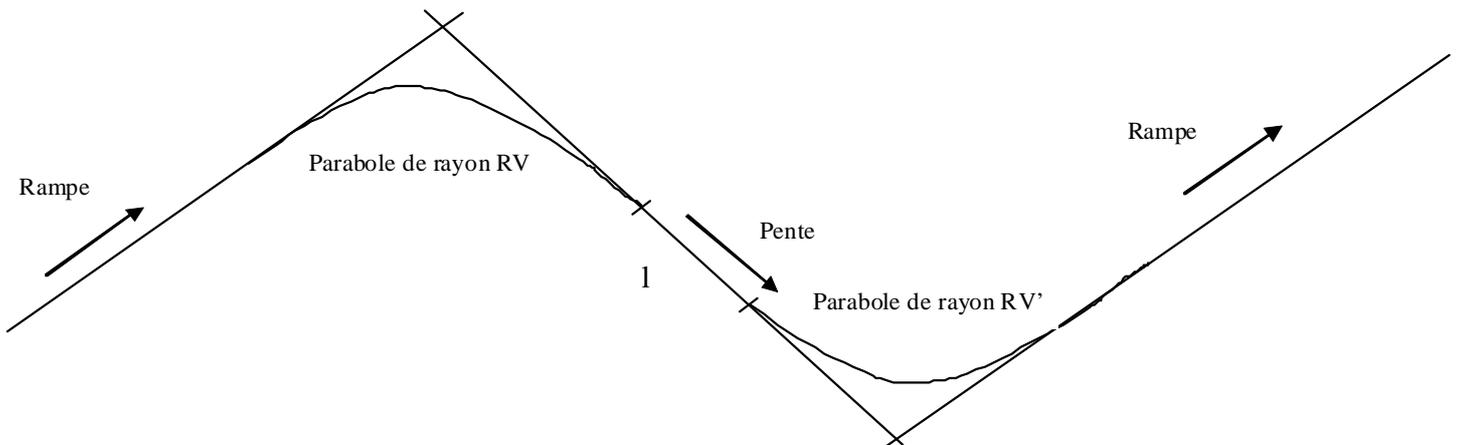
2.3.1.2 Le profil en long du projet

C'est la représentation des éléments définissant en altitude de la route suivant le cheminement du tracé en plan. Cette représentation est appelé ligne rouge.

Le profil en long est constitué de succession de rampes (montées) et de pentes (descentes) raccordées par des éléments circulaires ou paraboliques.

Les raccordements convexes en point haut sont appelés raccordements en angle

saillant ; et les raccordements concaves en point bas sont les raccordements en angle rentrant.



Les **pent**es et les **rampes** sont appelées **des déclivités**. Leurs valeurs sont fonction de la vitesse de référence.

La longueur minimale l entre les deux paraboles est 50m

RV : **Rayon en angle saillant**

RV' : **Rayon à angle rentrant**

RV > RV' à cause de la visibilité

2.3.2 Quelques recommandations

- **Ne jamais séparer l'étude du profil en long de celle du tracé en plan. Exclure les courbes accentuées en plan au voisinage des points sensibles du profil en long ;**
- **Eviter que les déclivités maximales se maintiennent sur les distances supérieures à 1000m.**
- **Créer une voie supplémentaire lorsque la route a une rampe forte (+ 5%) et longue (1 Km)**
- **choisir de préférence (sauf difficulté d'insertion dans le site) un profil en long légèrement au-dessus du terrain naturel plutôt qu'à un niveau ou en dessous pour des raisons liées à l'assainissement ;**
- **utiliser des rayons adaptés à l'approche des points particuliers**
- **éviter, si possible, de situer les points particuliers dans les fortes déclivités et les quelques centaines de mètres leur succédant ;**
- **adopter des déclivités suffisantes dans les zones de faible pente transversale et dans les section en déblai, afin d'assurer un bon écoulement des eaux de ruissellement ;**

Le projet d'une voie routière, réalisé à partir de documents plan, ne donne pas la vision réelle de ce que sera l'aménagement dans l'espace, d'où la nécessité de coordonner tracé et profil par une étude d'ensemble, qui doit permettre :

- **d'assurer une bonne visibilité à l'approche des points singuliers (pas de**

carrefour après un sommet de côte ou un virage, etc.) ;

- *de caler les courbes en plan de telle sorte qu'elles soient bien en correspondance avec les courbes en profil en long du secteur ;*
- *d'éviter après un sommet de côte des "réapparitions" de tracé trop proches du lieu de "disparition".*

Dans certains cas particuliers, des dérogations aux normes ainsi définies peuvent être accordées, après avoir épuisé toutes les possibilités offertes par les réglementations. La zone concernée est alors traitée avec grande attention pour éviter toute cause d'accident.

Lorsque la déclivité maximale est au-delà de 4%, il faudrait imposer une longueur maximale à la section de cette route. Cette longueur maximale est appelée longueur critique de pente maximale (Lc).

Trafic	Lc (m)
En deçà de 100 veh/j	1000 pour p > 9%
150 à 500 veh/j	7500 pour p > 6%
	600 pour p > 4%
	400 pour p > 6%

2.3 Profil en travers

2.3.1 Définition

Le profil en travers de la route est représenté par le tracé de la chaussée et du terrain naturel sur un plan vertical orthogonal à l'axe de la route.

Pendant la représentation du profil en travers, l'œil de l'observateur est fixé vers l'origine du projet.

2.3.2 Types de profils en travers

Il existe deux types de profils en travers : Le profil en travers type et le profil en travers courant.

2.3.2.1 Le profil en travers type

Les tracés routiers ont chacun leur profil en travers type. C'est un modèle qui sert de guide pour le tracé des profils en travers courants. Il est rare de

rencontrer plus d'un profil en travers type sur un tracé mais cela dépend des critères (économique, environnemental, techniques,) qui peuvent amener le technicien à modifier ce profil. En tout état de cause, pour le faire, il faudrait s'assurer que ce changement ne mettra pas en danger les usagers.

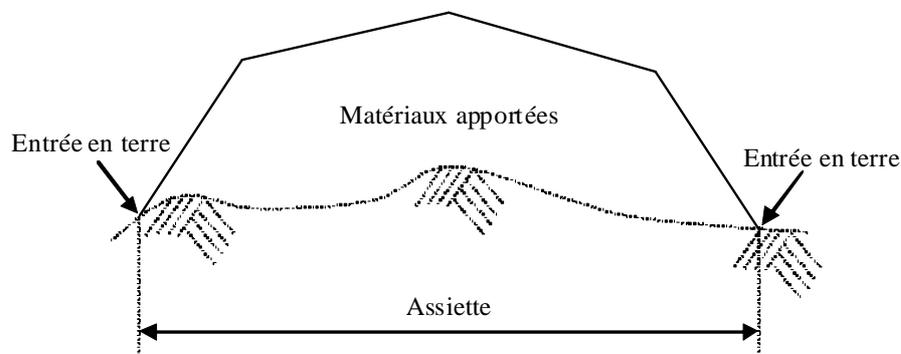
2.3.2.2 Le profil en travers courant

C'est le profil en travers des différents profils rencontrés sur le tracé en plan et les profils en long. Le nombre dépend aussi bien de la longueur du tracé et des distances inter profils.

Il existe trois types de profils en travers courants :

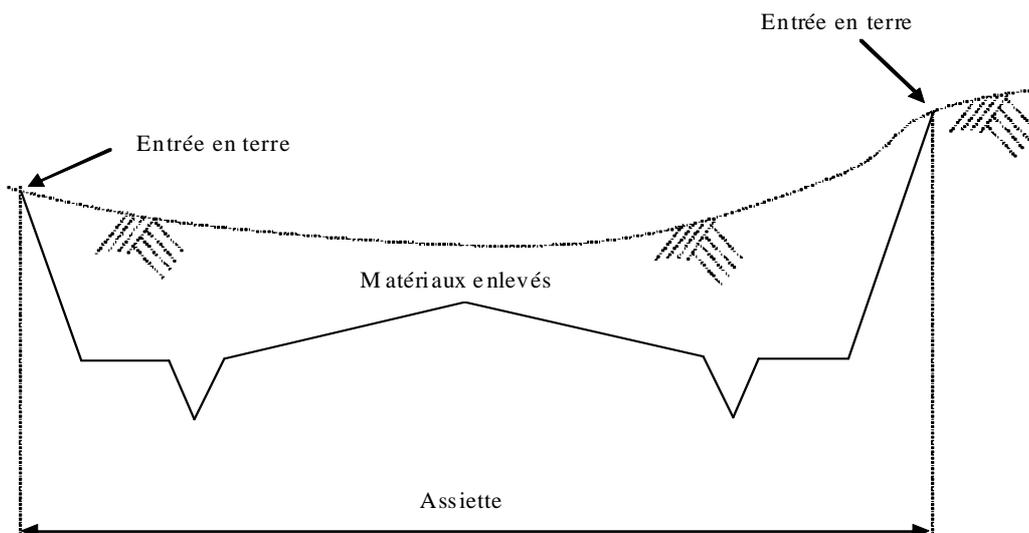
a) Le profil en travers en remblai

C'est le profil qui a un déficit de matériaux et qui nécessite un apport de matériaux à toutes ses différentes parties, autrement dit, toute l'assiette de la route se trouve en remblai.



b) Le profil en travers en déblai

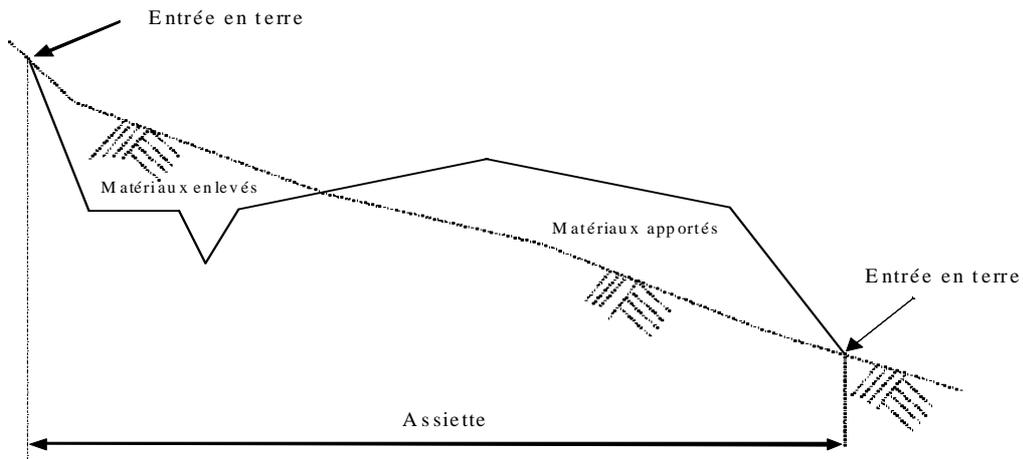
C'est le profil qui a un excédent de matériaux qu'il faudrait enlever à toutes ses différentes parties, autrement dit, toute l'assiette de la route se trouve en déblai.



c) Le profil en travers mixte

C'est le profil qui a un déficit de matériaux sur une de ses parties et un

excèdent sur une autre, autrement dit, une partie de l'assiette est en déblai et l'autre partie en remblai.



2.3.3 Constitution de profils en travers

Le profil en travers des routes comporte certaines caractéristiques :

- * **En section courante**
 - **La chaussée est divisée en voie de circulation dont la largeur est suffisante pour permettre le passage d'une file de véhicules ;**
 - **Le nombre et la largeur des voies de circulation dépendent du volume et de la composition du trafic amenés à les emprunter ;**
 - **Le terre-plein central éventuel ;**
 - **Les accotements ;**
 - **Les éventuelles bandes d'arrêt et bandes cyclables.**

- * **Au droit des ouvrages d'art et des points singuliers**
 - **Pour les ouvrages d'art courants, les dimensions des chaussées et d'un éventuel terre-plein central sont identiques à celles prévues en section courante ; le terre-plein central et les accotements comprennent la plupart du temps des trottoirs, glissières, etc. ;**
 - **Pour le franchissement des points singuliers constitués par des ouvrages d'art exceptionnels, les caractéristiques à adopter sont étudiées au cas par cas, sans diminuer la largeur de la chaussée roulable.**

- * **Les autres points singuliers**
Ils font l'objet de recommandations spécifiques. Nous pouvons citer :
 - **les carrefours : les carrefours plans classiques, les carrefours giratoires ;**
 - **les échangeurs ;**
 - **Les passages à niveau.**

L'espacement entre les profils en travers consécutifs varie entre 50m et 100m

et sur un terrain accidenté, il varie de 25m à 35m. Cet espacement est indicatif et dépend des difficultés rencontrées pendant la phase des études.

DESIGNATION DU PARAMETRE			Symbole et unité	Catégorie de Route					
				4e	3e	2e	1e	Except.	
Vitesse de référence			Vr (Km/h)	40	60	80	100	120	
Tracé en plan	Dévers maximal		□M (%)	7	7	7	7	7	
	Rayon en plan RH(m)	Minimal absolu (dévers □M)	RHm	40	120	240	425	665	
		Minimal normal (dévers)	RHN (□%)	120 (5%)	240 (5%)	425 (5%)	665 (4%)	1000 (4%)	
		Au dévers minimal (*)	RH'' (2.5%)	250	450	650	900	1500	
			RH'' (2%)	300	500	700	1000	1600	
Non déversé	RH'	400	600	900	1300	1800			
Profil en long	Déclivité maximale en rampe		□ m (%)	8	7	6	5	4	
	Rayon avec angle saillant Rv(m)	Chaussée unidirectionnelle. (Route à 4 voies ou à 2 chaussées)	Minimal absolu	RVm1	500	1500	3000	6000	12000
			Minimal normal	RVN1	1500	3000	6000	12000	12000
		Chaussée bidirectionnelle. (Route à 2 ou 3voies)	Minimal absolu	RVm2	500	1600	4500	10000	
			minimal normal	RVN2	1600	4500	10000	17000	
	Rayon en angle rentrant RV' (m)	Minimal absolu		RVm'	700	1500	2200	3000	4200
		Minimal normal		RVN'	1500	2200	3000	4200	6000
Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement minimale sur route à 2 ou 3 voies			RVD (m)	2500	6500	11000	17000	28000	

Tableau des paramètres fondamentaux

(*) Le dévers minimal est 2.5% pour chaussée bitumineux, 2% pour chaussée en béton de ciment

2.3.4 Environnement

La protection de l'environnement et de la qualité de la vie est devenue une des préoccupations majeures de la société actuelle. Il est donc intéressant de développer et aménager le réseau routier tout en l'intégrant dans les lieux de vie et les sites naturels.

Les multiples facettes que présente l'environnement concernent :

2.3.4.1 Du côté des hommes

** Le bruit*

Bien que la route soit construite par l'homme, elle est aussi la cause d'une nuisance importante : le bruit. Plusieurs solutions peuvent être mises en œuvre pour lutter contre le bruit engendré par la circulation routière : déviation, revêtements de chaussée spéciaux, isolation des bâtiments, réglementation interdisant les constructions aux abords des routes etc.

Il en est de même pour la gêne apportée par la construction d'une route. Elle peut être limitée par le choix de l'installation de base des engins, l'utilisation de matériels insonorisés, l'adaptation des horaires de travail et des itinéraires d'approvisionnement du chantier.

** La pollution de l'air*

La circulation automobile est responsable d'une part importante de quelques agents de la pollution de l'air essentiellement des gaz d'échappement et de la poussière.

Les réglementations et les avancées technologie aident à lutter contre cette nuisance.

** L'intrusion dans la vie sociale et économique*

Une voie rapide peut perturber la vie d'un quartier. Mais c'est surtout en milieu agricole que la route peut perturber l'activité économique par son emprise sur les exploitations, pouvant entraîner leur amputation ou parcellisation, et la modification des productions.

Pour remédier à ces problèmes :

- les études de tracé des routes tiennent compte des valeurs d'exploitation des terres ;
- les emprises routières sont intégrées dans les politiques de remembrement ;
- des indemnités financières peuvent être accordées.

2.3.4.2 Du côté de la nature

** L'eau et le sol*

L'interaction de l'eau et du sol est caractérisée par le ruissellement superficiel (érosion du sol, transport et sédimentation des produits de l'érosion etc.), et l'infiltration

(nappes souterraines, évaporation etc.)

Les travaux routiers représentent un réel danger pour les éléments essentiels des écosystèmes : les rejets d'huile et de matières diverses, perturbation de l'écoulement des nappes phréatiques.

La circulation est par ailleurs cause de pollution chronique (usure de la chaussée, déchets de pneumatiques et émissions d'échappement) ou accidentelle, les polluants sont transportés par les eaux de ruissellement, et contaminent les abords des voies.

2.3.4.3 Du côté de la faune

Les animaux ont l'habitude de suivre des itinéraires précis pour se rendre à leur lieu traditionnel de chasse, de repos, d'accouplement etc. C'est la raison de bien des accidents dont sont victime nombre de petits et parfois de gros animaux.

Le mieux est d'éviter les zones de conflits, mais on peut également réaliser des passages inférieurs ou supérieurs etc.

2.3.4.4 Du côté du patrimoine

Les vestiges archéologiques, les monuments peuvent être menacés par l'arrivée de la route. Une concertation au préalable est nécessaire entre les interlocuteurs. L'une des solutions retenues sont : le contournement du site, la mise en valeur du monument, etc.

2.3.4.5 Du côté du paysage

La construction d'une route modifie, parfois fortement le paysage, mais elle permet aussi de le découvrir. Il est donc nécessaire de tenir compte de tous les points de vue : la qualité du site, l'opinion des riverains et des visiteurs etc.

2.3.5 Les équipements

Nous les regroupons dans le cas de ce cours en deux groupes distincts :

* Marquage au sol et signalisation verticale

- Les différents types de marquage au sol sont spécifiés par la réglementation, suivant qu'il s'agit des lignes de rives, des lignes de délimitation, des lignes de traversée d'un carrefour, etc.) ;
- La signalisation verticale par panneaux sur accotement ou sur portique est également normalisée (panneaux de danger, panneaux d'intersection, panneaux d'interdiction ou d'obligation, panneaux de direction, etc.)

* Dispositifs de sécurité

- Glissières simples ou doubles ;
- Barrières, dans le cas de risque de sortie de route d'un véhicule lourds dans la zone dangereuse (dénivellation importante, etc.) ;

2.3.6 Autres définitions

Le profil en travers de la route est représenté par le tracé de la chaussée et du terrain naturel sur un plan vertical orthogonal à l'axe de la route.

Talus : surface réglée du terrain aménagé en pente pour raccorder le terrain naturel, le fond d'un déblai ou la plate forme d'un remblai. Elle est représentée par $1/h$ (3/2 par exemple)

Remblai : terrassement construit sur le sol naturel pour surélever la chaussée par rapport à celui-ci.

Déblai : excavation pratiquée dans le sol naturel comportant généralement des talus réglés.

Drainage : Ensemble des dispositifs permettant de recueillir et d'évacuer les eaux.

Exutoire : fossé de grande dimension permettant de recueillir de l'eau collectée par le dispositif de drainage dans le but d'éloigner de la route les eaux de ruissellement.

*Définition et rôles des différentes couches

Couche de roulement
Couche de liaison
Couche de base
Couche de fondation
Sous-couche
Couche de forme
Remblai
Terrain naturel

Terrain naturel : c'est le sol tel qu'il se présente après décapage de la couche ou l'exécution des déblais.

Sol de fondation ou sol de plate-forme : Terrain naturel préparé, ou ensemble constitué par le terrain naturel et les remblais, situé sous la chaussée ou, le cas échéant, sous la couche de forme.

Couche de forme : Couche de matériaux de bonne qualité à la partie supérieure des remblais ou des déblais. Elle peut être constituée de sols traités ou de matériaux rapportés.

Couche de fondation : elle est constituée de matériaux mis en œuvre sur la forme (remblais, terrain naturel préparé ou couche de forme). Elle contribue à réduire les contraintes transmises au sol support ou à la couche de forme, et présente des performances permettant de résister aux contraintes engendrées par le trafic.

Couche de base : elle est constituée de matériaux traités ou non traités, mise en œuvre sur la couche de fondation.

Elle est destinée à réduire les contraintes transmises au sol support ou à la couche de forme : ses performances lui permettent de résister aux contraintes engendrées par le trafic.

Couche de surface : elle est constituée de la couche de roulement et le cas échéant d'une couche de liaison. Elle permet l'absorption des efforts de cisaillement, à l'imperméabilisation des couches qui lui sont inférieures.

Couche de roulement : elle est constituée de matériaux bitumineux ou de béton de ciment qui reçoit directement les effets du trafic et des agents atmosphériques, et qui assure une fonction d'étanchéité et de protection des assises.

La sous-couche c'est la couche supplémentaire interposée entre le terrain et la couche de fondation afin de préserver certains effets. Elle a pour rôle :

- soit d'empêcher des remontées d'argile dans la chaussée (sous couche anticontaminante) ;
- soit d'assurer le drainage de la fondation (sous-couche drainante) ;

- soit de couper les remontées capillaires (sous-couche anti-capillaire).

2.3.8 Conditions de mise en oeuvre

2.3.8.1 Plate forme

Généralement, la plate forme est considérée comme la couche des 30 cm supérieures des terrassements. Il est indispensable de disposer d'une bonne assise pour que le corps de chaussée soit mis en place dans des conditions satisfaisantes et pour qu'il conserve, dans le temps, une indéformabilité suffisante.

Il faudrait éviter d'avoir un sol de CBR inférieur à 5, il sera préférable de le substituer avec des matériaux de meilleure qualité ou de traiter la plate-forme en place. Le CBR à prendre en compte pour le dimensionnement dépendra de l'épaisseur et de la qualité du matériau de substitution.

Les sols à éliminer ou à traiter ont, outre un CBR très faible, les caractéristiques géotechniques suivantes :

- IP > 40 ;
- LL > 70 ;
- Gonflement linéaire dans le moule CBR > 2% ;
- Teneur en matières organiques > 3%

2.3.8.2 Couche de forme

Le matériau de substitution ou d'apport à mettre en couche de forme pour pallier l'insuffisance du sol naturel et, éventuellement, permettre la circulation de chantier devra être sélectionné et, en tout état de cause; avoir un CBR supérieur à 5. Un CBR \geq 10 pourra être exigé pour les chantiers importants sur lesquels circulent de très gros engins.

La couche de forme est indispensable sur les sols pour lesquels il est impossible d'atteindre les 95 % de la densité OPM.

Une fois les matériaux de substitution mis en place, on obtient une nouvelle classe de plate forme.

<i>Matériaux d'apport</i>		<i>Nouvelle classe de plate-forme à prendre en compte</i>
<i>CBR</i>	<i>Epaisseur minimale cm</i>	
5 – 10 (S2)	45	S2
10 – 15 (S3)	35	S2
10 – 15 (S3)	45	S3
15 – 30 (S4)	30	S2
15 – 30 (S4)	35	S3
15 – 30 (S4)	50	S4

Eviter d'utiliser :

- les matériaux dont la granulométrie maximale est supérieure à 150 mm;
- les matériaux dont le pourcentage de fines est supérieur à 35 ou 45% et l'IP supérieur à 20 ou 30.

Les matériaux suivants peuvent être traités :

- IP < 25
- Sols grenu n'ayant pas d'éléments de diamètre supérieur à 80 ou 100mm

2.1.5 Couche de fondation

Elle doit avoir un CBR au moins supérieur à 30 correspondant à une densité sèche à 95% de l'OPM. On pourra admettre un CBR de 25 pour le trafic de classe T1.

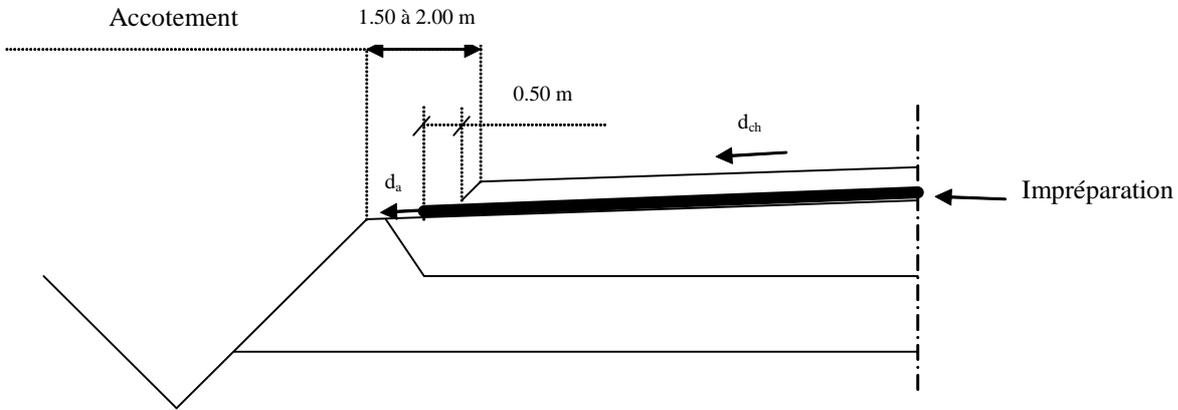
Les dimensions maximales des éléments doivent être inférieures ou égales à 60mm.

2.1.6 Couche de base

Elle doit avoir un CBR au moins supérieur à 80 correspondant à une densité sèche à 95% de l'OPM. A défaut, il faudrait l'améliorer ou le traiter. On pourra admettre un CBR de 60 pour le trafic de classe T1.

C) Les annexes de la chaussée

c-1 Les accotements



Si $d_{ch} = 2.5\%$

$d_a = 4\%$ pour accotements non stabilisés

$d_a = 6\%$ pour accotements stabilisés ou imprégnés

Prenons le cas de $d_a = 4\%$ avec un virage à gauche

Côté droit : $d_a = 4\%$ vers l'extérieur quelque soit le dévers de la chaussée.

Côté gauche

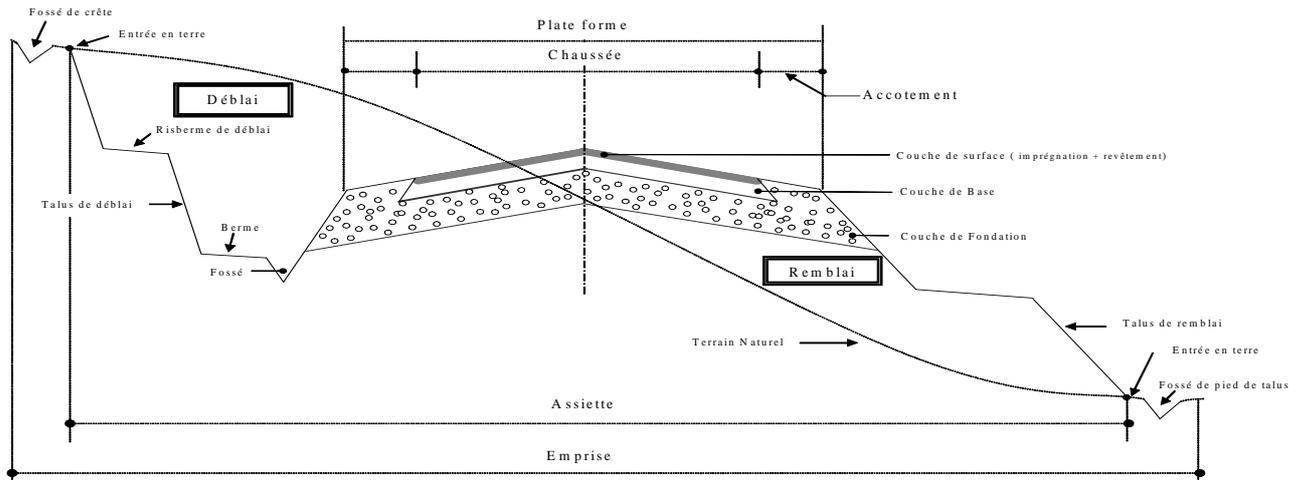
Si $d_{ch} < d_a$ alors $d_a = 4\%$

Si $d_{ch} > d_a$ alors $d_a = d_{ch}$

c-2 Les talus

<i>Remblais</i>	<i>Pentes des talus</i>	
	<i>Horizontal</i>	<i>Vertical</i>
Hauteurs < 1m et quelle que soit la nature des matériaux	3	1
Hauteurs > 1m et quels que soient les matériaux (sauf sables pulvérulents)	1.5	1
Hauteurs > 1m et quelle que soit la hauteur au-delà de ce minimum, lorsque le remblai est constitué de sables pulvérulents	2	1
Pour les remblais reposant sur sol de fondation vaseux ou d'argile molle	Etude spéciale de stabilité	

<i>Déblais</i>	<i>Pentes des talus</i>	
	<i>Horizontal</i>	<i>Vertical</i>
En terrain rocheux sain et* quelle que soit la hauteur	Verticale	
Dans la roche peu altérée et* quelle que soit la hauteur	1	6
Dans les matériaux latérisés et à prédominance sableuse :		
hauteur < 3 m	1	4
3 m hauteur < 10m	1	3
10m < hauteur < 20 m	1	2
Dans les matériaux latérisés et à prédominance argileuse* :		
hauteur < 3 m	1	5
3 m hauteur < 10m	1	4
10m < hauteur < 20 m	1	3
Dans les matériaux d'origine sédimentaire, sable fin cohésif, limons, etc.	1	1
Dans les sables dénués de toute cohésion, quelle que soit la hauteur	2	1
* pente des talus dans les matériaux schisteux ou stratifié pouvant dépendre des valeurs de pendage et de sa direction, on devra en tenir compte dans les cas où ce phénomène est apparent et procéder à une analyse structurale du massif		



2.2.1 Tracé en plan

2.2.1.1 Généralités

Le tracé en plan consiste à représenter l'axe de la route par une succession de lignes brisées appelées alignements généraux (segments de droites). Il est normal pour des raisons de confort et de sécurité de raccorder ces segments de droites par une courbe appropriées donnant le maximum de confort sans oublier l'incidence économique du type de raccordement choisi.

La justification de l'emploi de ces éléments géométriques réside principalement dans les conditions de conduite qu'ils offrent aux usagers.

De manière générale, il existe deux principaux types de raccordement :

- le raccordement circulaire pour $R \geq RH'$ (R étant le rayon choisi)
- Le raccordement progressif pour $R < RH'$

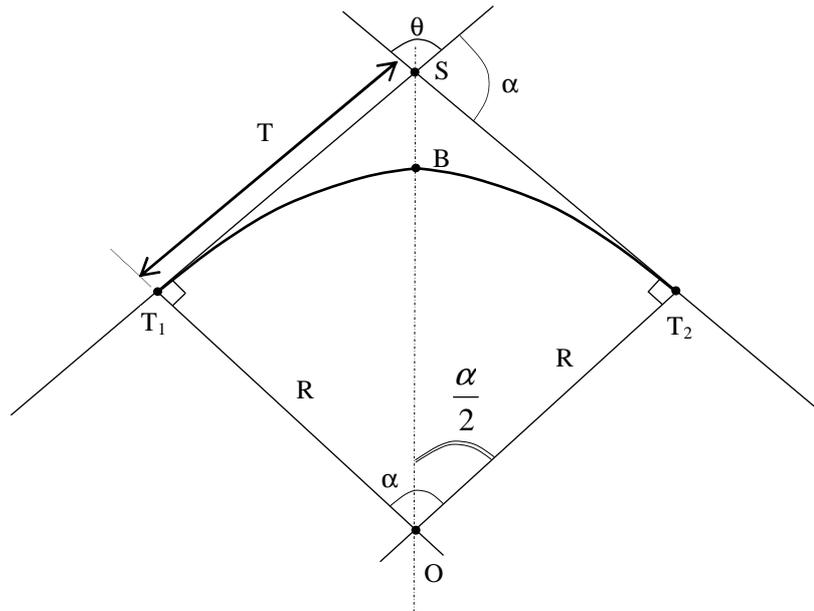
N.B :

- Les angles sont exprimés en grades avec six (06) chiffres après la virgule
- Les distances sont exprimées au centimètre près c'est-à-dire avec deux (02) chiffres après la virgule
- π sera pris à 3.1416

2.2.1.1 Raccordement circulaire

Dans ce cas de raccordement, l'on n'a pas besoin de rattraper un quelconque dévers. Le rayon de raccordement est suffisamment grand pour que la chaussée soit non déversée en courbe, mais il faudrait absolument que $R \geq RH'$.

b-1 Calcul du raccordement circulaire



R : Rayon de raccordement T₁ : Points de tangence BS : Bissectrice
 θ : Angle au sommet S : Sommet de raccordement T : Tangente
 α : Angle au centre
 $\overline{ST_1} = \overline{ST_2} = T$ $D_\alpha = \text{Arc}(T_1BT_2)$

Les différentes relations trigonométriques donnent les formules ci-dessous :

a) Calcul de l'angle au centre : α

D'après la figure ci-dessous, on a $200 = \alpha + \theta \Rightarrow \alpha = 200 - \theta$ (gr)

L'angle au centre est : **α = 200 - θ (gr)**

b) Calcul de la tangente : T

$$\text{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{T}{R} \Rightarrow T = R \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2}$$

$$\text{La tangente est : } T = R \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2}$$

c) Calcul du développement de l'arc du cercle : D_α

Nous savons que un tour de cercle de rayon R (2πR) vaut 400gr, ce qui implique que pour un balayage d'un angle α (en grade), on a :

$$D_\alpha = \frac{\pi}{200} R \cdot \alpha \text{ (gr)}$$

d) Calcul de la bissectrice : \overline{SB}

$$\overline{SO} = \overline{SB} + R \Rightarrow \overline{SB} = \overline{SO} - R \quad (1) \quad \text{et} \quad \text{Cos} \frac{\alpha}{2} = \frac{R}{\overline{SO}} \quad (2)$$

$$(2) \Leftrightarrow \overline{SO} = \frac{R}{\text{Cos} \frac{\alpha}{2}} \quad (3)$$

$$\text{En remplaçant (3) dans (1) on obtient : } \overline{SB} = \overline{SO} - R = R \left(\frac{1}{\text{Cos} \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$$

La bissectrice est : $\overline{SB} = R \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$

Exemple de calcul

Exercice :

Soit une route de vitesse de référence $V_r = 60\text{Km/h}$ possède deux sommets. Le premier sommet a un rayon de 500m et un angle au sommet de 34.2435 gr et le deuxième un rayon de 700m et un angle au sommet de 145.3426gr. Calculer les éléments de raccords de ces deux sommets.

Solution :

Pour une vitesse de référence de 60Km/h, on a $R_H' = 600\text{m}$

1^{er} raccordement : $R = 500\text{m}$

$R < R_H' \Rightarrow$ On a pas à faire à un raccordement circulaire

2^e raccordement : $R = 700\text{m}$

$R > R_H' \Rightarrow$ On a à faire à un raccordement circulaire, calculons donc ses éléments

i) Calcul de l'angle au centre : α

$$\alpha = 200 - \theta \text{ (gr)}$$

$$\text{A.N : } \alpha = 200 - 145.3426 = 54.6574\text{gr}$$

ii) Calcul de la tangente : T

$$T = R.tg \frac{\alpha}{2}$$

$$\text{A.N : } \frac{\alpha}{2} = \frac{54.6574}{2} = 27,3287 \text{ gr} \quad T = 700.tg(27.3287) = 320,39\text{m}$$

iii) Calcul du développement de l'arc du cercle : D_α

$$D_\alpha = \frac{\pi}{200} R.\alpha \text{ (gr)}$$

$$\text{A.N : } D_\alpha = \frac{3.1416}{200} .700 \times 27.3287 = 300.50 \text{ m}$$

iv) Calcul de la bissectrice : \overline{SB}

$$\overline{SB} = R \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$$

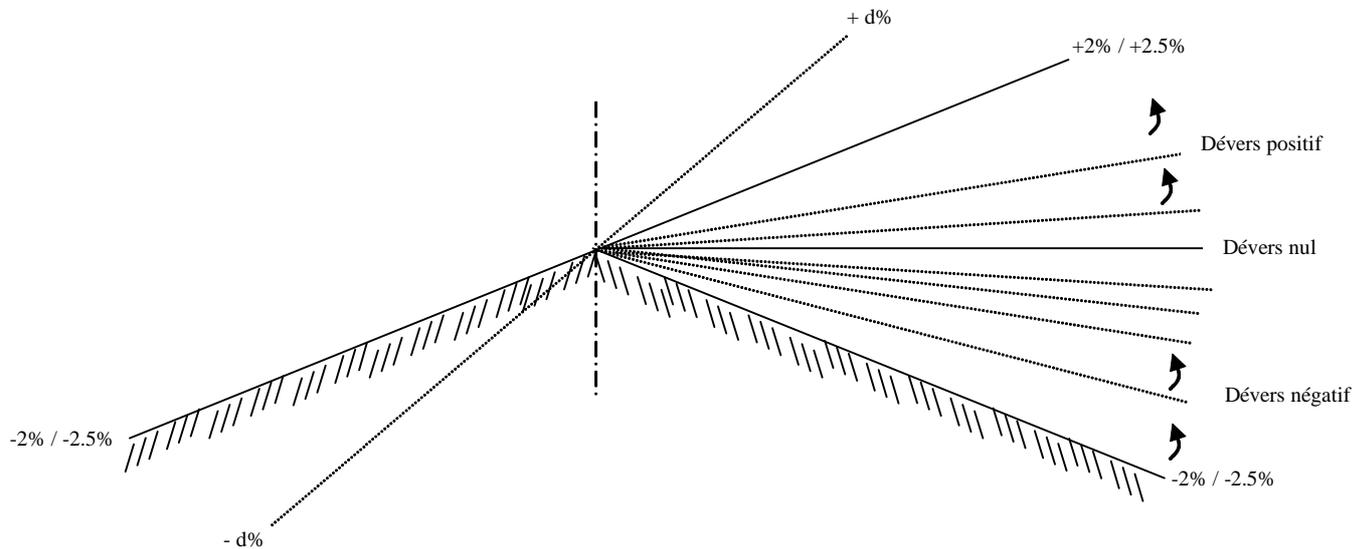
$$\text{A.N : } \overline{SB} = 700 \left(\frac{1}{\cos(27.3287)} - 1 \right) = 69,85 \text{ m}$$

b-2 Raccordement progressif

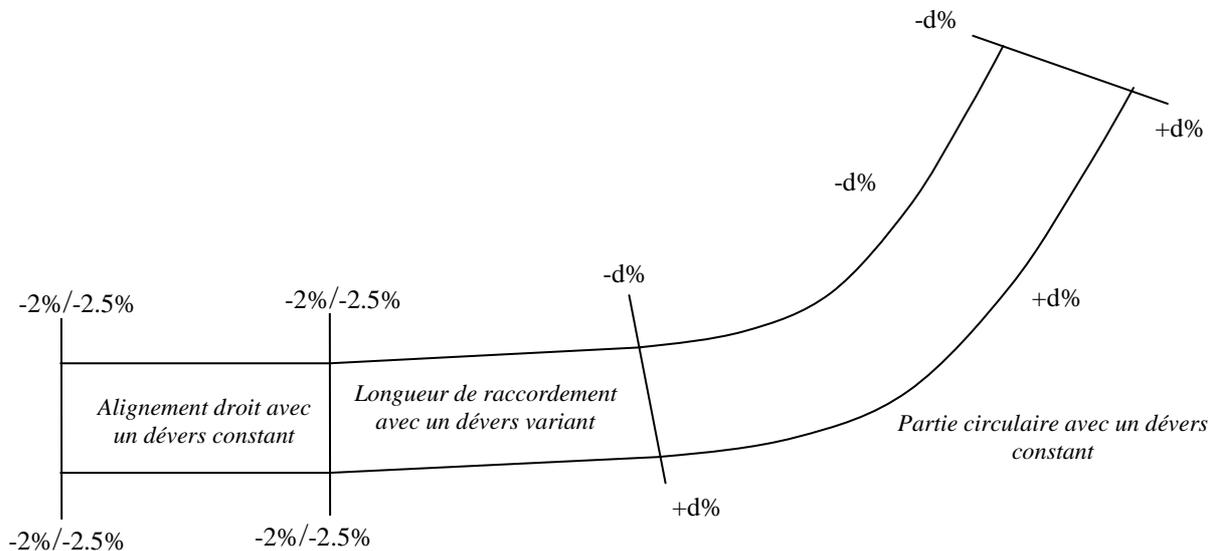
On parle de raccordement progressif lorsque $R < RH'$.

Le raccordement progressif amène (en fonction du virage) une demi-chaussée du dévers négatif à un dévers positif en passant par un dévers nul : c'est l'introduction de dévers. Elle permet de passer du dévers d'alignement droit (2% ou 2.5%) à un dévers correspondant au rayon de courbure du virage.

La clothoïde est la courbe de raccordement progressif utilisée de façon usuelle.



Variation en coupe



Variation en plan

Les raccordements progressifs permettent de réaliser les conditions suivantes :

- assurer aux usagers une vue satisfaisante de la route et en particulier les informer suffisamment à l'avance du tracé de la route, afin d'obtenir la sécurité de conduite la plus grande possible : c'est la condition du confort optique ;
- assurer à la route un aspect satisfaisant, en particulier dans les zones de variation de dévers : c'est la condition de gauchissement ;

- assurer l'introduction progressive du dévers de la courbure de façon en particulier à respecter les conditions de stabilité et de 'confort dynamique', qui limitent par unité de temps la variation de la sollicitation transversale des véhicules ;
- assurer un bon écoulement des eaux ;
- assurer des conditions de conduite qui évitent la fatigue et la monotonie.

Il a été spécifié que dans les cas usuels, la réalisation des trois premières conditions aboutit à doter de raccords à courbure progressive toutes les courbes circulaires d'un rayon en plan inférieur au rayon non déversé RH' en limitant la variation du dévers à 2% par seconde le long du raccordement parcouru par la vitesse Vr. Dans ce cours, nous ne parlerons que des deux premières conditions.

Calcul de dévers

Le déversement des chaussées traduit l'inclinaison de la chaussée en profil en travers par rapport à l'horizontale :

- En alignement droit, un angle de déversement de faible valeur permet l'évacuation de l'eau de pluie sur les accotements et bordures des chaussées ;
- En courbe, le déversement de la chaussée vers l'intérieur de la courbe a pour effet de faire jouer à la pesanteur un rôle actif. La résultante des forces appliquées au centre de gravité du véhicule

s'exprime par : $M \left(\frac{V^2}{R} - g.d \right)$

d est appelé dévers.

Soit d le dévers de la partie circulaire, chaque catégorie de la route possède son dévers par la formule

$$d = 7 * \frac{RH' - R}{RH' - RHm}$$

d est exprimé en pourcentage (%)

RH' : rayon non déversé

RHm : rayon minimum absolu

R : rayon de la courbe choisie

La valeur du dévers calculé doit être arrondie à 0.5% le plus proche.

Exemple :

Soit une route de troisième catégorie, calculer le dévers correspondant à un virage de rayon 200m.

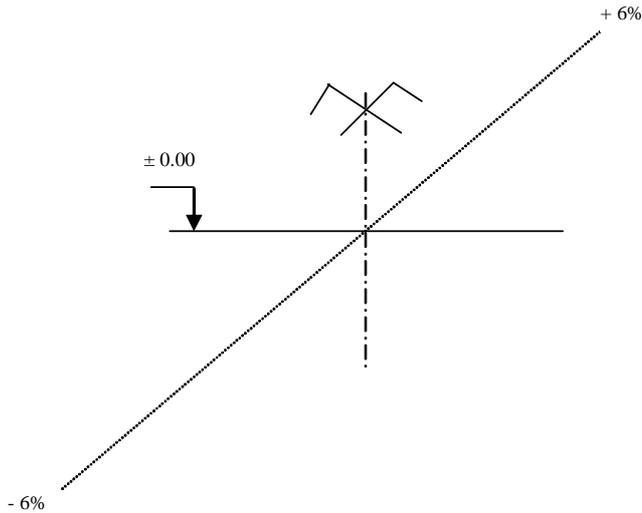
Solution :

Route de troisième catégorie \Rightarrow Vr = 60 Km/h

RHm = 120 m RH' = 600m R = 200m

$$d = 7 * \frac{RH' - R}{RH' - RHm}$$

A.N : **Erreur ! Liaison incorrecte.** = 5.83% On arrondi à 6% **d = 6.0%**



Introduction du dévers

La longueur du raccordement progressif est donnée par : $L_1 = \mathbf{d} \cdot \mathbf{l}_a$ avec $\Delta d = d_c - d_0$
 d_c est le dévers de la partie circulaire et d_0 celui de l'alignement droit

L_a est une longueur correspondant à une variation du dévers de 1%, on peut le résumer dans le tableau ci-dessous

V_r (Km/h)	40	60	80	100	120
V_r (m/s)	11.11	16.66	22.22	27.77	33.33
l_a (m)	5.50	8.50	11.00	14.00	16.50

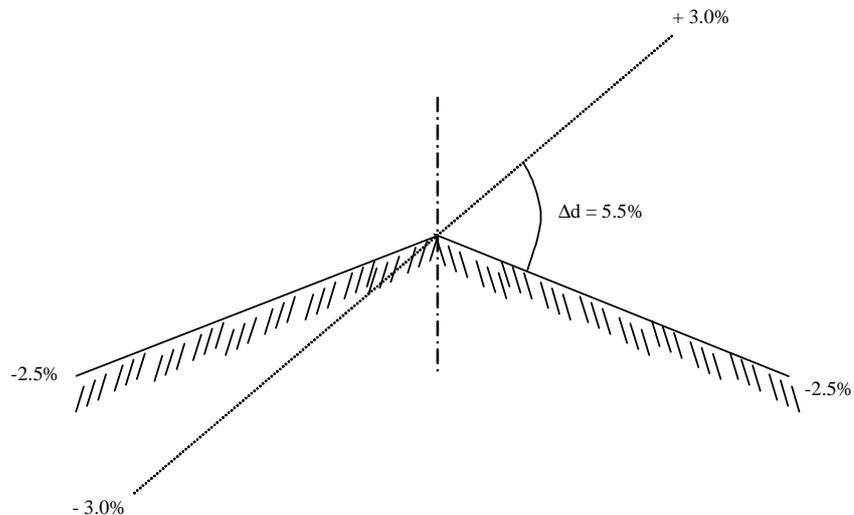
Exemple :

Soit une route de vitesse de référence = 100 Km/h ayant un rayon de 900m à un de ses sommets, donner sa variation de dévers ainsi que sa longueur (L) de raccordement progressif :

Solution :

$$RH_m = 425 \text{ m} \quad RH' = 1300 \text{ m} \quad R = 900 \text{ m}$$

Erreur ! Liaison incorrecte. = 3.2% On arrondi à 3.0% **d_c = 3.0%**
 $\Delta d = 3.0 - (-2.5) = 5.5\%$

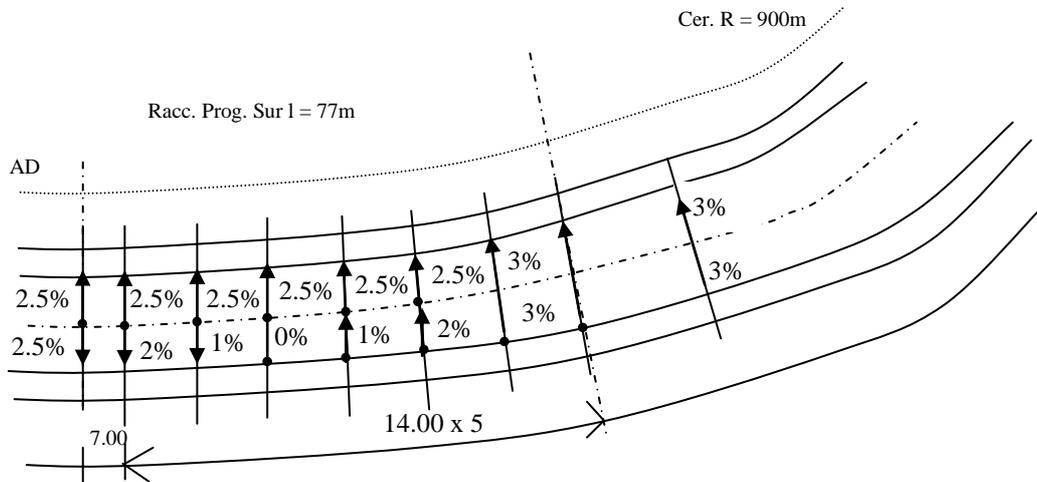


D'après le tableau ci-dessus, $l_a = 14.00$

$$\text{La longueur } L \geq 5.5 \cdot 14 = 77 \text{ m}$$

Nous aurons donc 5 distances de 14.00m qui varient de 1% et 1 distance de 7.00m (14.00/2) qui varie de 0.5%.

Voici la représentation :



Il arrive très souvent qu'on fasse l'introduction de dévers sur les distances différentes de l_a , pour cela, il faudrait utiliser la formule établie ci-dessous :

Soit X la distance cumulée du début de la clothoïde à la fin de celle-ci, nous avons vu que

$l_a = \frac{L}{\Delta d}$ correspond à une variation de 1%, quelle sera donc la variation ($\Delta d' = d - d_0$ avec d l'inconnu et d_0 définie ci-dessus) du dévers correspondant à une distance X ?

$$l_a \rightarrow 1\% \quad \text{ceci donne } \Delta d' = d - d_0 = \frac{X}{l_a} = \frac{X}{L} (d_c - d_0) \quad \text{L'inconnue d vaut}$$

$$X \rightarrow \Delta d'?$$

$$d = \frac{X}{L} (d_c - d_0) + d_0$$

Exemple :

A partir de l'exemple ci-dessus, donner les dévers correspondants aux distances suivantes : 0, 10, 15, 40, 50, 60, 67, 77, 87

Solution :

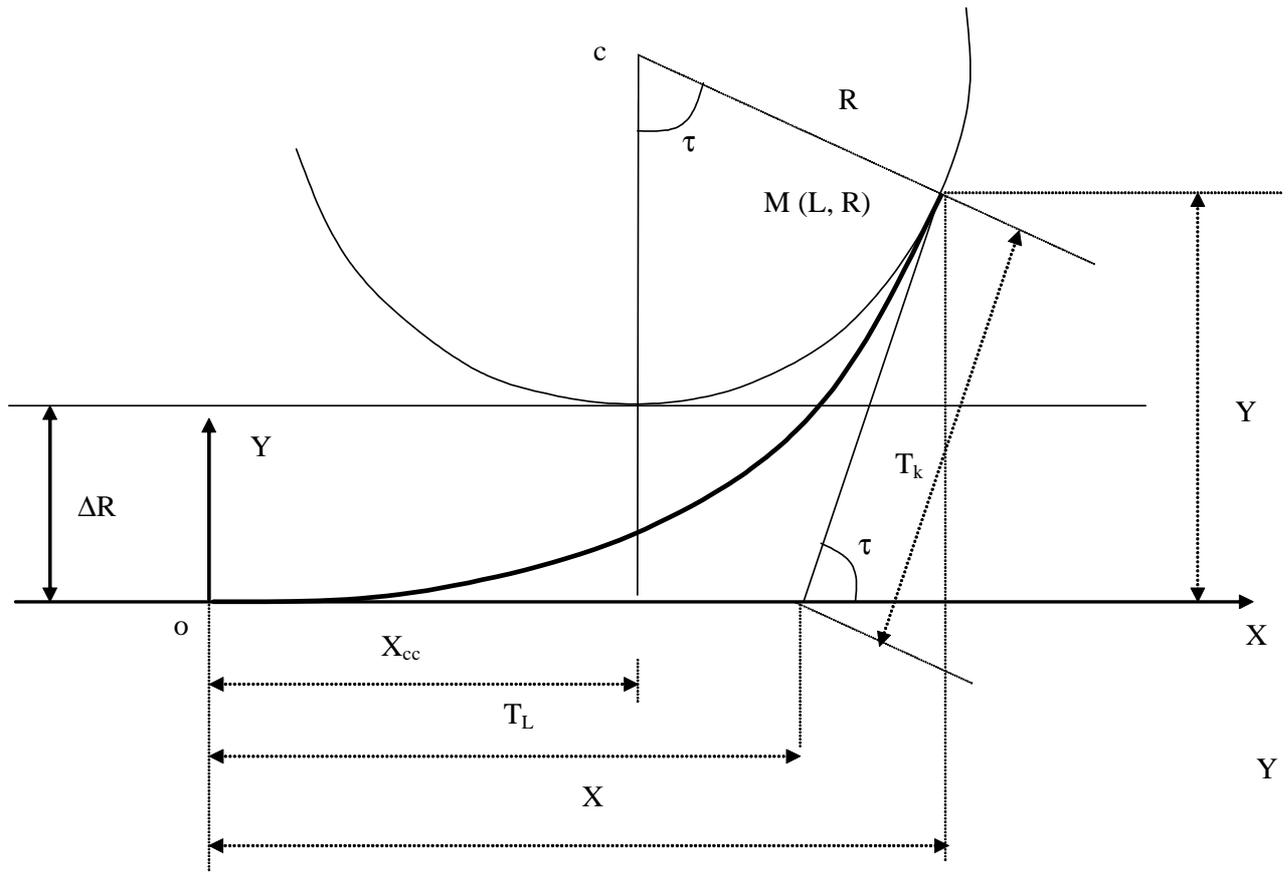
Dans la formule ci-dessus, nous avons les paramètres suivants :

$$d_c = 3.0\%, d_0 = 2.5\%, L = 77m \quad d = \frac{X}{77} (3.0 - (-2.5)) - 2.5 \quad \mathbf{d = 0.0714X - 2.5}$$

X (m)	0	10	15	38,5	50	60	67	77	87
d (%)	-2,5	-1,786	-1,429	0,249	1,07	1,784	2,284	2,998	3,0
d _{arrondi}	-2,5	-1,77	-1,43	0,25	1,07	1,78	2,28	3,0	3,0

La clothoïde

La clothoïde avec sa courbe à courbe progressif est indiqué pour l'introduction des dévers. Elle permet donc de passer de l'alignement droit au cercle. Cette courbe doit donc décrire tous les rayons compris entre l'infini (AD) et R.



o ou Dcl: Origine (début) de la clothoïde

M ou Fcl: Fin de la clothoïde

X: Abscisse du point M

Y: Ordonnée du point M

ΔR : Ripage

T_L : Tangente Longue

T_K : Tangente Courte

τ : Angle de la tangente T_K

X_{cc} : Abscisse du centre du cercle

$$X \approx L \text{ (Longueur de la clothoïde)} \quad Y = \frac{L^2}{6R} \quad \tau_{(gr)} = \frac{100 L}{\pi R} \quad \Delta R = \frac{L^2}{24R}$$

$$T_K = \frac{Y}{\sin \tau} \quad T_L = X - T_K \cos \tau \quad X_{cc} = \frac{L}{2}$$

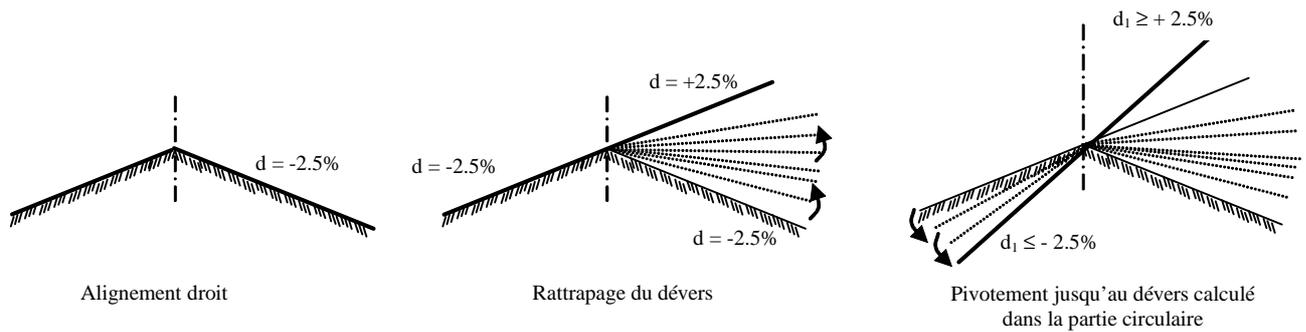
La clothoïde est une spirale dont la courbure croît proportionnelle à l'arc. Si A est le paramètre de la clothoïde, on a : $A^2 = L.R$, avec L : la longueur de la clothoïde et R : le rayon

Calcul de la longueur de raccordement

Elle est donnée par les conditions ci-dessous :

a) Condition de gauchissement

Elle limite le basculement des chaussées lors de leur déversement dans un virage en plan. Elle correspond à la limitation de la variation du dévers à 2% par seconde pendant le parcours à une vitesse de référence. La chaussée doit être déversée comme indiqué ci-dessous.



Soit L_1 la longueur de raccordement, L_1 est donnée par la formule : $L_1 (m) \geq \frac{d_c - d_0}{2} \times \frac{V_r}{3.6}$ (1)

- avec
- d_c : le dévers de la partie circulaire
 - d_0 : pente transversale qui est fonction de la nature du revêtement
 - $d_0 = 4\%$ pour chaussée non revêtue
 - $d_0 = 2.5\%$ pour chaussée revêtue souple (tapis d'enrobé ou enduit superficiel)
 - $d_0 = 2\%$ pour chaussée en béton de ciment
 - d_c et d_0 sont exprimés en valeur algébrique et V_r en Km/h

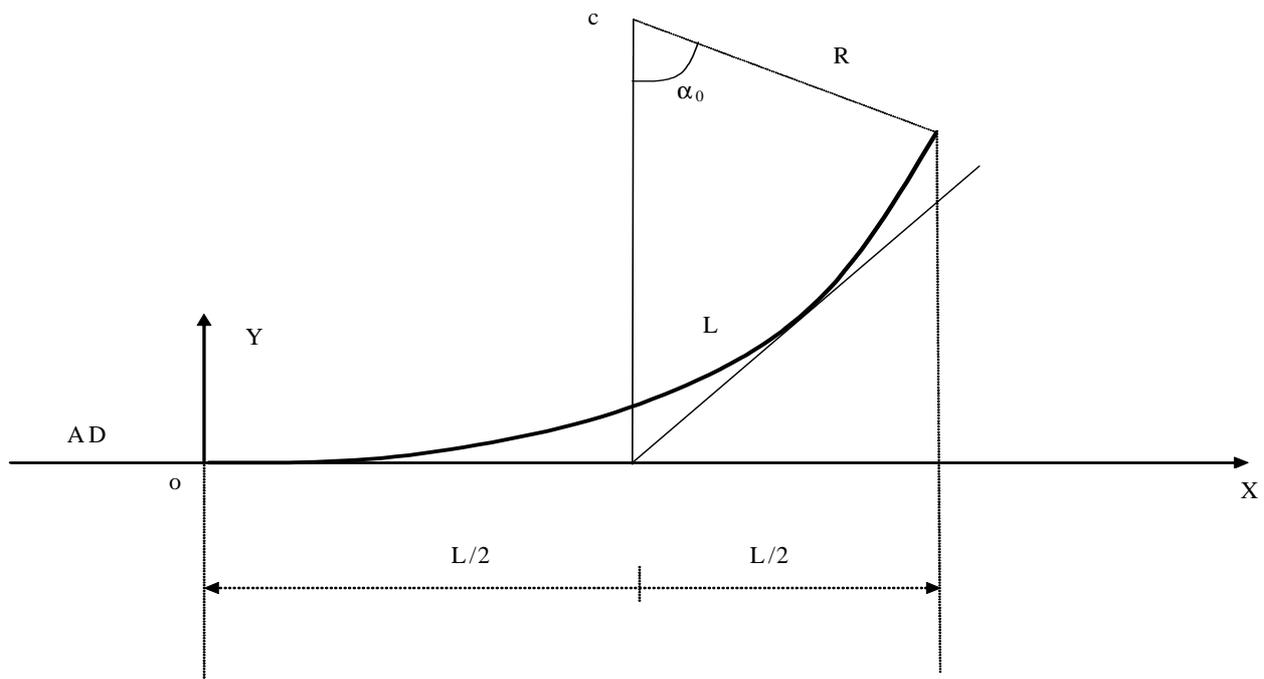
(1) revient à écrire $L_1 (m) \geq \Delta d \times \frac{V_r}{7.2} = \Delta d \times l_a$

Exemple : Voir l'exemple fait précédemment

b) *Condition de confort optique*

En règle générale, on admet qu'un raccordement progressif, pour être perceptible, doit correspondre à un changement de direction supérieure ou égale à 3° . Autrement dit, la longueur de raccordement doit correspondre à un angle α_0 au moins égal à 3° . Elle est traduite par la relation

$$L_2 \geq \frac{R}{9}$$



Notre cas étant un clothoïde, son paramètre A ($A^2 = L.R$) doit respecter la condition suivante : $A \geq \frac{R}{3}$

L_2 : la longueur du raccordement

R : Rayon en plan de la courbe circulaire raccordée

Exemple : $R = 900m$ $L_2 \geq \frac{900}{9} = 100m$

Longueur minimale L à adopter

Elle est imposée par la plus grande des deux valeurs (L_1, L_2), c'est-à-dire L choisi = $\max(L_1, L_2)$

Une fois L calculée, on détermine le paramètre par la formule $A = \sqrt{R.L}$

On arrondi A à la valeur immédiatement supérieure et qui soit un multiple de 5

On déduit donc la longueur définitive pour la suite des calculs $L = \frac{A_{arrondi}^2}{R}$

Exemple : Reprenons l'exercice traité ci-dessus

Soit une route de vitesse de référence = 100 Km/h ayant un rayon de 1000m à un de ses sommets, donner la longueur de raccordement progressif à adopter.

Solution :

Pour $V_r = 100\text{Km/h}$ on a : $RH_m = 425\text{ m}$ $RH' = 1300\text{m}$ $R = 1000\text{m}$

* *Calculons le dévers de la partie circulaire*

Erreur ! Liaison incorrecte. = 2.4% On arrondi à 2.5% $d_c = 2.5\%$ $\Delta d = 2.5 - (-2.5) = 5.0\%$

* *Calculons la longueur L_1 (Condition de gauchissement)*

$l_a = 14.00\text{m}$ $\Delta d = 5.0\%$ $L_1 \geq 5.0 * 14 = 70\text{m}$

* *Calculons la longueur L_2 (Condition de confort optique)*

$L_2 \geq \frac{R}{9}$ $L_2 \geq \frac{1000}{9} = 111.11\text{m}$

* *Longueur à imposer L*

Elle est imposée par la plus grande des deux valeurs (L_1, L_2)

$L = \max(L_1, L_2) = \max(77, 111.11) = 111.11\text{m}$

Calculons le paramètre $A = \sqrt{R.L} = (1000 * 111.11)^{0.5} = 333.33$

On arrondi A à la valeur immédiatement supérieure et qui soit un multiple de 5 $A = 335$

On déduit donc la longueur définitive pour la suite des calculs $L = \frac{A_{arrondi}^2}{R} = \frac{335^2}{1000} = 112,23\text{m}$

La longueur à adopter est donc de 112.23m

2.3 Recherche du tracé - courbe de transition (Clothoïde - Cercle - Clothoïde)

- Calcul du dévers d (Arrondir à 0.5 le plus près)
- Calcul de la variation du dévers Δd
- Calcul de la longueur du raccordement (max de longueur due aux conditions de gauchissement et du confort optique)
- Calcul du paramètre A (Arrondir au multiple de 5 directement supérieure)
- Recalculer L par la formule $L = \frac{A_{arrondi}^2}{R}$
- Calculer les éléments de raccordement dont les formules sont données sur le schéma généralisé des différents raccordements.

Exercices d'application : Calculer le raccordement pour les chaussées souples

Exo1	Exo2	Exo3
$V_r = 80\text{Km/h}$	$V_r = 80\text{Km/h}$	$V_r = 80\text{Km/h}$
$\theta = 164.360000\text{gr}$	$\theta = 176.261000\text{gr}$	$\theta = 188.320000\text{gr}$
$R = 400.00\text{m}$	$R = 300.00\text{m}$	$R = 400.00\text{m}$

Solution

2.2.2 Profil en long

a) Généralités

Le profil en long est constitué de succession de rampes et de pentes raccordées par des éléments circulaires ou paraboliques. Il se conçoit après le choix définitif du tracé en plan.

Les premiers éléments dont on a besoin pour commencer un profil en long sont :

- les distances entre les profils ;
- les altitudes des différents profils relevés sur l'axe du tracé en plan (Cote Terrain Naturelle CTN)

Les éléments que comporte un profil en long ont pour but de fournir tous les renseignements utiles concernant notamment les distances et l'altimétrie des points caractéristiques du terrain naturel et du projet.

Un profil en long en léger remblai est préférable à un léger déblai qui complique l'évacuation des eaux.

Bien qu'il ne soit pas imposé une déclivité minimale, il est toutefois nécessaire d'adopter une déclivité :

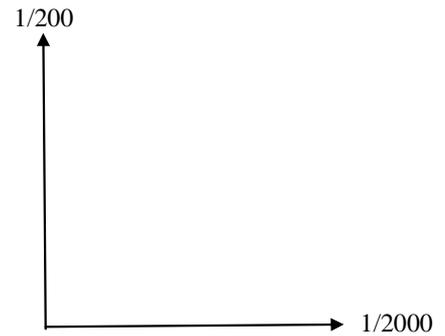
- dans les zones de dévers nul, il faudrait au moins 0.5% à 1% pour empêcher la stagnation des eaux. (Le plus souvent, on choisit 1%) ;
- dans les zones en déblai, au moins 0.2% pour que l'ouvrage longitudinal d'évacuation des eaux ne soit pas trop profondément enterré 0.5% en règle générale)

b) Echelle

Afin d'assurer une meilleure compréhension et faciliter la confection des plans, on déforme toujours le profil en long en multipliant l'échelle des altitudes.

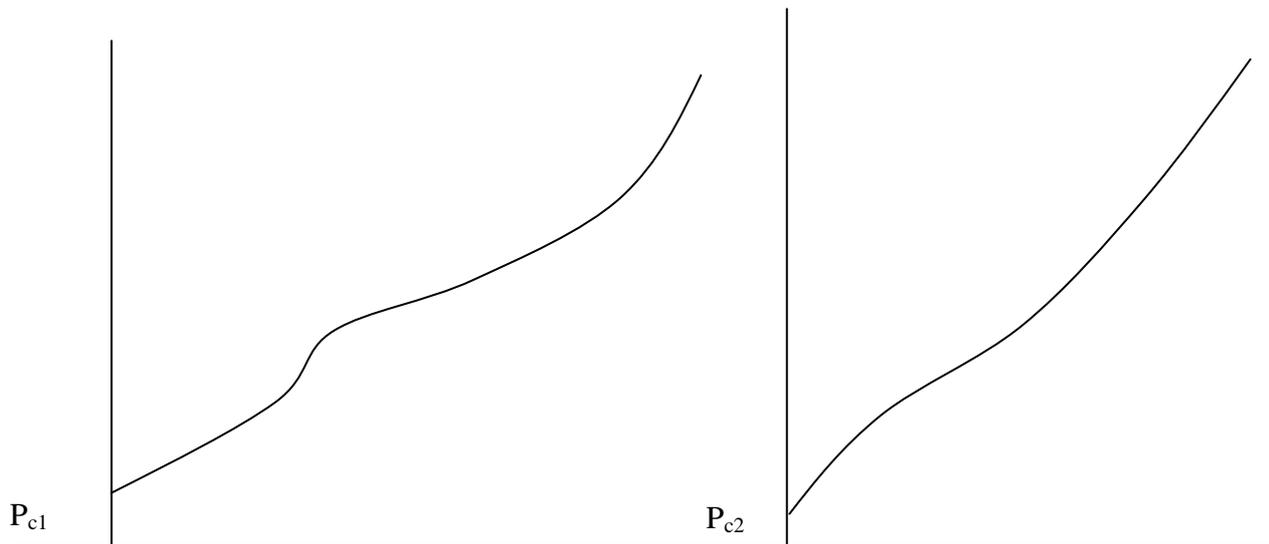
$$\text{Echelle des longueurs} = \frac{\text{Echelle des hauteurs}}{10}$$

Exemple 1 : Echelle des distances : 1/2000
Echelle des altitudes : 1/200



c) Plan de comparaison

Il peut arriver que certaines altitudes ne puissent être représentées, il faudrait donc changer l'origine en ordonnée en ce profil afin de permettre sa représentation. On parle de changement du plan de comparaison.

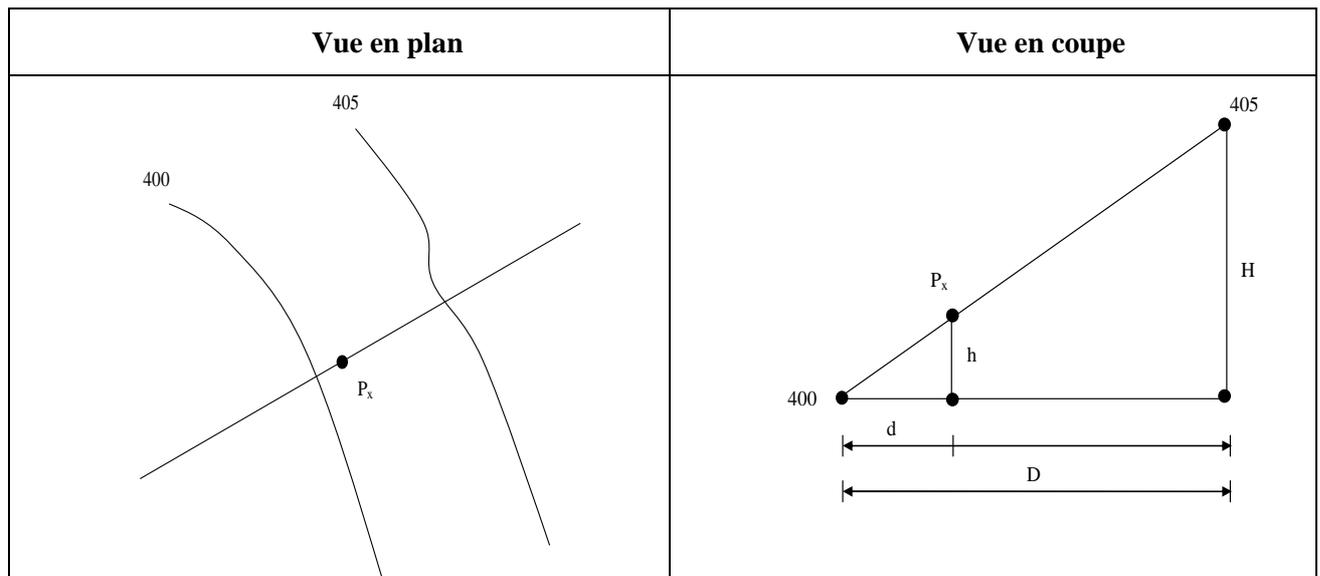


i) Lecture des cotes du terrain naturel

Les profils ne sont pas toujours situés sur une courbe de niveau, lorsque c'est le cas, la détermination du profil concerné se fait par interpolation.

Exemple 2 :

Soit à déterminer la cote d'un profil P_x , situé à 1,7m de la courbe de niveau de 400m. L'équidistance des courbes de niveau est de 3m



Il est question ici de déterminer P_x qui vaut $P_{400} + h$ ou $P_{405} - (H - h)$

A partir de cette figure, nous pouvons écrire l'équation ci-dessous :

$$\frac{H}{D} = \frac{h}{d} \quad \Rightarrow \quad h = d \cdot \frac{H}{D}$$

A.N : $d = 1.7\text{m}$
 $P_x = 402.83\text{m}$

$H = 5\text{m}$ $D = 3\text{m}$ $h = 2.83\text{m}$

a. Représentation du cartouche

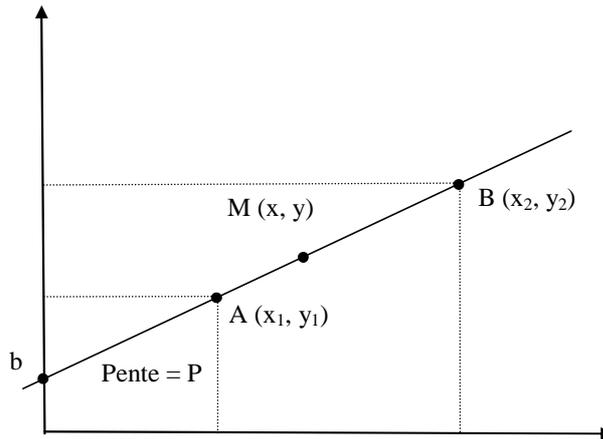
Il est sous la forme :

Numéro des profils	
Cotes du terrain naturel/cotes du projet	
Cotes du projet/Cotes du terrain naturel	
Distances partielles	
Distances cumulées	
Déclivités	
Alignements droits et courbes	
Dévers	A droite
	A gauche

e) Calcul des éléments d'un profil en long

❖ Détermination d'un point situé sur une droite

La pente d'une droite est connue lorsqu'on connaît deux points de cette dernière.



Soit P la pente de la droite ci-dessus : $P = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$

L'équation d'une droite est de la forme $y = a.x + b$
avec a : la pente b : l'ordonnée à l'origine

Une fois l'équation de la droite connue, les altitudes de tous les points situés sur cette droite sont connues.

Exemple 3 :

Soit une droite (D) passant par deux points A (547,24 ; 224,53) et B (651,12 ; 219,08)

- 1- Calculer la pente de droite AB
- 2- Donner l'ordonnée à l'origine
- 3- En déduire l'équation de la droite

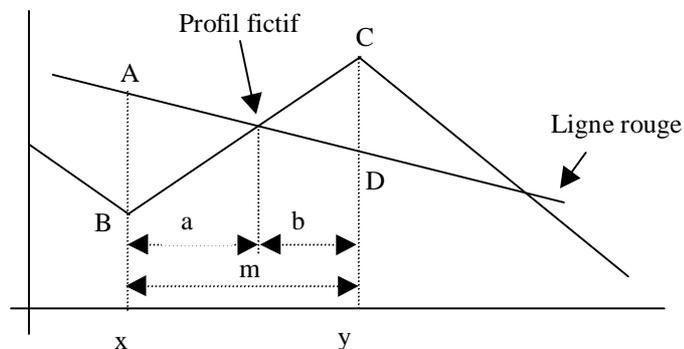
Exemple 4 :

Soit une droite (D) passant par deux points A(469,34 ; 207,45) et B(589,23 ; 347,85)

- 4- Donner la pente de la droite
- 5- Donner l'ordonnée à l'origine
- 6- En déduire l'équation de la droite

❖ *Calcul des coordonnées du profil fictif*

Le profil fictif est le point de rencontre entre la ligne de projet et le terrain naturel. C'est un point particulier qui nécessite la détermination de ses coordonnées.



$$\frac{a}{\overline{AB}} = \frac{b}{\overline{CD}} = \frac{a+b}{\overline{AB} + \overline{CD}} = \frac{m}{\overline{AB} + \overline{CD}} \quad \text{on en déduit a et b}$$

$$a = \frac{m * \overline{AB}}{\overline{AB} + \overline{CD}}$$

$$b = \frac{m * \overline{CD}}{\overline{AB} + \overline{CD}}$$

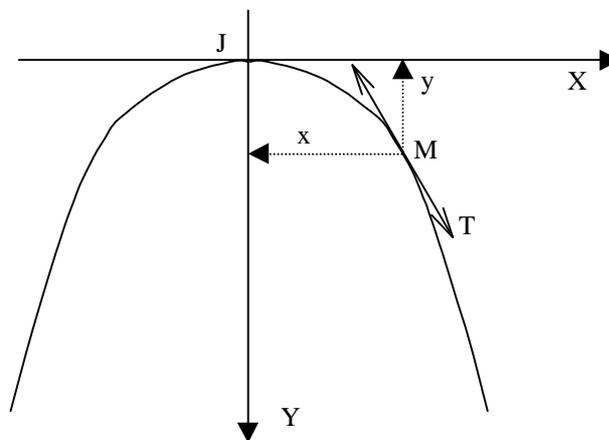
Exercice d'application

N° Profil	DP	DC	CTN
0			689.00
1	25		688.00
2	25		690.00
3	20		683.00
4	20		684.00
5	20		685.00
6	20		688.00
7	20		687.00
8	15		685.00
9	15		683.00
10	20		682.00

- 1- Remplir le tableau ci-dessus
- 2- Choisir l'échelle appropriée pour représenter le profil du terrain naturel

Détermination des éléments du raccordement parabolique

Quelques rappels sur la parabole



La parabole est une courbe dont la forme est représentée ci-dessus. Cette courbe admet la droite JY comme axe de symétrie. Le point J de la parabole situé sur cet axe est le sommet.

Soit M un point d'une parabole, x la distance ou abscisse de M à l'axe JY et y la distance ou ordonnée de ce même point M à la perpendiculaire JX menée par J à JY, on a la relation : $y = \frac{x^2}{2n}$
n est le paramètre de la parabole.

La pente p de la tangente MT en M à la parabole vaut : $p = \frac{x}{n}$

Le rayon de courbure de cette parabole en ce même point M vaut :

$r = n \sqrt{\left(1 + \frac{x^2}{2n}\right)^3}$ Il faut remarquer qu'au point J, sommet de la courbe (x = 0), le rayon de courbure

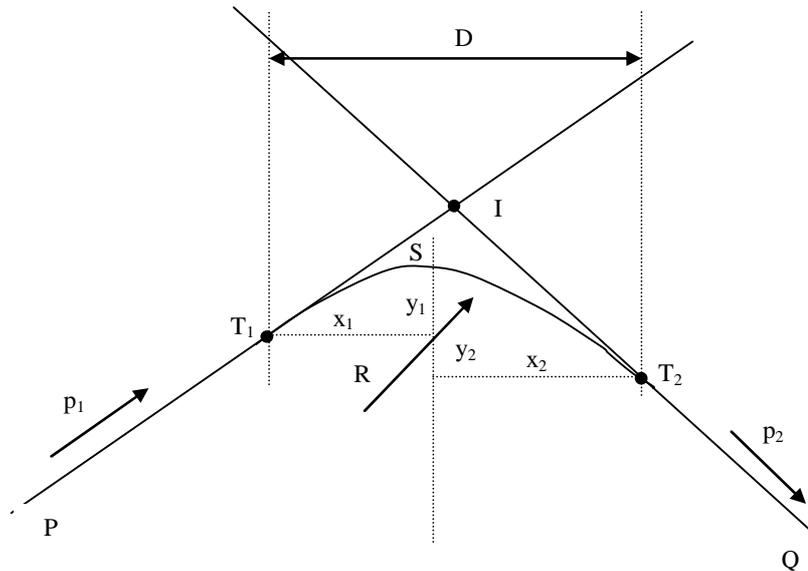
devient le paramètre n de la parabole. Dans le domaine routier où l'arc de la parabole est très voisin de J, le paramètre n est assimilé à R qui est le rayon de l'arc de cercle primitivement envisagé pour réaliser de raccordement.

L'équation de cette parabole de raccordement sera alors : $y = \frac{x^2}{2R}$ (1) et $p = \frac{x}{R}$ (2)

$$\text{d'où } x = pR \text{ et } y = \frac{p^2 x^2}{2R} = \frac{p^2 R}{2} \quad (3)$$

Ainsi donc, il est désormais aisé de déterminer la position en distance et en altitude du sommet J ainsi que tous les points d'abscisses données et la valeur de la pente à la parabole à partir des équations (1) et (2).

b) Schéma d'un raccordement parabolique



- I : Intersection des deux droites (Par calcul)
- T₁ : Tangente de la parabole avec la droite 1 (Par calcul)
- T₂ : Tangente de la parabole avec la droite 2 (Par calcul)
- R : Rayon de la parabole (Par choix)
- S : Sommet de la parabole (Par calcul)
- s : Distance entre le point I et le sommet S

c) Calculs

Six cas différents de figure sont recensés :

Cas		Cas	
1	$P_1 > 0$ et $P_2 < 0$	4	$P_2 < P_1 < 0$
2	$P_1 < 0$ et $P_2 > 0$	5	$P_2 > P_1 > 0$
3	$P_1 > P_2 > 0$	6	$P_1 < P_2 < 0$

i) Cas 1 $P_1 > 0$ et $P_2 < 0$

- Calcul des tangentes

$$x_1 = P_1.R \quad x_2 = -P_2.R \quad y_1 = \frac{P_1^2.R}{2} \quad \text{et } D = x_1 + x_2$$

$$x_{T1} = x_1 - \frac{D}{2} \quad \text{et} \quad x_{T2} = x_1 + \frac{D}{2}$$

$$y_{T1} = P_1.x_{T1} + b_1 \quad \text{et} \quad y_{T2} = P_2.x_{T2} + b_2$$

- Calcul du sommet s

$$x_S = x_{T1} + x_1 \quad \text{et} \quad y_S = y_{T1} + y_1$$

- Calcul des altitudes d'un point dont l'abscisse est connue

Soit x le point dont on voudrait connaître l'altitude y

Si $x \leq x_{T1}$ alors $x \in$ Droite 1 ($y = P_1.x + b_1$)

Sinon si $x \geq x_{T2}$ alors $x \in$ Droite 2 ($y = P_2.x + b_2$)

Sinon $x \in$ à la parabole alors $y = y_s - \frac{(x_s - x)^2}{2R}$

RECAPITULATIF

Désignation	x	y
Intersection I	x_1	y_1
Tangentes T_i	$x_{T1} = x_1 - \frac{D}{2}$ $x_{T2} = x_1 + \frac{D}{2}$	$y_{T1} = P_1.x_{T1} + b_1$ $y_{T2} = P_2.x_{T2} + b_2$
Sommet S	$x_S = x_{T1} + x_1$	$y_S = y_{T1} + y_1$
Distance s	$s = \frac{R(P_1 - P_2)^2}{8}$	
M appartenant à la ligne rouge	$M \in D1$	Une donnée $P_1.x + b_1$
	$M \in$ Parabole	Une donnée $y = y_s - \frac{(x_s - x)^2}{2R}$
	$M \in D2$	Une donnée $P_2.x + b_2$

ii) Cas 2 $P_1 < 0$ et $P_2 > 0$

- Calcul des tangentes

$$x_1 = -P_1.R \quad x_2 = P_2.R \quad y_1 = \frac{P_1^2.R}{2} \quad \text{et } D = x_1 + x_2$$

$$x_{T1} = x_I - \frac{D}{2} \quad \text{et} \quad x_{T2} = x_I + \frac{D}{2}$$

$$y_{T1} = P_1.x_{T1} + b_1 \quad \text{et} \quad y_{T2} = P_2.x_{T2} + b_2$$

- Calcul du sommet s

$$x_S = x_{T1} + x_1 \quad \text{et} \quad y_S = y_{T1} - y_1$$

- Calcul des altitudes d'un point dont l'abscisse est connue

Soit x le point dont l'on voudrait connaître son altitude y

Si $x \leq x_{T1}$ alors $x \in$ Droite 1 ($y = P_1.x + b_1$)

Sinon si $x \geq x_{T2}$ alors $x \in$ Droite 2 ($y = P_2.x + b_2$)

Sinon $x \in$ à la parabole alors $y = y_s + \frac{(x_s - x)^2}{2R}$

RECAPITULATIF

Désignation	x	y	
Intersection I	x_I	y_I	
Tangentes T_i	$x_{T1} = x_I - \frac{D}{2}$ $x_{T2} = x_I + \frac{D}{2}$	$y_{T1} = P_1.x_{T1} + b_1$ $y_{T2} = P_2.x_{T2} + b_2$	
Sommet S	$x_S = x_{T1} + x_1$	$y_S = y_{T1} - y_1$	
Distance s	$s = \frac{R(P_1 - P_2)^2}{8}$		
M appartenant à la ligne rouge	$M \in D1$	Une donnée	$P1.x + b1$
	$M \in$ Parabole	Une donnée	$y = y_s + \frac{(x_s - x)^2}{2R}$
	$M \in D2$	Une donnée	$P2.x + b2$

iii) Cas 3 $P_1 > P_2 > 0$

- Calcul des tangentes

$$x_1 = P_1.R \quad x_2 = P_2.R \quad y_1 = \frac{P_1^2.R}{2} \quad \text{et } D = x_1 - x_2$$

$$x_{T1} = x_I - \frac{D}{2} \quad \text{et} \quad x_{T2} = x_I + \frac{D}{2}$$

$$y_{T1} = P_1.x_{T1} + b_1 \quad \text{et} \quad y_{T2} = P_2.x_{T2} + b_2$$

- Calcul du sommet s

$$x_S = x_{T1} + x_1 \quad \text{et} \quad y_S = y_{T1} + y_1$$

- Calcul des altitudes d'un point dont l'abscisse est connue

Soit x le point dont l'on voudrait connaître son altitude y

Si $x \leq x_{T1}$ alors $x \in$ Droite 1 ($y = P_1 \cdot x + b_1$)
 Sinon si $x \geq x_{T2}$ alors $x \in$ Droite 1 ($y = P_2 \cdot x + b_2$)
 Sinon $x \in$ à la parabole alors $y = y_s - \frac{(x_s - x)^2}{2R}$

RECAPITULATIF

Désignation	x	y	
Intersection I	x_I	y_I	
Tangentes T_i	$x_{T1} = x_I - \frac{D}{2}$ $x_{T2} = x_I + \frac{D}{2}$	$y_{T1} = P_1 \cdot x_{T1} + b_1$ $y_{T2} = P_2 \cdot x_{T2} + b_2$	
Sommet S	$x_S = x_{T1} + x_1$	$y_S = y_{T1} + y_1$	
Distance s	$s = \frac{R(P_1 - P_2)^2}{8}$		
M appartenant à la ligne rouge	$M \in D1$	Une donnée	$P1 \cdot x + b1$
	$M \in$ Parabole	Une donnée	$y = y_s - \frac{(x_s - x)^2}{2R}$
	$M \in D2$	Une donnée	$P2 \cdot x + b2$

iv) Cas 4 $P_2 < P_1 < 0$

- Calcul des tangentes

$$x_1 = -P_1 \cdot R \quad x_2 = -P_2 \cdot R \quad y_1 = \frac{P_1^2 \cdot R}{2} \quad \text{et } D = x_2 - x_1$$

$$x_{T1} = x_I - \frac{D}{2} \quad \text{et} \quad x_{T2} = x_I + \frac{D}{2}$$

$$y_{T1} = P_1 \cdot x_{T1} + b_1 \quad \text{et} \quad y_{T2} = P_2 \cdot x_{T2} + b_2$$

- Calcul du sommet s

$$x_S = x_{T1} + x_1 \quad \text{et} \quad y_S = y_{T1} - y_1$$

- Calcul des altitudes d'un point dont l'abscisse est connue

Soit x le point dont l'on voudrait connaître son altitude y

Si $x \leq x_{T1}$ alors $x \in$ Droite 1 ($y = P_1 \cdot x + b_1$)
 Sinon si $x \geq x_{T2}$ alors $x \in$ Droite 1 ($y = P_2 \cdot x + b_2$)
 Sinon $x \in$ à la parabole, alors $y = y_s + \frac{(x_s - x)^2}{2R}$

RECAPITULATIF

Désignation		x	y
Intersection I		xI	yI
Tangentes Ti		$x_{T1} = x_I - \frac{D}{2}$ $x_{T2} = x_I + \frac{D}{2}$	$y_{T1} = P_1 \cdot x_{T1} + b_1$ $y_{T2} = P_2 \cdot x_{T2} + b_2$
Sommet S		$x_S = x_{T1} + x_1$	$y_S = y_{T1} - y_1$
Distance s		$s = \frac{R(P_1 - P_2)^2}{8}$	
M appartenant à la ligne rouge	M ∈ D1	Une donnée	P1.x + b1
	M ∈ Parabole	Une donnée	$y = y_s + \frac{(x_s - x)^2}{2R}$
	M ∈ D2	Une donnée	P2.x + b2

v) Cas 5 $P_2 > P_1 > 0$

- Calcul des tangentes

$$x_1 = P_1 \cdot R \quad x_2 = P_2 \cdot R \quad y_1 = \frac{P_1^2 \cdot R}{2} \quad \text{et } D = x_2 - x_1$$

$$x_{T1} = x_I - \frac{D}{2} \quad \text{et} \quad x_{T2} = x_I + \frac{D}{2}$$

$$y_{T1} = P_1 \cdot x_{T1} + b_1 \quad \text{et} \quad y_{T2} = P_2 \cdot x_{T2} + b_2$$

- Calcul du sommet s

$$x_S = x_{T1} - x_1 \quad \text{et} \quad y_S = y_{T1} - y_1$$

- Calcul des altitudes d'un point dont l'abscisse est connue

Soit x le point dont l'on voudrait connaître son altitude y

Si $x \leq x_{T1}$ alors $x \in$ Droite 1 ($y = P_1 \cdot x + b_1$)

Sinon si $x \geq x_{T2}$ alors $x \in$ Droite 2 ($y = P_2 \cdot x + b_2$)

Sinon $x \in$ à la parabole

$$\text{alors } y = y_s + \frac{(x_s - x)^2}{2R}$$

RECAPITULATIF

Désignation		x	y
Intersection I		xI	yI
Tangentes Ti		$x_{T1} = x_I - \frac{D}{2}$ $x_{T2} = x_I + \frac{D}{2}$	$y_{T1} = P_1 \cdot x_{T1} + b_1$ $y_{T2} = P_2 \cdot x_{T2} + b_2$
Sommet S		$x_S = x_{T1} - x_1$	$y_S = y_{T1} - y_1$
Distance s		$s = \frac{R(P_1 - P_2)^2}{8}$	
M appartenant à la ligne rouge	M ∈ D1	Une donnée	$P_1 \cdot x + b_1$
	M ∈ Parabole	Une donnée	$y = y_s + \frac{(x_s - x)^2}{2R}$
	M ∈ D2	Une donnée	$P_2 \cdot x + b_2$

vi) Cas 6 $P_1 < P_2 < 0$

- Calcul des tangentes

$$x_1 = -P_1 \cdot R \quad x_2 = -P_2 \cdot R \quad y_1 = \frac{P_1^2 \cdot R}{2} \quad \text{et } D = x_1 - x_2$$

$$x_{T1} = x_I - \frac{D}{2} \quad \text{et} \quad x_{T2} = x_I + \frac{D}{2}$$

$$y_{T1} = P_1 \cdot x_{T1} + b_1 \quad \text{et} \quad y_{T2} = P_2 \cdot x_{T2} + b_2$$

- Calcul du sommet s

$$x_S = x_{T1} + x_1 \quad \text{et} \quad y_S = y_{T1} - y_1$$

- Calcul des altitudes d'un point dont l'abscisse est connue

Soit x le point dont l'on voudrait connaître son altitude y

$$\begin{aligned} \text{Si } x \leq x_{T1} & \quad \text{alors } x \in \text{Droite 1} \quad (y = P_1 \cdot x + b_1) \\ \text{Sinon si } x \geq x_{T2} & \quad \text{alors } x \in \text{Droite 2} \quad (y = P_2 \cdot x + b_2) \\ \text{Sinon } x \in \text{à la parabole,} & \quad \text{alors } y = y_s + \frac{(x_s - x)^2}{2R} \end{aligned}$$

RECAPITULATIF

Désignation	x	y	
Intersection I	x_I	y_I	
Tangentes Ti	$x_{T1} = x_I - \frac{D}{2}$ $x_{T2} = x_I + \frac{D}{2}$	$y_{T1} = P_1 \cdot x_{T1} + b_1$ $y_{T2} = P_2 \cdot x_{T2} + b_2$	
Sommet S	$x_S = x_{T1} - x_1$	$y_S = y_{T1} + y_1$	
Distance s	$s = \frac{R(P_1 - P_2)^2}{8}$		
M appartenant à la ligne rouge	$M \in D1$	Une donnée	$P1 \cdot x + b1$
	$M \in \text{Parabole}$	Une donnée	$y = y_s - \frac{(x_s - x)^2}{2R}$
	$M \in D2$	Une donnée	$P2 \cdot x + b2$

COORDINATION DU TRACÉ EN PLAN ET DU PROFIL EN LONG

La coordination en matière du tracé est l'action qui consiste à dimensionner et à distribuer les éléments du tracé en plan et les éléments du profil en long de telle sorte que leur superposition définisse dans l'espace et pour l'automobiliste un tracé satisfaisant. Il faudrait pour cela :

- éviter pour les points singuliers : les points hauts, les courbes de faible rayon en plan etc.
- autant que faire se peut, coïncider les courbes en tracé en plan et en profil en long (dévers nul et déclivité) ;
- éviter qu'une courbe commence ou qu'un virage se trouve immédiatement après un point haut du profil en long ;
- rendre visible d'un seul trait une longueur de route égale au moins aux distances de visibilité de dépassement (évitement des pertes de tracés).

EXERCICE A FAIRE

N° Profil	DP	DC	CTN
0			388.73
	20.00		
1			387.97
	15.00		
2			389.22
	15.00		
3			387.54
	20.00		
4			384.47
	20.00		
5			382.30
	25.00		
6			381.52
	22.99		
7			382.18
	22.99		
8			382.56
	25.00		
9			386.15
	20.00		
10			386.15
	20.00		
11			385.30
	20.00		
12			385.60

Données : $P_0 = 388.73$ $P_6 = 384.33$
 $P_7 = 383.96$ $P_{12} = 385.60$
 $R = 3000m$

1°) Etablir le profil en long au 1/100°

2°) Calculer la ligne rouge du projet

2°) Calcul des éléments de la ligne rouge

i) Calcul des pentes

$$P_1 = \frac{384.33 - 388.73}{115 - 0} = -0.038261$$

$$P_2 = \frac{385.60 - 383.96}{245.98 - 137.990} = +0.015187$$

ii) Calcul des coordonnées du point intersection I

- Première droite

$$Y_1 = -0.038261 X_1 + 388.73 \qquad b_1 = 388.73$$

- Deuxième droite

$$Y_1 = 0.015187 X_1 + b_2 \qquad b_2 = 383.96 - 0.015187 \times 137.99 = 381.86$$

$$X_I = \frac{b_1 - b_2}{P_1 - P_2} = 128.46 \quad Y_I = 383.82$$

I (128.46 ; 383.82)

iii) Calcul des coordonnées des points de tangences

$$\frac{D}{2} = \frac{R(P_2 - P_1)}{2} = 80.17$$

$$x_{T1} = x_I - \frac{D}{2} = 48.29$$

$$y_{T1} = P_1 \cdot x_{T1} + b_1 \quad \text{et} \quad y_{T2} = P_2 \cdot x_{T2} + b_2 = 385.04$$

$$x_{T2} = x_I + \frac{D}{2} = 208.63$$

iv) Calcul des coordonnées du sommet

$$x_1 = P_1 \cdot R = -114.78 \quad y_1 = \frac{P_1^2 \cdot R}{2} = 2.20$$

$$x_2 = P_2 \cdot R = 45.56 \quad y_2 = \frac{P_2^2 \cdot R}{2} = 0.35$$

$$x_S = x_{T1} + x_1 = 163.07 \quad \text{et} \quad y_S = y_{T1} - y_1 = 384.69$$

Calcul des points courants

2.3 Implantation des courbes :

III. TECHNIQUES ROUTIERES

3.1 Reconnaissance géotechnique

Elle permet de définir avec précision les travaux de terrassements, des chaussées et des fondations d'ouvrages d'art à réaliser ainsi que des emprunts et carrières à utiliser pour leur réalisation.

On distingue les études suivantes :

1. *Etude des terrains traversés par les terrassements et les plates-formes;*

Il s'agit de faire des sondages par puits manuels ou à la tarière avec prélèvement des couches rencontrées. Ce qui conduit à l'identification visuelle suivie des essais d'identification au laboratoire. L'espacement entre les puits varie entre 200 et 1000 mètres.

2. *Etude des ressources en matériaux ;*

Les matériaux des remblais proviennent généralement des déblais de la route, sinon on fait recours aux emprunts ou aux carrières. Les matériaux utilisés doivent dans tous les cas être de bonnes caractéristiques conformes aux prescriptions contractuelles. Cette étude doit pouvoir donner la qualité, les quantités, les zones d'utilisation et les distances moyennes de transport.

3. *Etude des sols d'assises des ouvrages d'art.*

Pour l'APD (Avant Projet Détaillé), les études peuvent être limitées à l'appréciation sur le type de fondation à envisager et sur les risques d'affouillement à craindre.

Le dossier géotechnique comprend les sous-dossiers suivants :

- Etude de la plate-forme ;
- Etude des matériaux meubles ;
- Etude des matériaux rocheux ;
- Etude du dimensionnement de la chaussée ;
- Etude des fondations des ouvrages d'art ;
- Etude de stabilité des pentes des remblais ;
- Etude de protection contre les érosions ;
- Etude du traitement des matériaux des couches de la chaussée.

3.2 Eléments de géométrie.

- Les pentes des talus sont représentées/exprimées par la cotangente de l'angle que fait le plan incliné et le plan horizontal. Exemples : $3/2$; $1/3$; $3/4$.

3.3 Les terrassements.

Définition/ Généralités :

Les terrassements consistent à extraire, à transporter et à mettre en œuvre les sols et des matériaux. Ils commencent par la préparation des sols .

- *Préparation du sol :*

Elle comprend les opérations suivantes :

- le déforestation d'une bande très large pour favoriser l'action de séchage des sols par le vent et le soleil (environ 60 m en fonction de la hauteur des arbres) ;
- éliminer la terre végétale ;
- dessouchage et le débroussaillage : déforestation et débroussaillage : les produits sont mis en dépôt ou brûlés ou vendus ; décapage de la terre végétale : on la met en dépôt pour une réutilisation ultérieure sur les talus ;
- exécution des redans ou sillons parallèlement aux courbes de niveau pour ancre les remblais lorsque les pentes du terrain naturel excèdent 20cm/m ; sillons de 20cm si la pente est

supérieure à 30%, redans égaux à la largeur des engins si la pente est supérieure à 30%. On évitera d'empêcher ou de gêner la circulation et de l'eau ;

- préparation de l'assise des remblais ;
- dégagement des lits des cours d'eau et des talwegs de part et d'autre des emplacements d'ouvrages d'art.

Le terrassement a pour effet de :

- o Modifier la topographie du terrain ;
- o Donner au terrain une forme et des caractéristiques déterminées correspondant à la nature de la route à construire.

Le contrôle topographique des travaux de terrassement.

Le travail de l'entrepreneur consiste à :

- Vérifier la polygonale et à border son axe ;
- Implanter et lever l'axe du tracé et les profils en travers ;
- Vérifier le nivellement, les épaisseurs des couches avant la mise en place des couches sus-jacentes.

Il va de soi que la mission de contrôle devra faire les mêmes contrôles.

3.3.2 Les engins de terrassement utilisés

Les plus courants sont :

- o La *niveleuse*, si la couverture arbustive est maigre et de faible épaisseur ;
- o Le *bulldozer* (ou boteur) dans le cas contraire ; il peut être équipé d'un appareil de défonçage, genre ripper pour couper les racines et faciliter le dessouchage ;
- o La *décapeuse tractée (scrapeur)* lorsque la distance de transport est comprise 50m entre et 300m et uniquement pour le décapage ;
- o *Scrapeur automoteur* dès que la distance de transport excède 300m ;
- o *Pelle mécanique* pour l'ensemble des travaux de préparation dans le cadre d'un petit chantier
- o Le *compacteur lourd*.

Pour le transport, on choisit les engins ci-dessous :

	Distances de transport						
	0	50	300	1000	1500	2000	m
Bulldozer	0						
Décapeuse tractée			0				
Scrapeur automoteur				0			
Pelle chargeuse- camions routiers Ou dumpers (tombereaux)					0		
Pelles et dumpers attelés ou articulés						0	

3.3.2 Le drainage.

Le drainage consiste à évacuer les eaux superficielles et souterraines hors de la route.

3.3.2.1 Le drainage profond :

L'eau souterraine a deux origines :

- externe : il s'agit de l'infiltration des eaux de pluies à travers les talus, des accotements ou de la chaussée.
- interne : il s'agit des nappes actives ou en écoulement gravitaire ou par diffusion capillaire.

Fonction du drainage :

- *Capter les eaux infiltrées ;*
- *Rabattre les nappes ;*
- *Stopper les remontées capillaires et les diffusions latérales.*

L'objectif est par ailleurs :

- *de faciliter l'exécution des terrassements ;*
- *d'augmenter la portance de la plate-forme et réduire les variations saisonnières ou localisées ;*
- *d'assurer la tenue des talus à court et long terme.*

N.B. Il est parfois possible d'éviter les ouvrages de drainage par un choix judicieux du tracé en plan et du profil en long.

Pour plus d'informations voir le cours d'hydraulique routière

3.3.2.2 L'évacuation des eaux superficielles :

Elle commence avec l'étude du tracé en plan et du profil en long. Les ouvrages essentiels sont :

Les fossés, les ouvrages de transition, les petits ouvrages transversaux (dalots et buses).

i) *Les fossés* : leur section doit être suffisante pour collecter et évacuer les eaux de la plate-forme ainsi que des autres dépendances de la route et éventuellement celle de l'extérieur.

ii) *Ouvrages de transition* : ce sont des fossés de crête, des descentes d'eau, etc.

Le compactage.

Le compactage est défini comme l'ensemble des moyens , essentiellement mécaniques mis en œuvre pour améliorer les performances d'un sol auquel on applique des contraintes produisant des déformations irréversibles qui modifient ses caractéristiques intrinsèques.

Le compactage est sans aucun doute *l'opération la plus importante de la technique routière*. Il conditionne le comportement de la chaussée à court et à long terme. *Il faut donc lui accorder une attention bien particulière.*

Effets du compactage :

Le compactage ressert les pores, diminue les vides ; ce qui donne au matériau une plus grande imperméabilité tout en diminuant ses risques d'altération et d'érodabilité ; il augmente la cohésion et l'angle de frottement interne avec pour résultat un meilleur intercalage de ses particules, d'où une meilleure résistance au cisaillement. Il augmente la densité apparente sèche et empêche la liquéfaction des sables soumis à la vibration.

a) Compactage des couches de la chaussée ; Contrôle du compactage.

Les matériaux sont compactés par couches de 20- cm par des engins appropriés. Pour atteindre de bons résultats il faut faire des bancs d'essai.

Les densités in-situ (en place) et la teneur en eau sont les éléments principaux à contrôler. Les cahiers de charges définissent les taux de compacité à obtenir sur le chantier par rapport au proctor de référence déterminé préalablement au laboratoire.

Généralement, les taux de compactage prescrits sont les suivants :

- Corps de remblai : 90-98% de l'OPN ;
- 50 cm supérieurs de remblai : 90-95% de l'OPM ;
- Couches de chaussée: 95-100% de l'OPM ;

b) Compactage des enrobés

i) But : Le compactage des enrobés a pour but :

- d'empêcher *les tassements ultérieurs* avec tous les désordres qui s'ensuivent,
- d'augmenter *les caractéristiques mécaniques* de l'enrobé
- de diminuer *la perméabilité de l'enrobé et de réduire l'influence de l'eau*,
- d'augmenter *la densité en diminuant les vides dans l'enrobé*.

La plupart des déformations de la chaussée sont imputables à *un mauvais compactage*. Il en est ainsi des ornières, des flaches et de certaines ruptures localisées de la chaussée. Il convient donc d'attacher beaucoup de prix à l'opération de compactage et *d'éviter de faire des économies occultes* sur ce poste.

ii) Les facteurs du compactage de l'enrobé

- La granulométrie du matériau
- L'épaisseur de la couche
- Le sol support
- La température de l'enrobé
- Les engins de compactage

iii) Les planches d'essais :

Leur but est:

- de définir les conditions de mise en œuvre des matériaux,
- de vérifier l'efficacité des engins de compactage.

Les conditions de leur réalisation doivent être bien définies. Il s'agit :

- de la nature et des caractéristique du matériau
- du sol support
- de son emplacement et de sa longueur
- des engins utilisés
- de la méthode de compactage

Bien exécutées, elles permettent de définir :

- la rotation de l'atelier de compactage
- le nombre de passes de chaque engin.

Un procès-verbal de planche d'essais avec ses conclusions sera établi et signé contradictoirement par l'ingénieur de suivi et le conducteur des travaux.

iv) Le contrôle de mise en oeuvre. Il porte sur :

- la température de l'enrobé ;
- l'épaisseur de la couche ;
- la réalisation des joints ;
- la compacité atteinte.

c) Les engins de compactage ; choix du matériel de compactage

Il y a plusieurs types de matériels de compactage ; leur choix dépend de la nature des travaux à réaliser, des matériaux et des dimensions des parties à compacter.

Le tableau ci-dessous donne une indication quant aux choix à faire.

	<i>Compacteurs statiques</i> • A pneus • A jantes lisses	<i>Compacteurs à pieds de mouton</i>	<i>Compacteurs vibrants</i>	<i>Plaques vibrantes</i>	<i>Pilonneuses</i>
Action	Effort vertical Pétrissage Poinçonnement	Poinçonnement Pétrissage Chocs	Effort vertical Vibrations Chocs	Vibrations Chocs	Damage
Utilisation préférentielle	Matériaux granulaires	Sols plastiques	Tous matériaux (de préférence granulaire)	Petites surfaces : Tranchées de faibles épaisseurs	

d) Facteurs qui influencent le compactage.

- * l'énergie de compactage ;
- * la teneur en eau du matériau ;
- * la granularité du matériau ;
- * le sol support ;
- * l'épaisseur des couches à compacter ;

En règle générale il faudra veiller sur les facteurs ci-dessus avec l'objectif d'atteindre la densité' visée ou requise.

3.4 Cubatures des terrassements

3.4.1 Calcul des volumes

On remarque que les surfaces des profils en travers se décomposent simplement en des surfaces des trapèzes et triangles dont le calcul est aisé dès que l'on connaît les cotes du projet, ceux du terrain naturel et les distances partielles sur profils en travers.

Remarque :

Pour les profils mixtes, les surfaces des déblais et celles des remblais ne doivent pas être additionnées.

3.4.2 Mouvements des terres.

a) Calcul des surfaces des profils en travers:

On remarque que les surfaces des profils en travers se décomposent simplement en des surfaces des trapèzes et triangles dont le calcul est aisé dès que l'on connaît les cotes du projet, ceux du terrain naturel et les distances partielles sur profils en travers.

Remarque :

Pour les profils mixtes, les surfaces des déblais et celles des remblais ne doivent pas être additionnées.

b) Le calcul des cubatures

Il existe quatre méthodes d'évaluation des cubatures sur un projet routier :

- la méthode de Robin
- la méthode exacte
- la méthode de l'aire moyenne
- la méthode de la moyenne des aires. C'est cette dernière qui est la plus utilisée et c'est elle qui retiendra notre attention

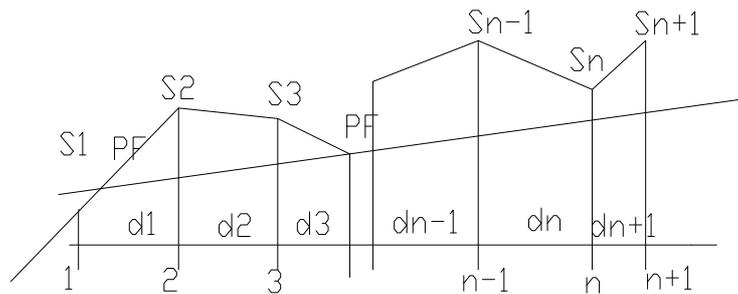
*** Exposé de la méthode :**

Cette méthode consiste tout simplement à évaluer les cubes des terres compris entre deux profils en faisant le produit de la moyenne des surfaces de chacun d'eux par la longueur de l'entre profil.

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} d_1 + \frac{S_2 + S_3}{2} d_2 + \dots + \frac{S_n + S_{n+1}}{2} d_n$$

$$= S_1 \frac{d_1}{2} + S_2 \frac{d_1 + d_2}{2} + \dots + S_n \frac{d_{n-1} + d_n}{2} + S_{n+1} \frac{d_n}{2}$$

d_n = distance entre les profils n et n+1.
 $\frac{d_n + d_{n+1}}{2}$ = longueur d'application du profil n
 S_n = surface du remblai ou du déblai au profil n.



No Profil	Distance entre profil	Longueur d'application	Déblais				Remblais				Observations
			Surfaces		Total par profil	Cubes	Surfaces		Total par profil	Cubes	
			A gauche	A droite			A gauche	A droite			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

*** Commentaire du tableau :**

- [1] suite des profils en travers (sans oublier les profils fictifs) ;
- [2] distances entre profils (relevées sur le profil en long) ;
- [3] « longueur d'application » : c'est la longueur sur laquelle s'applique la section du profil ;
- [4] ; [5] ; [8] ; [9] sont remplies en y portant les surfaces qu'on a calculées au niveau de chaque profil en travers.

*** Remarque :**

- Les surfaces au droit des profils fictifs sont nulles.
- Les surfaces calculées en [4] ; [5] ; [8] ; [9] sont multipliées par les longueurs d'application [3] pour obtenir les cubes [7] et [11] ; il faut toujours vérifier que $\Sigma \text{col.2} = \Sigma \text{col.3}$.

c) Le mouvement de terre :

C'est l'étude des cubes à transporter et de la longueur de transport. Notons V le cube à transporter et d la distance de transport. Le produit V X d est appelé **moment de transport**. Si on a plusieurs cubes V_1, V_2, \dots, V_n à transporter à des distances d_1, d_2, \dots, d_n on appelle

moyenne de transport le rapport
$$d = \frac{d_1 V_1 + d_2 V_2 + \dots + d_n V_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} d_i V_i}{\sum_{i=1}^{i=n} V_i}$$
. Dans un projet,

les terres sont transportées des déblais vers les remblais et les excédents sont mis en dépôt. Lorsque les déblais sont insuffisants pour combler les remblais, on est amené à faire des empreints. Ces transports se font à des distances variables et parfois indéterminées. Le coût global de transport dépend directement de ces distances, donc de la distance moyenne. Or l'examen de la formule donnant la distance moyenne montre que celle-ci est minimale pour un même cube $V = \sum V_i$ lorsque le moment de transport est minimal. Dans un projet routier la recherche de la distance minimale de transport s'impose donc. Il y a plusieurs méthodes qui ont été élaborées. Celle que nous allons retenir est celle de LALANNE.

*** Principe de la méthode de LALANNE**

a) *Hypothèses :*

⇒ chaque cube de déblai ou de remblai est concentré au profil correspondant ;

- ⇒ on ne tient pas compte des cubes à réemployer au même profil (cas des profils mixtes) ;
- ⇒ on ne tient pas compte des profils fictifs.

b) *Etablissement de l'épure*

L'épure de LALANNE est une représentation graphique en plan (dimension 2) des cubes des terres.

- ✓ tracer une ligne horizontale initiale (LT) ;
- ✓ sur cette ligne, porter à l'échelle choisie l'emplacement des différents profils en travers ;
- ✓ au droit de chaque profil, les volumes sont représentés par des lignes verticales à une échelle proportionnelle au volume pris dans les colonnes 5 et 6 du tableau de mouvement des terres ;
- ✓ porter les déblais de bas en haut et les remblais de haut en bas en sautant horizontalement d'un profil au profil suivant. A chaque profil, on cumule les cubes en comptant les déblais positivement et les remblais négativement. Autrement dit on porte en ordonnée à chaque profil, la somme algébrique des déblais depuis l'origine jusqu'au profil considéré.

Exemple :

No profils	Distances partielles	Cubes de déblais	Cubes de remblais	Déblais à employer au même profil	Excès de déblais sur remblais	Excès de remblais sur déblais
1						
2						
3						
Totaux						

REMARQUES

- Si le point O (fin de l'épure) est sur la ligne LT, le cube de déblais est égal à celui des remblais : il y a compensation. ;
- si le point O (fin de l'épure) est au-dessus de la ligne LT, le cube de déblais est supérieur à celui des remblais : il y a nécessité de porter le reliquat des terres au dépôt ;
- si le point O (fin de l'épure) est au-dessous de la ligne LT, le cube des remblais est supérieur à celui des déblais : il y a nécessité de porter des terres d'un lieu d'emprunt (carrière) vers le lieu des remblais.

a) **Choix de la ligne de répartition des terres (LR)**

Définition : La ligne de répartition est une ligne horizontale imaginaire différente ou non de la ligne de terre correspondant au minimum de distance moyenne de transport ;

Sens de transport : il est de :

- la gauche vers la droite au dessus de la ligne de répartition des terres ;
- la droite vers la gauche au dessus de la ligne de répartition.

Moment de transport :

C'est une quantité et qui représente le produit d'un cube de terre par une distance dite de transport et dont l'unité est le m⁴. Sur l'épure, on transporte le cube de terre AB sur la distance AD = d ; le moment de transport est $M = AB \cdot d$ c'est-à-dire la surface du rectangle ABCD.

a) *Différent cas de lignes de répartition de terre :*

- i) *déblais et remblais compensés* : dans ce cas la ligne de terre est en même temps la ligne de répartition des terres ;
- ii) *dépôt ou emprunt unique à l'extrémité droite du projet* : dans ce cas, on considère l'épure comme ayant un remblai au dépôt ou bien un déblai à l'emprunt correspondant respectivement à l'excès de déblais ou à l'excès de remblais ; et la ligne répartition LR est confondue à la ligne de terre LT.
- iii) *dépôt ou emprunt unique à l'extrémité gauche du projet* : dans ce cas, la ligne de répartition LR est une ligne horizontale passant par le point final O.
- iv) *dépôt ou emprunt unique sur la ligne des terres à un profil intermédiaire* :

On décompose l'épure en deux parties :

- une 1^{ère} partie avant le dépôt ou l'emprunt (qui est analogue au cas ii))
- une 2^{ème} partie après le dépôt ou l'emprunt (cas iii)).

En définitive, la ligne de répartition des terres LR est une ligne brisée (1^{ère} partie confondue avec la ligne de terre LT et la 2^{ème} partie confondue avec la ligne horizontale passant par O.

- v) *lieu unique de dépôt en dehors du tracé* : on opère comme en iv) mais pour les terres à porter au dépôt ou des terres à emporter à la carrière, la distance de transport est majorée de la distance de la ligne de terre au lieu de dépôt ou d'emprunt.
- vi) *Deux lieux de dépôt ou d'emprunt aux deux extrémités du projet* :

La ligne de répartition (LR) est choisie entre toutes les lignes horizontales portées par paliers entre le point final O et la ligne de terre (LT) ; sous réserve que la ligne choisie est celle qui offre une ligne moyenne de transport minimale.

* Discussion :

Soit une portion de l'épure et deux lignes de répartition potentielles XY et X'Y'. On se propose de chercher entre ces deux lignes, celle qui offre la plus petite moyenne de transport. Les moments m₁, m₂, m₃, ...m₆, sont communs aux deux lignes XY et X'Y' et par conséquent pas pris en compte dans la comparaison. Par contre les moments M₁ et M₃

intéressent seulement XY et $M2 X'Y'$; or comme un cube identique est attaché aux moments $M1, M2, M3$, il est avantageux de comparer seulement les distances de transport liées à ces moments. Il est évident que la ligne qui aura la plus faible somme de distance de transport sera la plus favorable.

Remarque : Dans la pratique, on compare la somme des segments de ligne de terre inférieure, fermant des sections supérieures du polygone, avec la somme des segments de ligne de terre supérieure fermant des sections supérieures du polygone. La ligne favorable est celle qui a la plus faible somme.

Résumé : Respecter les étapes suivantes :

1. *Tracer l'épure ;*
2. *Matérialiser les dépôts ou les emprunts à leurs emplacements précis ;*
3. *Repérer la ligne finale (horizontale passant par le point final O) ;*
4. *Matérialiser légèrement (soucis de clarté) les lignes horizontales passant par tous les paliers compris entre LT et OO' ;*
5. *Commencer la comparaison par LT en progressant vers OO' , c'est-à-dire de bas en haut dans le cas de deux dépôts ou du haut vers le bas, dans le cas de deux emprunts.*

Après cette étude, la ligne optimale de répartition des terres est adoptée ; permettant ainsi de calculer la distance moyenne de transport.

3.6 Les chaussées.

3.6.1 Les corps des chaussées

Voir aussi le chapitre 2 ci-dessus et le paragraphe sur le dimensionnement des chaussées

1) la couche de forme : c'est la couche sur laquelle reposent toutes les autres couches de la chaussée ; elle doit avoir un CBR minimum de 10-15.

2) la couche de base ;

Elles sont souvent faites en graves naturelles sélectionnées ou en graves criblées semi-concassées.

3) la couche de fondation :

Elles sont souvent faites en graves naturelles sélectionnées, en graves criblées semi-concassées, ou en graveleux latéritiques.

3) la couche de roulement – la couche d'usure :

Elle doit présenter un bon uni longitudinal et transversal, une rugosité favorisant l'adhérence des pneus et l'évacuation des eaux ; offrir un confort, sécurité étanchéité et protection du corps de la chaussée :

Matériaux utilisés : enduits superficiels mono, bi ou tricouche ; tapis de sables enrobés ; enrobés très fins ; coulis bitumineux ; enrobées denses ou poreux ; bétons bitumineux.

4) la couche de liaison : enrobé et parfois mis en œuvre sous la couche de roulement.

3.6.2 La couche de roulement

3.7 Dimensionnement des chaussées

La conception des chaussées en matière d'exigences structurelles a deux conditions :

- le corps de chaussée doit assurer une répartition des contraintes telle que le sol de plate forme ne puisse poinçonner ;
- les matériaux constitutifs des différentes couches de la chaussée doivent avoir des épaisseurs et des caractéristiques de résistance suffisantes pour supporter les contraintes répétées de cisaillement, de compression et de traction engendrées par le trafic.

GENERALITES

Le dimensionnement de la chaussée consiste à :

- déterminer les épaisseurs des différentes couches ;
- déterminer les matériaux adaptés ayant des caractéristiques souhaitées.

Ceci dans le but :

- d'éviter le poinçonnement de la plate forme ;
- d'éviter les contraintes de traction, de compression et de cisaillement dus au trafic.

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement de chaussée :

- Méthode américaine (**AASHTO** : American Association State Highways

Transportation Officials);

- Méthode suisse ;
- Méthode anglaise (Overseas Road Note 31) ;
- Méthode allemande (RSTO) ;
- Méthode du guide français (**CEBTP** : Centre Expérimental de Recherche et

d'Etude du Bâtiment et Travaux Publics) ;

Toutes ces méthodes font appel à certains paramètres qui sont :

- trafic ;
- CBR de la plate forme ;
- coefficient d'agressivité ;
- accroissement du trafic.

Dans notre cours, seule la méthode CEBTP sera étudiée.

PARAMETRES DE BASE

1) Classe de portance du sol

Cinq classes de sols ont été retenues.

CBR de la plate forme	Classe de sol
CBR < 5	S1
5 < CBR < 10	S2
10 < CBR < 15	S3
15 < CBR < 30	S4
30 < CBR	S5

2) Trafic

Cinq classes de trafic ont été retenues

Nombre de poids lourds cumulés (N)	classe de trafic
$N < 5 \cdot 10^5$	T1
$5 \cdot 10^5 < N < 1.5 \cdot 10^6$	T2
$1.5 \cdot 10^6 < N < 4 \cdot 10^6$	T3
$4 \cdot 10^6 < N < 10^7$	T4
$10^7 < N < 2 \cdot 10^7$	T5

L'étude de trafic est une partie essentielle de toute étude routière. Du volume de trafic dépendent, en effet, les caractéristiques essentielles d'une liaison, telles que géométrie, largeur, gabarit, charges de ponts et structures de chaussées.

Mais l'étude de trafic est surtout importante pour le calcul du coût global de fonctionnement des véhicules, qui détermine de manière essentielle la rentabilité d'un projet.

a) Charges à l'essieu

Par pays, la charge à l'essieu autorisée varie de 8t à 13t. La charge à l'essieu est une des données de base de tous les dimensionnements de chaussées, l'effet d'une surcharge se sent immédiatement et les surcharges mettent en danger la pérennité d'une structure.

En effet, le dommage occasionné par une charge roulante unique est évalué par la notion d'agressivité. La chaussée est toujours dimensionnée par la fatigue, c'est à dire qu'elle peut supporter un nombre de passages limités avant de "rompre". Ce n'est donc pas une seule surcharge qui crée la rupture, mais le passage successif de surcharges.

La loi donnant l'effet des surcharges est du type : $A = \left(\frac{P}{13}\right)^\alpha$

avec $\alpha = 4$ pour les chaussées souples (En Afrique, prendre 4.5)
 $6 \leq \alpha \leq 8$ pour les chaussées semi rigide
 $\alpha = 12$ pour les béton

A coefficient d'agressivité qui est fonction de la composition d'essieux du trafic du poids lourds considéré.

Ceci veut dire qu'une surcharge de 10% crée 1.5 fois plus de dommage que la charge réglementaire, une surcharge de 20% crée 2 fois plus de dommages (comme si le trafic était doublé!), et 50% de surcharge équivaut même à 5 Poids Lourds réglementaires !

b) Calcul de trafic cumulé

Pour calculer le trafic cumulé, il faut d'abord décider du nombre d'années de service pour lesquelles l'on veut faire un investissement, c'est un problème stratégique qui n'est pas développé ici. Mais il faut surtout disposer du taux de croissance du trafic, c'est à dire de la variation du volume total de trafic d'une année sur l'autre. Comme ce taux est susceptible de varier d'une année sur l'autre (souvent lié au PNB), le mieux est de disposer de deux études de trafic faites dans un intervalle d'au moins 5 ans. on utilise alors le taux moyen de croissance. Le taux de croissance peut aussi différer fortement entre les catégories de véhicules, qu'il faudra alors distinguer au moment des comptages.

La détermination des différentes épaisseurs de couches est donnée à partir de la classe du sol et celle du trafic (Voir annexe).

Soit :

t_0 le trafic moyen journalier de la 1^{ère} année de comptage ;

n_1 et n_2 respectivement première année de comptage et première année de mise en service ;
 t_{pl} = taux de poids lourds ;
 n la durée de vie de la route ;
 i ou r le taux de croissance annuel du trafic ;
 T le trafic moyen journalier en Poids Lourds à l'année de mise en service ;
 N le nombre de poids lourds cumulés pendant la durée de vie de la route.

N.B : Faire attention avec le sens des véhicules.

Pour des routes bidirectionnelles

Routes de largeur < 5.50 m	$N = N$	
Routes de largeur 5.50 m – 6.50 m		$N = 0.75N$
Routes de largeur ≥ 6.50 m	$N = 0.5N$	

Deux approches sont possibles pour le taux de croissance :

* **la croissance géométrique**, où le trafic augmente tous les ans d'un pourcentage fixe par rapport à l'année précédente. Pour l'année N , on a alors :

$$T = t_0 * (1 + i)^{(n_2 - n_1)} * t_{pl}$$

et le cumul pour les n années :

$$N = 365 * A * T_0 * \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

Exemple 1

Soit une chaussée à $V_R = 80$ km/h. La campagne de comptage routier réalisée en 1993 a relevé le T.M.J.A = 450 UVP/J avec un taux des poids lourds de 30%. Le taux de croissance annuelle du trafic est de 12%. Sachant que le sol support à un CBR compris entre 10 et 15. Dimensionner la chaussée sachant que la durée de vie est de 15 ans. La date de mise en service est fixée au début de 1995. La largeur de la chaussée est de 5.00m

Solution

$$TMJA = 450 \text{ UVP/J} \quad i = 12\% \quad t_{pl} = 30\%$$

$$V_R = 80 \text{ Km/h}$$

$$T = t_0 * (1 + i)^{(n_2 - n_1)} * t_{pl} = 450 * (1 + 0.12)^{(1995 - 1993)} * 0.30 = 169.34$$

$$N = 365 \times 169,344 \times \left(\frac{(1+0.12)^{15} - 1}{0.12} \right) = 2,5 \times 10^6 \text{ PLC}$$

⇒ Trafic T_3 .

$10 < \text{CBR} < 15 \Rightarrow \text{Sol } 3 \quad S_3$

Entrée dans le tableau ⇒

- R : Béton bitumineux 5 cm
- B : Graveleux latéritique naturel 20 cm
- F : Graveleux latéritique naturel 20 cm

Exemple 2

Trafic de 600 UPV/J. On veut que la route dure 10 ans. On estime que la proportion des poids lourds est du tiers des véhicules. Taux de croissance : 10%. CBR du sol support 16.

Dimensionner la chaussée.

Solution

$$T = 1/3 \times 600 = 200$$

$$i = 10\%$$

$$N = 365 \times 200 \times \left(\frac{(1 + 0,1)^{10} - 1}{0,1} \right) = 1,163 \times 10^6 \text{ PLC}$$

$$N = 1,163 \times 10^6 \quad P_{LC} \Rightarrow T_2$$

CBR = 16 \Rightarrow classe de portance S₄.

Revêtement 4E ou T.

B : Graveleux lat. nat. 15 cm

F : Graveleux lat. nat. 20 cm

* **La croissance linéaire ou arithmétique**, où le trafic augmente d'un volume constant tous les ans.

Pour l'année n, on a alors :

$$T = t_0 * (1 + n*r) \quad N = 365 * A * T * (1+n)^n * \left(1 + \frac{n*r}{2}\right)$$

EXERCICE

Reprendre les exemples 1 et 2 en utilisant le taux de croissance arithmétique.

TRAVAUX DIRIGES

Le comptage routier de la campagne 1999/2000 d'une route reliant deux points A et B a donné le trafic dans les deux sens. T = 5000 uvp/j.

L'axe AB est subdivisé en deux tronçons : le tronçon AC ayant une plate forme de CBR = 16 et le deuxième de CBR = 28

Le taux d'accroissement des véhicules est de 7% et le taux de poids lourds est estimé à 15%. La durée de vie du projet est de 20 ans.

Dimensionner la chaussée de l'axe AB sachant que :

1- la mise en service de la route aura lieu à l'année 2000

2- la mise en service aura lieu à l'an 2005.

Utilisez les deux types de croissance et tirez une conclusion

L'hypothèse suivante est faite :

La route AB possède une plate forme de CBR 3 et vous disposez d'une bonne quantité de matériaux dans un emprunt pas loin de votre axe de la route. Le CBR de cet emprunt est de 16.

Quelle solution proposerez-vous ? Dimensionnez la chaussée

OBJECTIF PEDAGOGIQUE :

A la fin des deux années scolaires, l'élève devra être capable de concevoir un petit projet de route mais aussi savoir prendre toutes les dispositions pour un entretien optimal des routes revêtues ou non.

3.8 Entretien routier.

Définition

L'entretien routier est l'ensemble des actions entreprises pour maintenir la qualité de la route et de ses équipements afin d'assurer aux usagers des conditions de sécurité et de confort définies.

Le domaine de l'entretien à réaliser sur une route concerne la chaussée, les dépendances, les ouvrages d'art, les équipements de sécurité et de signalisation.

L'entretien routier se subdivise en *entretien courant* et en *entretien périodique*.

LES DIFFERENTS TYPES D'INTERVENTION SUR ROUTES BITUMÉES

L'entretien courant

Ensemble des activités curatives réalisées tout au long de l'année pour traiter des dégradations ponctuelles que l'on peut classer en quatre familles :

- Les déformations : affaissements, flaches, ornières ;
- Les fissures : fissures longitudinales et transversales, faïençage ;
- Les arrachements : nids de poule, pelade, plumage ;
- Les remontées de liant : ressuage.

Les travaux d'entretien courant comportent :

- **Pour la chaussée :**
 - Les purges ponctuelles ou réfection localisée,
 - Le traitement des nids de poule,
 - Le colmatage des fissures,
 - Le déflachage et le reprofilage,
 - Le rabotage des bourrelets,
 - Le sablage dans les zones de ressuage,
 - L'imperméabilisation par un enduit superficiel,
 - Le rechargement en enrobé,
 - Le drainage des zones de remontées d'eau.
- **Pour les talus :**
 - Coupe des herbes et des arbustes,
 - Réparation des dégradations dues à l'érosion,
 - Réparation des éboulements.
- **Pour les fossés et les caniveaux :**
 - Dégagement et nettoyage,
 - Reprofilage,
 - Réalignement des caniveaux,
 - Réparation des dégâts causés par l'érosion,
 - Curage et réfection des bouches et des regards.
- **Pour les équipements de sécurité et de signalisation :**
 - Nettoyage des panneaux sales et couverts de poussière,
 - Peinture des panneaux altérés ou écaillés,
 - Remise en place des panneaux déboulonnés,
 - Remise en place des glissières de sécurité,
 - Refaire le marquage de la chaussée,
 - Remise en place des panneaux illisibles ou manquants,
 - Remise en place ou réfection des bornes kilométriques.

Ces activités concernent également les dépendances de la route.

L'entretien périodique

La démarche proposée doit permettre, à partir des données recueillies antérieurement (mesures par les appareils à grand rendement, inspections visuelles), de déterminer les travaux d'entretien souhaitables.

Telle est la définition que le dictionnaire de la route donne de l'entretien périodique.

Il est évident que la définition ci-dessus du dictionnaire de la route ne colle pas avec ce qui se fait chez nous.

Faute de financement ou de suivi, les interventions arrivent souvent trop tard. Le renforcement préventif de chaussée ne se pratique presque jamais au Cameroun.

Deux phases sont distinguées dans la démarche :

- phase 1 : établissement du diagnostic ;
- phase 2 : définition du programme de travaux.

3.8.1 L'entretien des routes revêtues

Les facteurs générateurs des dégradations

- Les facteurs climatiques
- La qualité de la plateforme
- La qualité des matériaux
- La qualité de mise en œuvre
- La conception de la route
- Le trafic

Les facteurs climatiques

De tous les facteurs qui dégradent la route, l'eau est sans aucun doute le plus importante.

- Nuit à la portance de la plate-forme et des couches en matériaux sensibles à l'eau,
- Provoque le désenrobage des granulats,
- Engendre le phénomène d'érosion,
- Favorise la végétation.

Il est important de surveiller la route pendant la pluie.

La qualité de la plateforme

Le sol qui constitue la plate-forme doit être aussi stable que possible dans la limite de la variation de la teneur en eau.

Les sols sujets à un gonflement et à des retraites importants doivent être évités.

La qualité des matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans le corps de chaussée doivent satisfaire les prescriptions exigées dans le cahier de charges.

Pour un enduit superficiel par exemple, les granulats doivent respecter les valeurs limites fixées pour la granulométrie, la dureté, la propreté et la forme.

La qualité de mise en œuvre des matériaux

La durée de vie d'une chaussée sera écourtée dans les cas suivants :

- Compactage insuffisant,
- Ségrégation des enrobés ou de la grave concassée,
- Dosages en liant non respectés,
- Températures de mise en œuvre trop basses,
- Mauvaise exploitation des emprunts,
- Mise en œuvre par temps de pluie,
- Etc.

Le trafic

Après l'eau, c'est le trafic qui est le facteur le plus agressif pour la route. Il entraîne :

- Le polissage des granulats de la couche de roulement,
- Le frottement intergranulaire dans le corps de chaussée (production fines),
- L'apparition des fissures longitudinales et transversales dans la couche de roulement,
- La formation des ornières à certains points.

Les différents types de dégradations des routes revêtues

Les différents types de dégradations des routes revêtues

Les dégradations des routes revêtues peuvent être regroupées de la façon suivante :

- Les déformations
- Les fissures
- Les arrachements
- Les remontées
- Les dégradations non classées

Il faut ajouter également les dégradations concernant les dépendances de la chaussée.

Les déformations

La famille des déformations se compose de :

- Orniéage à grand rayon,
- Orniéage à petit rayon,
- Flache,
- Affaissement,
- Bourrelet longitudinal
- Orniéage à grand rayon,
- Orniéage à petit rayon,
- Flache,
- Affaissement,
- Bourrelet longitudinal

L'orniéage à grand rayon

- Déformation transversale apparaissant sous le passage des roues et intéressant l'ensemble du corps de chaussée,
- Causée par :
 - Tassement des couches inférieures,
 - Fatigue de la chaussée,
 - Défaut de compactage.
- Evolution possible :
 - Augmentation de la profondeur,
 - Apparition d'autres dégradations.

L'ornière à petit rayon

- Déformation transversale apparaissant dans les traces des roues et intéressant la couche de roulement.
- Causes possibles :
 - Fluage du béton bitumineux surcompacté,
 - Utilisation d'un bitume mou.
- Evolution possible :
 - Formation des bourrelets
 - Apparition d'autres dégradations.

Les ornières

Évolution

- Aggravation des déformations sous l'effet de la circulation
- Destruction progressive de la chaussée

Remèdes:

- Ornières de faible ampleur: rebouchage
- Ornières profondes: réfection localisée du corps de chaussée

L'entretien périodique pratiqué dans la plupart des pays tropicaux comprend :

- La réfection générale de la signalisation horizontale,
- La remise en forme générale des accotements.
- La réalisation d'un enduit superficiel,

- Le rechargement par un tapis d'enrobé,
- Le renforcement, plus ou moins lourd, qui est la remise en état ou l'accroissement de la capacité portante d'une chaussée par une nouvelle couche de base et une nouvelle couche de roulement,
- La reconstruction avec purges locales ou remise en état de l'ancienne chaussée utilisée comme fondation de la nouvelle structure,
- Le retraitement, qui est une reconstruction réutilisant, en les améliorant, les produits obtenus après défonçage de l'ancienne chaussée.
- La réalisation d'un enduit superficiel,
- Le rechargement par un tapis d'enrobé,
- Le renforcement, plus ou moins lourd, qui est la remise en état ou l'accroissement de la capacité portante d'une chaussée par une nouvelle couche de base et une nouvelle couche de roulement,
- La reconstruction avec purges locales ou remise en état de l'ancienne chaussée utilisée comme fondation de la nouvelle structure,
- Le retraitement, qui est une reconstruction réutilisant, en les améliorant, les produits obtenus après défonçage de l'ancienne chaussée.

3.8.2 L'entretien des routes en terre

Définitions de la "route non revêtue" ou "route en terre".

Ces termes désignent :

-- **La piste naturelle** : la circulation se fait le à même sol, et suit le tracé le moins mauvais ouvert par les véhicules précédents. Il n'y a pas de chaussée véritable, pas d'aménagement.

-- **La piste naturelle améliorée** : par exemple quelques ouvrages de franchissement et des travaux d'assainissements y ont été réalisés. C'est parfois le cas des pistes agricoles.

-- **La route élaborée non revêtue** : elle est capable d'assurer une circulation permanente dans les conditions décentes ; c'est-à-dire le confort, la sécurité, la vitesse de circulation sont acceptables et la praticabilité n'est interrompue qu'exceptionnellement. C'est le cas des routes prioritaires qui sont régulièrement entretenues.

Les agents de dégradation d'une route en terre.

Les plus prépondérants, dans l'ordre d'importance sont :

- **l'eau** : combinée au trafic ou non elle détruit la chaussée par érosion et par réduction de la portance du sol ; une seule pluie orageuse peut emporter des ouvrages de franchissement, raviner la chaussée, faire tomber des arbres sur celle-ci, etc.
- **le trafic** : elle contribue au départ des matériaux de la chaussée et favorise ainsi la formation des dégradations causées par l'eau,
- **la nature** (comme on dit, elle revient au galop !) : elle peut obstruer les rigoles, favorisant ainsi l'arrivée de l'eau sur la route, elle peut aussi accentuer les effets négatifs de l'eau sur la route et/ou ses dépendances.

L'entretien

Il est identique à l'entretien de routes revêtues, la différence fondamentale étant au niveau du revêtement. Il y a tout de même des spécificités sur une route en terre, du fait que sa couche de roulement qui n'est pas revêtue :

1. L'usure de la couche de roulement est plus forte et plus rapide du fait de l'action combinée du trafic et de l'eau ;
2. Les travaux sur la chaussée (reprofilage, compactage, etc.) ne peuvent se faire pendant la pluie : il faut donc absolument les programmer pendant la saison sèche.
3. Autant que faire se peut, il faut revenir assez souvent sur certaines tâches, afin de garder un niveau de service acceptable.

Les techniques d'auscultation des chaussées

Les techniques d'auscultation comprennent trois phases qui sont :

- Mesure de la portance de la chaussée (déflexions, etc.)
- Observation de l'état de surface (relevé de dégradations, mesure de l'uni, etc.)
- Observations internes de la chaussée (sondages et carottages, appréciation du sol support, etc.)
 - La portance de la chaussée s'exprime par la valeur de la déflexion.
 - Trois méthodes :
 - La poutre Benkelman
 - Le déflectographe Lacroix du LCPC
 - Le curviamètre du CEBTP
 - La mesure de la portance se fera pendant la saison la plus défavorable.
 - L'exploitation des mesures de déflexions permet :
 - De partager l'itinéraire en sections homogènes,
 - De déterminer les points singuliers à considérer spécialement,
 - D'implanter judicieusement les sondages.
 - L'observation de l'état de surface comporte :
 - Le relevé des dégradations de la chaussée et de ses dépendances,
 - Le relevé de tout autre renseignement utile (géologie, drainage, environnement, etc.)
 - L'implantation des sondages, des mesures du profil en travers, etc. en fonction du déflectogramme se fait au cours de la visite.
 - Le relevé des dégradations se fait à l'aide des moyens suivants :
 - A pied,
 - Par le Gerpho,
 - Par l'Axlor.
 - La mesure de l'uni se fait à l'aide du Bump Integrator ou de l'Axlor.
 - L'analyseur du profil en long (APL) permet d'étudier l'uni longitudinal.
 - La mesure du profil en travers se fait avec la règle de 3 m ou à l'aide du transversoprofilographe.

L'observation interne de la chaussée est rendue possible par l'exécution des sondages géotechniques. Ces sondages comprennent essentiellement le creusement des puits ainsi que la réalisation des tarières avec prélèvement d'échantillons pour essais de laboratoire.

Par les sondages géotechniques suivis des analyses de laboratoire, on peut avoir les renseignements suivants :

- L'épaisseur des différentes couches de chaussée,
- La nature des matériaux utilisés dans les différentes couches,
- La teneur en eau sous la chaussée,
- Les caractéristiques des matériaux des différentes couches de chaussée et de la plate-forme
 - L'ensemble de tous les renseignements recueillis est regroupé dans un seul document appelé "Schéma itinéraire".

Le schéma itinéraire comprend les éléments suivants :

- Le déflectogramme,
- Les localités, carrefours, traversées et le trafic,
- L'état visuel de la chaussée, les derniers travaux d'entretien, la couche atteinte par les dégradations, etc.

- Les indications concernant la largeur de la chaussée et des accotements, l'environnement, l'assainissement, etc.
- La structure théorique de la chaussée, les coupes des sondages, les caractéristiques d'identification du sol support, etc.
- Etc.

Il est conseillé d'utiliser un modèle existant du schéma itinéraire.

Le schéma itinéraire comprend les éléments suivants :

- Le déflectogramme,
- Les localités, carrefours, traversées et le trafic,
- L'état visuel de la chaussée, les derniers travaux d'entretien, la couche atteinte par les dégradations, etc.
- Les indications concernant la largeur de la chaussée et des accotements, l'environnement, l'assainissement, etc.
- La structure théorique de la chaussée, les coupes des sondages, les caractéristiques d'identification du sol support, etc.
- Etc.

Il est conseillé d'utiliser un modèle existant du schéma itinéraire.

Une fois, le schéma itinéraire établi, il convient d'examiner la cohérence entre les diverses informations recueillies et essentiellement entre :

- La déflexion,
- L'état de surface,
- La structure de la chaussée existante.

Les incertitudes seront levées par une nouvelle visite sur le terrain ou par l'exécution des sondages complémentaires.

L'analyse du déflectogramme permet de diviser l'itinéraire en sections homogènes sur lesquelles on calcule la déflexion caractéristique D90.

Sur les sections homogènes définies à partir du déflectogramme, on analyse les déformations et les fissures. On calcule notamment le pourcentage de linéaire atteint d'une part par les déformations et d'autre part par les fissures.

Pour quantifier la qualité apparente de la section, on lui attribue une note qui la classe dans l'une des catégories suivantes :

- Moins de 10 % de dégradations,
- 10 à 50 % de dégradations,
- Plus de 50 % de dégradations.

Par comparaison des deux types de dégradations, fissures et déformations, on obtient une grille qui permet de chiffrer la qualité apparente de cette section de la chaussée.

Fissures	1	2	3
Déformations	1	2	3
1	1	2	3
2	3	4	5
3	5	6	7

BON	MEDIOCRE 2-3	MAUVAIS 4-5	TRES MAUVAIS 6-7	ETAT APPARENT
peu ou pas fissuré	fissure mais non déformé	fissuré et déformé	très déformé et fissuré	

On constate que cette méthode d'analyse ne tient pas compte des défauts propres à la couche de roulement qui sont des:

- Arrachements,
- Peignages,
- Ressuages,
- Fluages,
- Etc.
- Ces déformations font l'objet de solutions de remise en état spécifique.

L'état apparent de la section étant défini, on passe maintenant à l'analyse de la portance à l'aide des résultats des mesures des déflexions.

La déflexion caractéristique D_c de la section est calculée par la relation :

$$D_c = m + 1,3\sigma$$

σ est l'écart type et m la moyenne des déflexions sur la section homogène.

- Cette comparaison est schématisée dans la représentation suivante :

Déflexions	Faible	d1		d2		Forte
Portance	Élevée			Médiocre		Faible
Qualité des structures	Bonne			Douteuse		Mauvaise

LES MATERIAUX ROUTIERS AU CAMEROUN

- Les matériaux naturels
- Les graves concassées
- Les matériaux traités
- Les enrobés

Les matériaux naturels

- Les graveleux latéritiques
- Les arènes granitiques
- Les scories volcaniques
- Les pouzzolanes
- Les graves quartziques
- Les sables argileux

Les graveleux latéritiques

Ils sont caractérisés par :

- 1) La dimension du plus gros élément,
- 2) Le pourcentage des fines,
- 3) L'indice de plasticité,
- 4) Le CBR à 95% de l'OPM.

On en trouve un peu partout dans le pays.

Ils sont surtout utilisés en couche de fondation

Les arènes granitiques

On les rencontre dans le Nord et l'Extrême-Nord du Cameroun.

Les principales caractéristiques sont:

Dmax : 6mm à 30mm

Pourcentage des fines : 10 à 30%

IP : 12 à 20

CBR à 95% OPM: 20 à 40

On peut les utiliser tout au plus à la couche de fondation.

Les scories volcaniques et les pouzzolanes

Ce sont des matériaux volcaniques qu'on rencontre au Sud-Ouest, à l'Ouest et au Nord-Ouest.

Granularité très variable : 0/20 à 0/300

Pourcentage de fines très faible < 10 %

Non plastiques

Granulométrie souvent uniforme

Nécessite un criblage

Densité maximale : 1,7 à 2,1 t/m³

CBR varie de 20 à 40

Mise en œuvre difficile

Les graves quartzeuses

On les rencontre également dans la partie septentrionale du pays.

Elles présentent les caractéristiques moyennes suivantes :

Dmax : 20 à 60 mm

Pourcentage des fines : 10 à 30%

IP : 18 à 32

CBR à 95 % OPM : 20 à 50.

Les graves concasses

Les graveleux latéritiques sont souvent argileux, trop plastiques avec un pourcentage de fines élevé. On lui ajoute souvent un certain pourcentage de concassé pour améliorer ses caractéristiques.

Le pourcentage optimal à incorporer est déterminé au laboratoire et se situe autour de 30%.

Le graveleux ainsi amélioré peut être utilisé en couche de base des chaussées à trafic modéré.

Les graveleux latéritiques ciment

Dans la littérature, on distingue les graveleux latéritiques améliorés au ciment des graveleux latéritiques stabilisés au ciment.

Au Cameroun, on s'est souvent situé entre les deux.

Les graveleux sont traités à une teneur en ciment comprise entre 3% et 4,5%. La chaussée a gardé son caractère souple

Les graveleux latéritiques ciment

La formulation consistait à déterminer la teneur en ciment qui conférait au mélange :

Un CBR à 95% OPM après 3 jours à l'air et 4 jours d'immersion de 160,

Une résistance à la compression simple après 7 jours de cure à l'air comprise entre 18 et 30 bars,

Une résistance à la compression simple après 3 jours de cure à l'air et 4 jours d'immersion au moins égale à 5 bars,

Une résistance à la traction brésilienne à l'air au moins égale à 3 bars.

Le mélange se fait soit à la centrale soit en place.

Le compactage doit se faire avant la prise de ciment à une teneur en eau voisine de l'optimum.

Le compactage est contrôlé par la mesure des densités.

On n'a pas noté de déboires au Cameroun.

Les enrobés

Les graves bitume

Granularité 0/31,5, 0/20 et aujourd'hui 0/14,

Granulat de Los Angeles < 35

Bitume 40/50, 60/70 ou 80/100 à une teneur variant entre 3,5 à 5 %

Formulation à partir de l'essai Duriez qui doit donner une résistance en compression à l'air de > 30 et un rapport $R'c/Rc > 0,6$ pour une compacité Duriez comprise entre 88 à 95 %.

Les graves émulsion

Granularité 0/31,5, 0/20 et aujourd'hui 0/14,

Granulat de Los Angeles < 35

Emulsion cationique à rupture lente : 3 à 4,5 %

Formulation à partir de l'essai Duriez.

Les bétons bitumineux

Granularité 0/10, 0/12,5 et 0/14,

Granulat de Los Angeles < 35

Bitume 40/50, 60/70 ou 80/100 à une teneur variant entre 4,5 à 7 %

Formulation à partir de l'essai Duriez qui doit donner une résistance en compression à l'air de > 60 bars et un rapport $R'c/Rc > 0,75$ pour une compacité Duriez comprise entre 92 à 94 %.

Les enrobés hydrocarbonés

Les granulats pour enrobés

Les principaux liants hydrocarbonés

Les principaux essais sur liants hydrocarbonés

La formulation et la fabrication des enrobés

Le compactage des enrobés

Exemples d'enrobés hydrocarbonés

Les enduits superficiels

Les granulats pour enrobés

Généralités

Les caractéristiques intrinsèques des granulats

Les caractéristiques de fabrication des granulats

L'agrément des carrières

Le contrôle de fabrication des granulats

Granulat

Granulométrie

Granularité

Fuseaux granulométriques Sable

Filler

Fines

Fines d'apport

Fines apportées par les granulats

Eléments fins

Classe granulaire d/D

Grave

Gravillon

Les fillers 0/D où $D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm ;

Les sablons 0/D où $D \leq 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm ;

Les sables 0/D où $1 < D \leq 6,3$ mm ;

Les graves 0/D où $D > 6,3$ mm ;

Les gravillons d/D où $d \geq 1$ et $D \leq 125$ mm ;

Les ballasts d/D où $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm.

Les caractéristiques intrinsèques des granulats

La résistance au choc mesurée par l'essai Los Angelès (LA),

La résistance à la fragmentation par choc mesurée par l'essai de fragmentation dynamique,

La résistance à l'usure par frottement en présence d'eau mesurée par l'essai Micro-Deval (MDE).

La résistance au polissage caractérisée par le coefficient de polissage accéléré (CPA),

Le poids spécifique,

L'adhésivité au liant,

L'absorption d'eau.

Les caractéristiques de fabrication des granulats

La granularité déterminée par la granulométrie ou l'analyse granulométrique,

La forme mesurée par le coefficient d'aplatissement,

La propreté superficielle des gravillons,

La propreté des sables mesurée par l'équivalent de sable ou l'essai au bleu de méthylène.

L'agrément des carrières

Le dossier d'agrément doit comprendre :

Un plan de situation indiquant :

Le point kilométrique

La distance par rapport à l'axe de la route

La voie d'accès à la carrière

Les résultats des essais suivants :

Essai Los Angelès

Essai Micro Deval

Essai d'adhésivité

Essai de poids spécifique

Le contrôle de fabrication des granulats

L'autocontrôle de l'entreprise se passe à la carrière et se base sur les essais suivants :

L'analyse granulométrique

L'essai de propreté

La mesure du coefficient d'aplatissement

Les dérives seront notées et corrigées aussitôt.

Les courbes granulométriques doivent se situer à l'intérieur du fuseau de fabrication défini dans le CCTP.

En cas de production de beaucoup de fines, prévoir un dispositif de lavage avant stockage.

La mission de contrôle doit s'intéresser au contrôle de fabrication en carrière.

Les fuseaux granulométriques

Le fuseau de spécification qui contient le fuseau de régularité,

Le fuseau de régularité qui contient le fuseau de fabrication,

Le fuseau de fabrication.

Lors du contrôle des travaux, on se situera dans le fuseau de spécification donné dans le CCTP des travaux.

Les principaux liants hydrocarbonés

Les bitumes purs

Les bitumes fluidifiés

Les bitumes fluxés

Les bitumes fluxés mixtes

Les goudrons

Les bitumes goudron

Les émulsions de bitume
Les bitumes purs
Obtenus par raffinage de bruts de pétrole
Ne comportent aucun ajout
Mis en œuvre à chaud
Température de mise en œuvre >130°C

Au Cameroun, on a souvent utilisé les bitumes 40/50, 60/70 et 80/100.

Les bitumes fluidifiés
Bitumes purs + produits légers provenant de la distillation du pétrole
Aussi appelés cut-back
Température d'utilisation : 100 à 110°C

Les bitumes fluidifiés les plus utilisés au Cameroun sont : le 0/1 et le 400/600.

Autres bitumes

Bitumes fluxés : bitumes purs + produits provenant de la distillation du goudron de houille.

Bitumes fluxés mixtes : bitumes purs + diluant de pétrole ($\geq 50\%$) et diluant du goudron houille.

Goudron : provient de la distillation de la houille.

Bitumes-goudron : bitume pur ($\geq 50\%$) + goudron.

Ces produits ne sont pas utilisés au Cameroun.

Les émulsions de bitumes

Elles sont obtenues par la mise en suspension stable de particules très fines de bitume dans l'eau.

Les liants de base peuvent être soit des bitumes purs, soit des bitumes fluidifiés ou fluxés.
Les émulsions de bitumes sont fabriquées en usine, en dispersant le liant dans l'eau par énergie mécanique et en présence d'un émulsifiant.

Les graves concassées

Il s'agit des graves 0/D entièrement concassées. Ils ont été abondamment utilisés en couche de base des chaussées dans les années 80. Les granularités 0/31,5 et 0/40 étaient souvent utilisées.

Ils doivent avoir une dureté Los Angelès au plus égal à 35, mais on a toléré des Los Angelès atteignant des valeurs de 40.

Les courbes granulométriques doivent entrer dans le fuseau de spécification.

Barrières de pluie

La route en terre, du fait qu'elle n'est pas revêtue, est essentiellement vulnérable en temps de pluie. Elle nécessite une protection particulière pour lui permettre d'offrir un niveau de service minimum acceptable pendant sa durée de vie estimée à 5 ans maximum. L'une des mesures de protection consiste à ériger des barrières de pluie sur les routes en terre.

Les barrières de pluies sont des dispositifs de protection des routes en terre dont la dégradation peut être causée par la circulation des véhicules en temps de pluie. Elles sont des barrières en bois ou surtout en acier disposées transversalement sur la chaussée. Voir schéma ci-dessous.

Les barrières de pluie existent sur presque toutes les routes en terre du pays, soit environ 1044 barrières pour plus de 45000 km de routes. La localisation et les modalités de fonctionnement des barrières de pluie ont été réglementées par un arrêté conjoint du Ministre des Travaux publics et celui des Transport (Arrêté conjoint No 2528/MINTP/MINJP du 3 août 1999 dont une copie est donnée ci-dessous). En principe les véhicules dont le poids total en charge dépasse 3,5 tonnes et/ou ayant une capacité d'au moins 12 places assises ne sont pas autorisés à circuler pendant les pluies et 2 à 4 heures de bon temps après la fin des précipitations. Actuellement au Cameroun, la gestion des barrières de pluie constitue la deuxième phase des contrats d'entretien des routes en terre attribués aux entreprises, dans le cadre des marchés annuels et pluriannuels. Elle intervient dès la saison des pluies et s'arrête dès le début de la saison sèche.

La barrière de pluie est très importante : bien gardée et respectée par les usagers, elle permet de sécuriser la route en terre par rapport à l'action combinée des pluies et de la circulation des véhicules. Le cas échéants, les dégâts causés par les véhicules circulant sur une route en terre après la pluie sont très importants.

Un véhicule poids lourd a forcé une barrière de pluie pendant la pluie détruisant non seulement la barrière mais aussi la couche de roulement sur 25 km. De temps en temps ce véhicule dérapait et se retrouvait dans les fossés qui ont aussi été bouchés par endroit. Conséquence : l'eau de ruissellement revenait sur la chaussée et créait des ravines. Les travaux de réhabilitation de cette route avaient coûté 1 125 000 000F CFA. Ce seul acte d'incivisme a causé des dégâts dont les réparations ont coûté 187 500 000F CFA l'année suivante.

Une seule averse tropicale peut causer des dégâts incommensurables sur une route en terre.; si à cela s'ajoute les effets dégradations dues à la circulation pendant ou peu après les pluies alors quel que soit l'investissement consenti sur une route non revêtue, elle ne tiendra pas même pour un jour.

Pour que les barrières de pluie soient bien gardées et respectées par tous, il faut : sensibiliser tous les usagers de la route (les riverains, les conducteurs, les propriétaires des véhicules, etc.) sur l'importance de la route et du respect des barrières de pluie; prendre des mesures dissuasives et répressives suffisamment rigoureuses contre les contrevenants à la loi et à la réglementation.

Contrôle de la charge par essieu :

Au Cameroun le contrôle est fait uniquement sur les routes revêtues. La charge maximale sur essieu est de 13 tonnes ; les camions qui dépassent ce tonnage par essieu sont pénalisés. Les stations de pesage et de contrôle se trouvent sur certains axes lourds du pays. Les équipements de ces stations coûtent chers, c'est probablement pourquoi on les trouve pas encore sur tous les axes.

Notions générales de sécurité routière

La route est un moyen par lequel passent les véhicules, les hommes, les bêtes et les biens matériels. La sécurité routière vise à sécuriser la route elle-même et tout ce qui y passe.

Les accidents de la route ont une origine triple : la route, les véhicules, les conducteurs.
L'état de la route : une route mal entretenue (chaussée dégradée ou envahie par la végétation, virages non débroussaillés, etc.) sont des sources d'accidents ;
L'état du véhicule : il est évident qu'un véhicule ayant des défaillances mécaniques causera des accidents ;
Le comportement du conducteur : un conducteur fatigué, en état d'ébriété, somnolent ou même distrait, pratiquant une vitesse excessive, ne respectant pas les règles élémentaires de la circulation et de la signalisation routières expose le véhicule et les usagers aux accidents. Au Cameroun, 70% des accidents sont dus aux comportements des conducteurs de véhicules.

Sur le plan national l'insécurité routière aggrave les problèmes du secteur des transports et prive l'économie de précieuses ressources humaines et matérielles nécessaires à son épanouissement. Sur la plan régional, elle compromet les chances de développement des pays voisins frères, surtout ceux qui ne disposent pas de façade maritime et dont le fret transite par le territoire camerounais.

Au cours des 10 dernières années, on a dénombré 17000 accidents de la route chaque année faisant un millier de morts et 9000 blessés graves. Les dégâts matériels et les victimes enregistrés représentent des pertes dont le coût est estimé à 22 (vingt deux) milliards de franc CFA environ.

Pour faire face à cette situation, le gouvernement a engagé la lutte pour une meilleure sécurité routière. Les mesures prises à cet effet concernent à la fois le conducteur, le véhicule et la route.

La politique de sécurité routière au Cameroun :

Dès 1983, un plan d'action en matière de sécurité routière a été défini. Ce plan d'action s'articulait autour de trois étapes :

le diagnostic ;

les réformes ;

l'action mobilisatrice.

En 1994, la phase de diagnostic a permis de définir les responsabilités et les structures en charge de la sécurité, de mettre en exergue les bases d'une bonne observation des comportements des usagers de la route et de mettre en place les premiers éléments de la réglementation en la matière (formation, banque de données d'accidents de la route, homologation et contrôle technique des véhicules, signalisation routière, etc.).

De 1994 à l'an 2000, le Ministère des Transports a engagé une série de réformes . Sur le plan organisationnel, deux structures ont été créés :

1°/ une sous-direction de la prévention et de la sécurité routières et

2°) un comité national de sécurité routière comprenant toutes les administrations, la société civile et les organismes socioprofessionnels concernés par les problèmes des accidents de la route. Sur le plan réglementaire, la législation sur la protection du patrimoine routier ainsi que la réforme du permis de conduire et des auto-écoles ont été élaborées.

De 2000 à 2004, la phase opérationnelle a été engagée ; elle a consisté à lancer des campagnes permanentes de sensibilisation et des réunions de concertation avec les transporteurs.

Les mesures de sécurité routière :

Conformément à la loi No 96/07 du 08 avril 1996 portant protection du patrimoine national, l'usage des axes routiers ouverts à la circulation est réservé aux conducteurs de véhicules déclarés conformes aux textes en vigueur, notamment ceux portant sur les caractéristiques relatifs aux poids, à la distance entre les essieux et au gabarit.

Les opérations sur le terrain comprennent le pesage routier, les barrières de pluie et les barrières ponctuelles. Au cours de l'année 2000, il y a eu une réforme du permis de conduire et des auto-écoles.

Quelques sanctions des infractions à la sécurité routière :

Tout permis de conduire peut être saisi pour motifs de non respect des précautions concernant le chargement des véhicules et des prescriptions techniques de ceux affectés au transport des marchandises...

Tout véhicule mis en circulation en violation des dispositions relatives à l'homologation est immédiatement retiré de la circulation jusqu'à l'accomplissement des formalités applicables au véhicule concerné. Le montant de l'amende prévu pour le défaut de l'homologation est de 250 000F CFA. Celui relatif au dépassement de gabarit est de 500 000 F CFA suivi du retrait de la circulation jusqu'à la correction, aux frais du propriétaire, des éléments non conformes.

3.9 Les carrefours.

3.10 La signalisation routière.

Signalisation permanente et temporaire (horizontale et verticale)

3.5.1 But et généralités:

La signalisation routière permanente a pour but de renseigner l'automobiliste pour lui offrir le meilleur confort et la meilleure sécurité. On distingue :

la signalisation horizontale : ce sont les marquages sur chaussée revêtue (on n'en fait pas sur les routes non revêtues) ;

la signalisation verticale : elle comprend les panneaux, les bornes, les balises et les feux en zone urbaine.

La mise en place d'une signalisation verticale minimale tant sur une route en terre que sur une route revêtue est très importante ; mais cela a un coût. En plus du coût d'investissement, il y a le coût d'entretien. Le choix du genre de signalisation devra donc tenir compte de ces deux éléments.

3.22 La signalisation horizontale :

Le marquage doit être visible de jour et de nuit. La visibilité du jour est d'autant plus nette que le produit du marquage est blanc et celle de la nuit est obtenue par l'adjonction de microbilles de verre qui renvoient la lumière des feux de son véhicule au conducteur. Les produits de marquage se composent d'une partie minérale donnant la couleur et d'une partie organique assurant la cohésion de l'ensemble. On distingue 4 types de produits de marquage :

les peintures, habituellement à un composant, appliqués à froid ;

les enduits thermoplastiques appliqués à chaud ;

les enduits à deux composants appliqués à froid ;

les bandes préfabriquées coulées.

les formes de signalisation horizontale :

les lignes longitudinales :

continues infranchissables ;

discontinues axiales ou délimitation des voies ;

discontinue d'annonce d'une ligne continue ou de dissuasion (dépassement dangereux) ;

discontinue de bord de chaussée.

les lignes transversales continues (STOP) ou discontinues (CEDEZ LE PASSAGE) ;

les autres marques ;

pour passages de piétons ;

pour stationnement et autres.

les flèches de rabattement ou flèches directionnelles.

Les inscriptions BUS, STOP, etc.

le traitement des points où la visibilité est réduite :

Ce sont les virages, la présence d'un dos d'âne ou même la végétation. En ces points la circulation est dangereuse surtout en cas de dépassement.

Valeurs de la distance minimale D de la visibilité à partir de laquelle le marquage doit être effectué. Elles dépendent de la vitesse du véhicule dépassant et de celle des véhicules venant en sens inverse.

V85 (km/h)*	40	60	80	100	120
D (m)	40	90	160	250	360

Les valeurs de D correspondent à la vitesse qui n'est dépassée que par 15 % des véhicules.

Signalisation lumineuse

Signalisation de chantier

Dispositifs de sécurité :

3.51 Terminologie:

Les dispositifs de retenue sont ceux dont les angles probables de heurt sont inférieurs à 45°. Ils sont dits frontaux lorsque cet angle est compris entre 45° et 90°. Ils sont qualifiés de simples lorsqu'ils ne sont efficaces que d'un côté (accotement) et de doubles lorsqu'ils peuvent être percutés des deux côtés (terre-plein central). Ils sont dits souples lorsqu'ils se déforment sous le choc d'une voiture et conservent une déformation permanente. Ils sont rigides lorsqu'ils ne subissent ni déformation ni déplacement lors d'un choc.

On distingue deux types de dispositif de retenue :

les glissières de sécurité : elles retiennent les voitures dans de bonnes conditions de sécurité ;

les barrières de sécurité : elles sont capables de retenir les véhicules lourds. Voir figure ci-dessous.

3.11 Les carrefours

3.52 Glissières métalliques.

GESTION DU MATERIEL

Rôle du service du matériel

Le service du matériel a pour rôle la gestion efficace du matériel ; il s'occupe de l'entretien, du suivi, et il donne éventuellement un avis pour l'acquisition du nouveau matériel dans l'entreprise. Il permet une meilleure répartition du matériel en fonction des besoins et des disponibilités ; il peut fonctionner dans un système de location interne, louant les engins à un barème interne et tenant sa propre comptabilité. Il facilite l'évaluation de la rentabilité du matériel et le calcul du coût de ce dernier dans un travail donné.

Organisation générale

Il est préférable d'avoir un chef à la tête de ce service, que de le confier au service des travaux ou alors au service comptable. Un entretien minimum est nécessaire ⇒ un atelier, un magasin de pièces de rechange, des mécaniciens maison, un bureau pour le chef. Les réparations lourdes sont mieux faites par des services extérieurs spécialisés.

Composition du parc

La composition du parc du matériel dépend des moyens financiers de l'entreprise. Mais pour un chantier donné, il y a un matériel minimum sans lequel le travail ne peut être fait. Lorsque l'entreprise ne peut pas s'organiser pour avoir son parc de matériel elle se contentera de la location. Le matériel loué n'est pas neuf ; il faudra en tenir compte au moment de son acquisition et de son exploitation.

Choix, entretien et coût du matériel.

Le choix du matériel dépend :

- ⇒ la fois des moyens dont dispose l'entreprise ;
- ⇒ des travaux à effectuer ;
- ⇒ des modes opératoires ou d'exécution retenus pour les travaux.

Le matériel a besoin non seulement d'un bon entretien mais aussi de la surveillance afin de déceler les pannes prévisibles et de remplacer les organes avant leur usure complète et les immobilisations imprévues, longues et parfois très coûteuses .

Les engins des travaux publics sont très coûteux. Leur utilisation, leur location le sont tout aussi. Chaque engin doit avoir un carnet de bord qui sera tenu par le conducteur ; ce carnet portera :

- le kilométrage ;
- les travaux effectués sur l'engin,
- les pleins de carburant ;
- les vidanges. Le chef du service matériel, lui, doit se faire remettre ce carnet chaque semaine pour exploitation.

Bibliographie

D. Didier, N. Girard et autres, CHANTIER, matériel et matériaux, mise œuvre, normalisation. Nathan, Paris, 1999.

J. Linger, LES CHANTIERS, T2-les matériels d'équipement, de transport, les mat. spéciaux, installations de chantier, Eyrolles, Paris, 1971.

Hubert de Rochefort, Améliorez la sécurité et l'hygiène sur vos chantiers, collection Moniteur, 1982.

I. ETUDE D'UN PROJET ROUTIER

Pour l'étude d'un projet routier, lorsqu'on a les données de base suivantes :

- La vitesse de référence ;
- Les études géotechniques, en particulier le CBR du sol de plateforme ;
- Les études économiques ;
- Les études topographiques de la bande d'étude ;
- Le trafic annuel et son taux de croissance annuel ;
- Le nombre ou la proportion de poids lourds ;
- La charge maximale à l'essieu ;
- La durée de vie ;
- Eventuellement, l'origine et la fin du projet, les points de passage obligés ;
- La largeur de la chaussée ;
- L'année de mise en service de la route.

On suit les étapes suivantes :

- Faire le dimensionnement de la chaussée ;
- Définir et dessiner à l'échelle les profils en travers types du projet ;
- Recherche du tracé en plan : en fonction de la topographie du terrain, on trace une polygonale, puis on définit les courbes de raccordement et les alignements droits.
- Matérialiser les profils en travers courants sur le tracé en plan ;
- Relever ou calculer par interpolation les cotes du terrain naturel sur l'axe du tracé en plan à chaque profil ;
- Faire le profil en long du terrain naturel à l'échelle convenable ;
- Calculer et dessiner sur le profil en long précédent la ligne rouge (cotes du projet) ;
- Dessiner à l'échelle convenable les profils en travers courants ;
- Calculer les surfaces des profils en travers courants ;
- Calculer les cubatures ;
- Faire l'épure de Lalanne ;
- Eventuellement, faire l'étude de l'assainissement.

Le calcul des ouvrages d'art peut se faire dès la fin de l'étude du profil en long.