Chapitre.5 . Les devers

5.1.Choix du rayon des virages

Le choix du rayon des virages est dicté par le taux de dévers et le coefficient de frottement latéral entre les pneus et le revêtement. Toutefois ce choix doit permettre au minimum à un véhicule roulant à la vitesse de référence Vr de ne pas déraper.

Pour la stabilité du véhicule il faut :

$$R \geq \frac{V_r^2}{g(f_t + \delta)}$$

R : rayon du virage en mètre

f_t : coefficient de frottement transversal

δ : dévers

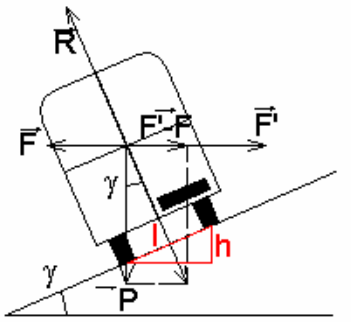
Le tableau II donne le dévers maximal à utiliser pour éviter les problèmes de glissement à faible vitesse si la chaussée est mouillée.

Le coefficient de frottement dépend de la vitesse et est donné par le tableau suivant :

V_r (km / h)	40	60	80	100	120
f_t	0.25	0.16	0.13	0.11	0.10

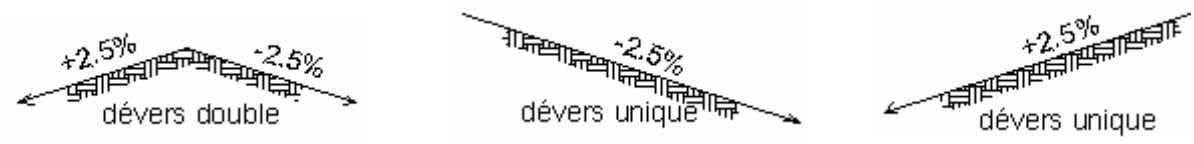
4.3 Courbes de raccordement

Un véhicule se déplaçant dans un virage, à la vitesse V est soumis à différentes forces (force d'inertie centrifuge, son poids, la réaction de la chaussée, force de frottement des roues de la voiture sur la chaussée).

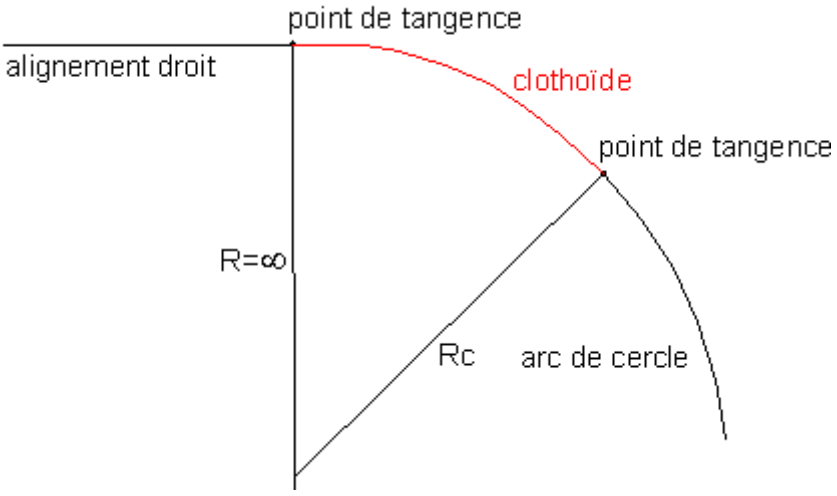


Pour limiter les risques de dérapage, il faut relever le virage de l'extérieur vers l'intérieur; c'est le dévers. D'une manière idéale, il devrait être calculé afin que la chaussée relevée soit perpendiculaire à la force composée du poids et de la force centrifuge.

Le véhicule passant d'un rayon d'une valeur infinie (la ligne droite) à un rayon de valeur finie, et d'une surface en toit à une surface en pente unique,



il faut faire un raccordement progressif. On intercale, entre l'alignement droit et la courbe circulaire, une courbe progressive intermédiaire afin de supprimer les deux caractères brusques.



Le raccordement des alignements droits et des courbes circulaires est nécessaire dans le tracé en plan et permet :

- D'assurer une bonne lisibilité de la route en annonçant les virages;
- à l'automobiliste de faire un braquage progressif;
- D'introduire progressivement le dévers à partir d'un profil en ligne droite en forme de toit.

Pour assurer ces trois conditions, on utilise souvent une courbe appelée Clothoide qui a comme principales propriétés :

1. une courbure $\frac{1}{R}$ qui est proportionnelle à l'abscisse curviligne L (origine du point de courbure nulle)
2. Si elle est parcourue à vitesse constante, la Clothoide correspond à la trajectoire d'un véhicule dont l'angle de braquage ω augmente régulièrement.

Une courbe de raccordement normal doit répondre à :

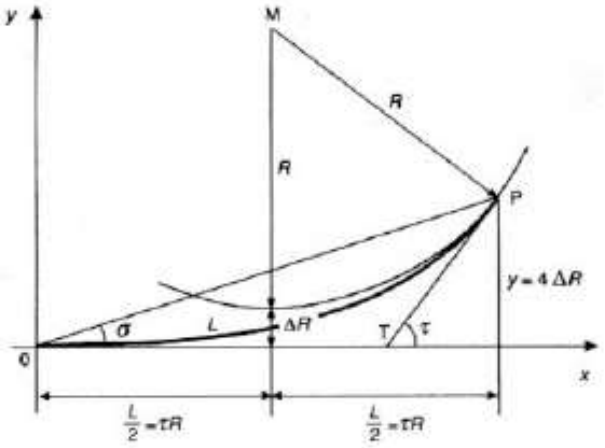
- Une longueur minimale de gauchissement : qui permet de tenir compte du fait que le route devait être normalement plane mais elle subit une torsion sur la courbe. Cette condition est satisfaite dés que la condition de confort dynamique l'est.
- Une longueur minimale de confort dynamique : pour tenir compte du changement du vecteur d'accélération entre l'alignement droit et le virage
- Une longueur minimale de confort optique : le tracé doit être satisfaisant du point de vue optique et esthétique. On ne doit pas avoir l'effet d'impression de cassure du tracé.

La longueur à prendre en compte en définitive est celle la plus grande des trois longueurs.

5.2.Equation de la clothoide

La clothoïde est entièrement définie par la donnée de la longueur de l'arc parcourue L et du paramètre de la clothoide A. La connaissance, à défaut de A, de l'angle de la tangente ou encore de changement de direction et de la longueur de l'arc parcourue L permet aussi de définir la clothoide.

L'équation de la clothoide est donnée par : $\mathbf{L \times R = A^2}$



$$\tau = \frac{L}{2R} = \frac{L^2}{2A^2} = \frac{A^2}{2R^2}$$

Si $\tau < 0{,}1$ rad :
$x = L$ à moins de 1/1000 près
$y = L^2/6R$ à moins de 1/1000 près
$\tau = 3\sigma$ à moins de 1/100000 près
$\Delta R = L^2/24R$

avec A paramètre tel que $A^2 = RL$
L longueur de la courbe de raccordement
R rayon minimal de courbure du virage
τ angle de changement de direction

Remarques:

1. La formule de la clothoide est obtenue à l'aide de considérations géométriques. Toutes les clothoides sont homothétiques Li = A x L

La clothoïde de base s'appelle clothoïde unité et son paramètre est égal à 1. Le rapport d'homothétie et le paramètre A, il est à la clothoïde ce que le rayon est au cercle.

2. Le dévers d'une chaussée doit être introduit dans le raccordement à courbure progressive il doit être réparti linéairement sur la largeur L, on le divise alors par la somme (d+d') pour obtenir la distance entre chaque position d'une valeur ronde du dévers.

Exemple: Si L = 52 m d =2,5 % d ' = 6 %

$$L' = \frac{52}{2.5 + 6} = 6.12\,\text{m}$$ avec L' le profil

Il existe des programmes de calcul informatiques qui permettent de calculer rapidement ces clothoïdes. Ce calcul peut aussi se faire à l'aide de tables. Ces tables donnent les valeurs des paramètres utiles à la construction de la clothoïde.

NB : 1. Toutes les courbes circulaires d'un rayon inférieur en plan au rayon non déversé doivent être doté de raccordement à courbure progressive.

Le tableau ci-dessous donne des valeurs arrondies minimales de L de clothoïde satisfaisant aux trois conditions. On pourra s'y référer et faire des interpolations si nécessaires.

Vr	R = rayon minimale absolu		R = rayon non déversé	
	R (m)	L (m)	R (m)	L (m)
40	40	55	400	70
60	120	85	600	35
80	240	110	900	105
100	425	135	1300	145
120	665	150	1800	200

Connaissant L, on peut utiliser les tables de clothoïde pour trouver les autres éléments;

2. Les courbes circulaires de rayon supérieur au rayon non déversé peuvent être dotées de clothoïde pour satisfaire à la condition de confort optique. Si Vr et R sont connus, on calcule $\frac{L}{R}$ et on se réfère aux tables de clothoïdes.

5.3. Introduction du dévers dans le raccordement

Au niveau des courbes, les véhicules sont soumis à une force qui les propulse vers l'extérieur. Pour vaincre cette force on introduit un dévers progressif le long de la courbe.

Si f est le coefficient de friction latérale des pneus et e le dévers en mètre / mètre, on définit le plein dévers par

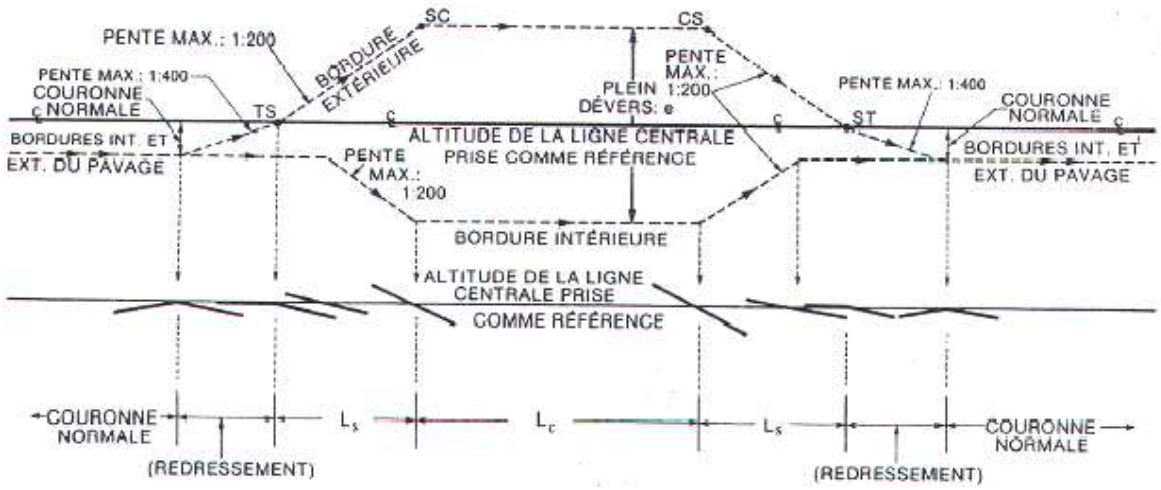
$$e = f - \frac{V^2}{127R}$$

E en %, V en m/s et R en m f obtenu à partir des tableaux

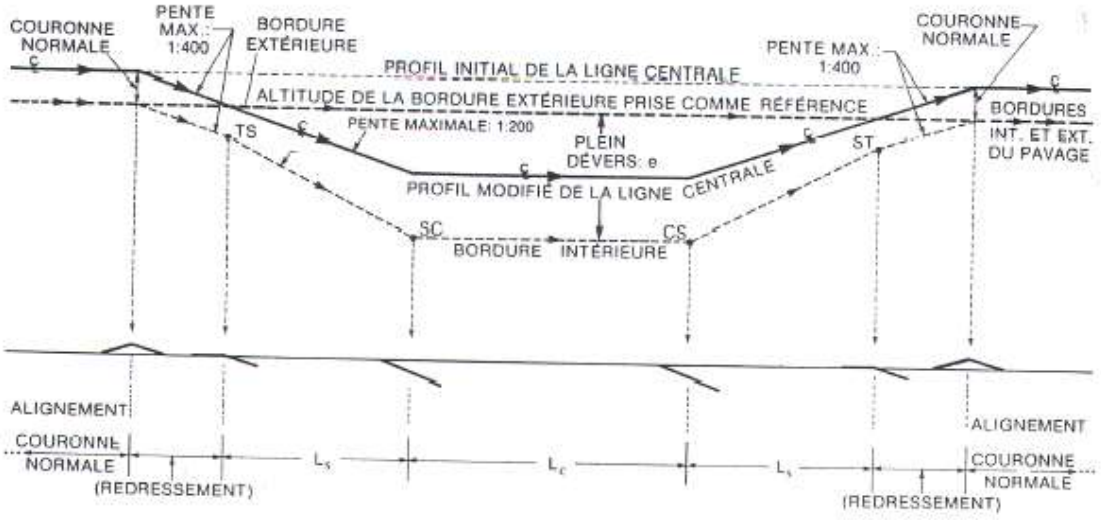
Pour le stabilité des véhicules, le plein devers ne doit pas dépasser 8 % : **e_{max} = 8 %**

La distribution du dévers se fait par la rotation du pavage. Selon le type de chaussée on a :

- Pour une route à deux voies, la rotation se fait autour de la ligne de centre. La demi-section extérieure à la courbe est d'abord amenée en prolongement de la demi-intérieure, puis toute la section tourne autour de la ligne de centre jusqu'à ce que le plein dévers soit atteint.



Parfois, pour des raisons de drainage, la rotation se fait autour d'un des bords du pavage mais très rarement.



- Pour une route à quatre voies séparées dont le terre-plein ne dépasse pas 3 m de largeur, toute la section est généralement amenée à plein dévers par rotation autour de la ligne centrale du terre-plein.
- Pour une route dont le terre-plein est plus large que 3m et en remblai par rapport à la route, chacune des routes unidirectionnelles est généralement traitée indépendamment de l'autre par rotation autour du bord intérieur du pavage
- Pour une route à voies séparées dont le terre plein est plus large que 3m et en dépression par rapport à la route, chacune des routes unidirectionnelle est généralement traitée indépendamment de l'autre par rotation autour de la ligne centrale.

5.3. Sur largeur aux virages

Sur les virages, les conducteurs sont moins habiles à se croiser que sur les alignements droits. Il convient donc de leur réserver une plus grande marge de sécurité. En plus suivant la longueur du véhicule, l'espace nécessaire pour une bonne manœuvre doit être important. On donne généralement une surlargeur soit du coté extérieur du virage ou du coté intérieur ou des deux cotés.

Si L est la longueur du véhicule, R le rayon du virage et l la largeur d'une voie, on on déterminer la surlargeur S par :

$$S = \frac{L^2}{8(R-1)}$$

Si on considère que le véhicule le plus long à une longueur de 12 m S peut s'écrire

$$S = \frac{18}{R'} \qquad \text{où} \quad R' = R - l$$

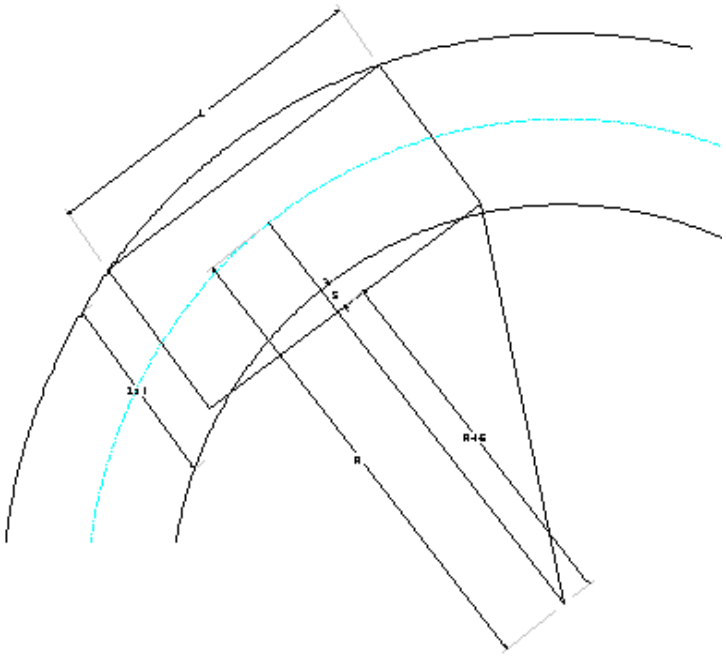


Tableau I : paramètres fondamentaux des projets routiers

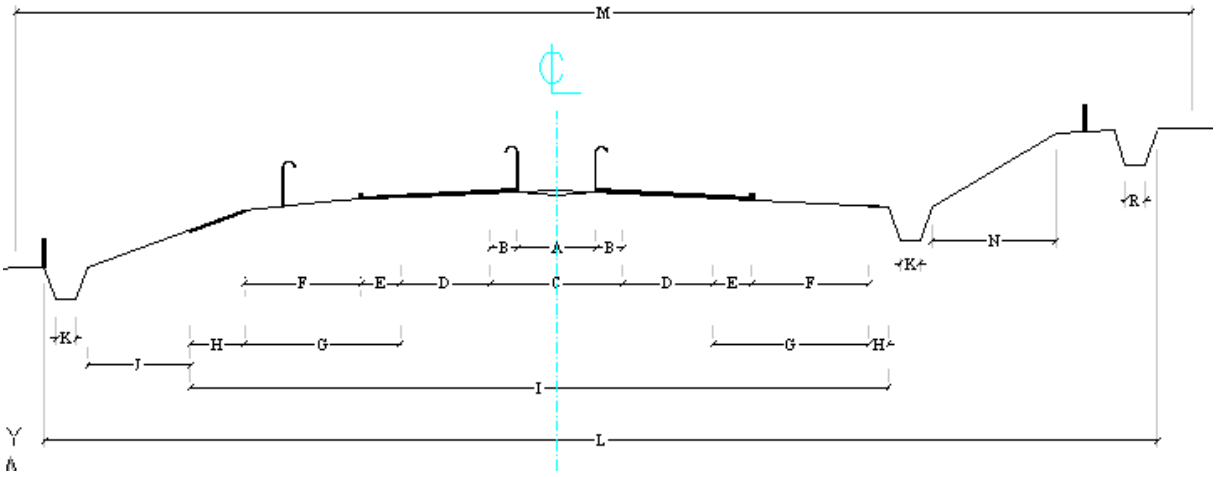
Désignation du paramètre				Symbole et unité	Catégorie de route				
					4e	3e	2e	1e	Except.
Vitesse de référence				Vr (km/h)	40	60	80	100	120
Tracé en plan	Dévers maximal			δM (%)	7	7	7	7	7
	Rayon en plan RH (m)	minimal absolu (dévers δM)		RHm	40	120	240	425	665
		minimal normal (dévers)		RHN (δ %)	120 (5 %)	240 (5 %)	425 (5 %)	665 (4 %)	1 000 (4 %)
		au dévers minimal (1)		RH'' (2,5 %) RH'' (2 %)	250 300	450 500	650 700	900 1 000	1 500 1 600
		non déversé		RH'	400	600	900	1 300	1 800
Profil en long	Déclivité maximale en rampe			πM (%)	8	7	6	5	4
	Rayon en angle saillant RV (m)	Chaussée unidirectionnelle (route à 4 voies ou à 2 chaussées)	minimal absolu	RVm_1	500	1 500	3 000	6 000	12 000
			minimal normal	RVN_1	1 500	3 000	6 000	12 000	12 000
		Chaussée bidirectionnelle (route à 2 ou 3 voies)	minimal absolu	RVm_2	500	1 600	4 500	10 000	
			minimal normal	RVN_2	1 600	4 500	10 000	17 000	
	Rayon en angle rentrant RV' (m)	minimal absolu		RVm'	700	1 500	2 200	3 000	4 200
		minimal normal		RVN'	1 500	2 200	3 000	4 200	6 000
	Rayon assurant la distance de visibilité de dépassement minimale sur route à 2 ou 3 voies			RVD (m)	2 500	6 500	11 000	17 000	28 000
Paramètres cinématiques	Vitesse du véhicule			V (km/h)	40	60	80	100	120
	Longueur de freinage			d_0 (m)	15	35	60	105	170
	Distance d'arrêt en alignement			d_1 (m)	40	70	105	160	230
	Distance d'arrêt en courbe			d_2 (m)	45	80	120	180	280
	Distance de visibilité de dépassement	minimale		d_d (m)	150	250	325	400	500
		normale		d_D (m)	250	350	500	625	800
	Distance de visibilité de manœuvre de dépassement			d_{Md} (m)	70	120	200	300	400

(1) Le dévers minimal est 2,5 % pour une chaussée en béton bitumineux et de 2 % pour une chaussée en béton de ciment.

5.4. LE PROFIL EN TRAVERS

C'est la coupe transversale de la chaussée et de ses dépendances. Le choix du nombre de voies de circulation, celui de la largeur et celui de la structure générale du profil en travers est à la fois dicté par le débit (volume véhicule en une section en un temps t) que l'on souhaite écouler et la classe de la route.

5.5.1. Nomenclature :



A : Séparateur

B = E : Bande d'arrêt

C : Terre-plein central (TPC)

D : Chaussée

F : Isolateur ou berme

G : Accotement

H : Arrondi de talus

I : Plate-forme

J : Talus en remblais : pente de 3/2

K : Fossé de pied de talus (route en déblai)

L : limite de l'assiette

M : limite de l'emprise

N : Talus de déblai : pente 1/1

R : Fossé de crête

1. **L'emprise** : l'emprise de la route est la surface du terrain appartenant à la collectivité et affectée à la route ainsi qu'à ses dépendances.

2. **L'assiette** : c'est la surface du terrain réellement occupée par la route et ses dépendances. Elle comprend la plate-forme et les parties de part et d'autre de celle-ci c'est-à-dire les arrondis, les talus et les fossés.

La différence entre l'assiette et l'emprise se situe à trois niveaux :

- ✓ La circulation des engin de chantier se fais dans l'assiette alors que l'installation du chantier s'effectue (peut s'effectuer) en dehors de l'assiette.
- ✓ Le parcellaire existant qu'il a fallu acquérir est différent du terrain nécessaire à l'assiette
- ✓ L'entretien ultérieur de la route s'effectue sur une largeur au plus égale à l'assiette

3. **La plate-forme :** C'est la surface de la route qui comprend la ou les chaussées, les accotements et éventuellement le terre plein central. C'est 2(G+D+C/2) ou 2(G+D+B+A/2)

4. **La chaussée :** c'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules

5. **Bande d'arrêt :** Elle s'étend entre les limites de la chaussée et la limite intérieure de la berme gazonnée et entre la limite de la chaussée et la berme portant la glissière de sécurité

6. **Accotements :** L'accotement comprend une partie dégagée de tout obstacle appelée bande dérasée, bordée à l'extérieur d'une berme engazonnée.

La bande dérasée est constituée, à partir du bord géométrique de la chaussée :

- ✓ d'une surlargeur de chaussée, de structure identique à la chaussée, qui porte le marquage de rive et qui limite « l'effet de bord ». Ce terme désignera à la fois les conséquences du surplus de contraintes en bord de dalle et les conséquences des alternances d'humidification et de dessiccation qui se produisent au bord de la zone revêtue ;
- ✓ d'une partie spécialement traitée, revêtue ou non. Sur une autoroute, elle est toujours revêtue et prend alors le nom de bande d'arrêt d'urgence (BAU) car elle permet d'accueillir les véhicules en panne. Sur route ordinaire, elle est rarement revêtue. Si elle ne l'est pas, il est conseillé de la constituer avec des matériaux ayant une certaine stabilité propre, même en période humide, pour que les véhicules qui sont exceptionnellement contraints d'y stationner la dégradent le moins possible.

Lorsqu'on estime souhaitable de la revêtir, il est impératif de lui donner une structure résistante par apport de matériaux du type de ceux que l'on utilise dans la chaussée, en épaisseur bien entendu moindre.

La pente de la bande dérasée est de 4 % lorsqu'elle n'est pas revêtue, elle peut être réduite à 2,5 % lorsqu'elle est revêtue ;

- ✓ d'une berme, dont la pente est de 8 %, qui va jusqu'au bord de remblai ou jusqu'au fossé pour les zones en déblai.

7. Le terre-plein central : s'étend entre les limites intérieurs des deux chaussées. Du point de vue structurale, il comprend :

- ✓ Les deux surlargeurs de chaussée
- ✓ Une partie centrale engazonnée, stabilisée ou revêtue

8. Le talus : il est limité à sa gauche par l'arrondi qui en constitue le début. La pente d'un talus en remblai est généralement plus raide que la pente en déblai. En effet, il y'a moins de danger quand on est en remblai que quand on est en déblai. Les matériaux de remblai sont sélectionnés, compactés et la pente étudiée pour ne pas se rompre alors qu'en déblai ce sont les matériaux en place qu'on laisse et on taille le talus qu'ils constituent de sorte à diminuer les risques de chute de pierres ou d'éboulement (glissement de terrain). On adopte généralement 2/1 en déblai et 3/2 en remblai.

5.6. Caractéristiques d'un profil en travers

5.6.1. En alignement

Le profil de la chaussée au sens structural est constitué par deux versant plans raccordés sur l'axe.

Pour les chaussées unidirectionnelles les pentes sont les suivantes en fonction de la nature du revêtement :

-chaussée non revêtue	4%
-tapis d'enrobés ou enduit superficiel	2,5%
-béton de ciment	2%

Ces pentes résultent d'un compromis entre la limitation de l'instabilité des véhicules lorsqu'ils passent d'un versant à l'autre et la recherche d'un écoulement rapide des eaux de pluies.

En traverse, les caniveaux peuvent avoir une pente transversale plus forte, convenablement raccordée aux pentes ci-dessus indiquées.

5.6.2. En courbe

Le profil comporte un seul versant plan en pente vers l'intérieur de la courbe lorsque son rayon est inférieur à la valeur RH' donnée dans le tableau des paramètres fondamentaux des projets routiers.

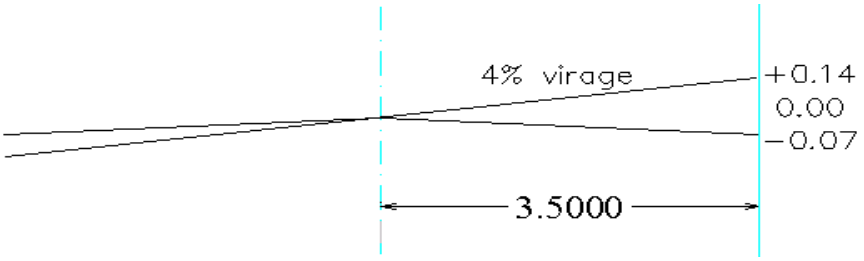
Cette pente unique est appelée dévers.

Ce dévers est destiné à combattre la force centrifuge $m\frac{V^2}{R}$

Il dépend donc à la fois de la vitesse V et du rayon R de la courbe. Il faut savoir d'autre part que le dévers ne prend en compte qu'une partie de la force centrifuge, la plus grande partie étant équilibrée par la réaction de frottement des pneumatiques sur le revêtement de la route.

Les dévers à prendre en compte sont donnés dans le tableau des paramètres fondamentaux.

Le dévers doit régner sur la totalité de la partie circulaire de la courbe. Toutefois il est bien évident qu'on ne doit pas passer du profil normal en toit au profil de dévers .Il suffit par exemple de considérer la figure ci-après entre le bord droit de la chaussée en profil normal et celui en virage ,il y'a un saut de 21cm à rattraper .



C'est pourquoi le dévers doit être introduit de manière progressive.

On estime, pour des questions de confort, (vitesse de roulis), que la variation du dévers doit être inférieur à 2% par seconde : la pente différentielle d'un bord de chaussée par rapport à l'autre varie en fonction de la vitesse (de 0,4% à 120km à 1,2% à 40 km/h),ce qui est satisfaisant du point de vue esthétique.

èkCe raccordement se fait, en plan, à l'aide de courbe à courbure progressive (clothoïde).

5.6.3. Profil sur ouvrage d'art

Le profil transversal sur ouvrages d'art peut être plus étroit qu'en section courante : la largeur de la chaussée est soit conservée, soit augmentée de certaines surlargeurs notamment pour diminuer l'effet de paroi provoqué par les bordures de trottoir ou les glissières) .Les bandes d'arrêt sont parfois supprimées (elles sont toutefois conservées, si la longueur de l'ouvrage est inférieure à 30 m ou si la bande d'arrêt sert de bande cyclable). Le reste des accotements est remplacé par les éléments du tablier qui sont strictement nécessaires pour y placer les dispositifs de sécurité éventuels et les gardes corps, et pour y assurer le passage éventuel des piétons ;

Pour les ouvrages d'art terminés par des culées, les profils en travers sur ouvrages sont à appliquer également sur toute la longueurs des culées, la largeur de celles-ci étant alors strictement suffisante pour recevoir les abouts du tablier.

L'introduction du profil sur ouvrage d'art doit se faire progressivement sur une certaine longueur à partir des extrémités de l'ouvrage, déterminé de façon à éviter toute variation brusque de profil. En particulier, s'il y a des glissières et qu'elles sont posée en biais pour amorcer un rétrécissement, elles auront par rapport à l'axe de la chaussée une inclinaison en plan qui corresponde à une vitesse de déplacement latérale d'au plus 2m/s à la vitesse courante des véhicules qui abordent l'ouvrage (si les véhicules circulent à 120km/h soit 33m/s environ, l'inclinaison des glissières en plan doit être de 2/33).

5.6.4. Ouvrages de collecte et d'évacuation des eaux

La mise hors d'eau de la chaussée est un préalable à son bon fonctionnement et à sa longévité. Il convient donc de collecter les eaux et de les évacuer.

Transversalement, l'eau est évacuée vers l'extérieur ou vers le terre-plein central le long des pentes du profil en travers.

Longitudinalement les ouvrages d'écoulement sont constitués au-delà de la berme extérieure de l'accotement :

- ✓ soit par une cuvette engazonnée (ou revêtue) d'environ 2m d'ouverture et de 0,30m de profondeur ;
- ✓ soit par un fossé en terre ayant 0,50m de plafond, 0,30m de profondeur environ, et une pente de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{6}$, coté accotement.

Exceptionnellement pour de très grandes longueurs et des pentes faibles on doit associer un collecteur à la cuvette engazonnée à partir d'une certaine largeur. En cas de déblais rocheux

ou d'emprises restreintes, on peut utiliser un caniveau bétonné ouvert protégé par une glissière de sécurité, un caniveau ouvert avec des dalles préfabriquées à fente transversales, ou un caniveau plat en forme de L.

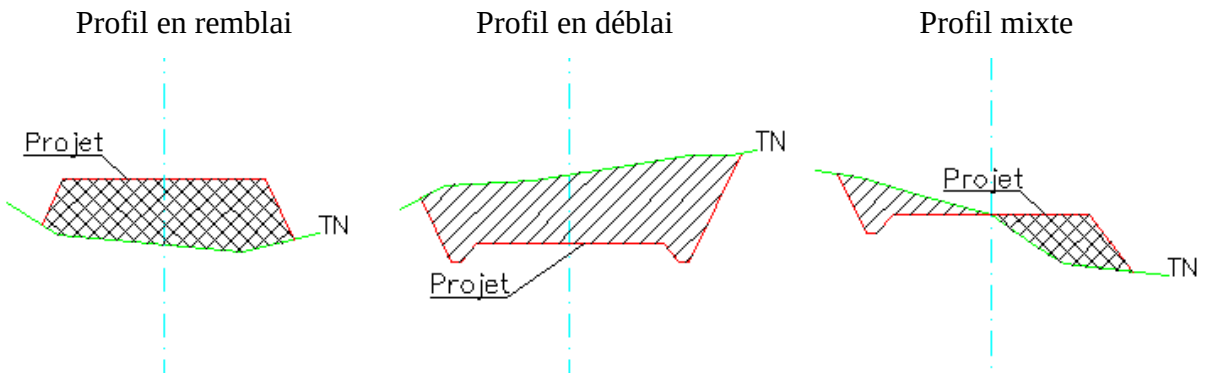
A moins qu'il ne soit en forme de toit le terre-plein central des routes à deux chaussées, en alignement, doit être muni d'un drainage, s'il est de largeur inférieur ou égale à 6m. Si sa largeur est de 13 m, il doit en outre être dotée d'une évacuation (par regard et traversée tous les 200m environ) des eaux de ruissellement.

L'évacuation des eaux de ruissellement n'est à prévoir dans les terre-pleins de 6m de large au moins, qu'aux points bas du profil en long.

En courbe de grand rayon, les eaux ruisselant sur la chaussée sont collectées par un caniveau à fente, une bordure caniveau ou simplement une cunette dans la partie du terre-plein. Elles sont évacuées de même par des traversées tous les 200 ou 300 m environ (tous terre-pleins de 3 à 13 m)

5.7. Représentation d'un profil en travers

On distingue trois types de profil en travers, suivant les positions respectives du projet et du TN.



APPLICATION

Soit une courbe de rayon R = 300. Le commencement de courbe CC est au chaînage 0+124 et la fin de courbe au chaînage 0+347. La vitesse de référence est prise égale à 90 km/h et la largeur du pavage de 7,50m avec une pente transversale de 2%. Donner les altitudes et chaînages aux points remarquables.

Reponse

Pour V = 90 le coefficient de friction latérale est f = 0,13

Le plein dévers est obtenu par : $e = \frac{V^2}{127R} - f$ ⟶ e = 0,082

Emax = 0,08 donc le plein dévers sera limité à 0,08

La largeur de la pavée est de 7,5m donc la largeur de la demi-chaussée et 3,75m

L'élévation au plein dévers est donc de PD = 3,75 x 0,08 = 0,30m

Au commencement de courbe, le dévers est au 2/3 du plein devers donc:

l'élévation au CC est 2/3 de PD = 0,20m

On voit donc que le bord extérieur avec la pente transversale passe de la cote -0,075 à la cote O,20 soit une dénivelée de 0,275m

Si on considère la déclivité minimale 0,005 la distance du début de rotation au commencement de la courbe qui sera de 0,275 / 0,005 = 55m Pour déterminer la distance entre le CC et le point de plein dévers on détermine la dénivelée entre ces deux points (0,30 - 0,2 = 0,1), connaissant la déclivité 0,005 on a la distance qui est

0,1 / 0,005 = 20m Du moment ou le chaînage du CC = 0+124,

Le chaînage du début de rotation est : 0+124 - 55 = 0+069

Le chaînage de plein dévers est : 0+124 + 20 = 0+144