

Université Mohammed Boudiaf

Faculté de technologie

Département de Génie Civil

COURS DE ROUTES

TRACE ROUTIER

Présenté par Docteur Menasri

Master 2

SOMMAIRE

(1^{ère} PARTIE)

CH I .GENERALITES

- ❑ Infrastructures routières au Maroc
- ❑ Gestionnaires des réseaux routiers
- ❑ Infrastructures routières cas du Grand Casablanca

CH II . TERMINOLOGIE ROUTIERE

- ❑ Chaussée et accotements
- ❑ Plate- forme et assiette
- ❑ Emprise
- ❑ Fossé
- ❑ Remblais et déblais
- ❑ Dévers et Talus
- ❑ Ouvrages d'assainissement

CH III . PARAMETRES FONDAMENTAUX DE PROJETS ROUTIERS

Normes géométriques

- ❑ Les critères de base
- ❑ Caractéristiques de base

CH IV . CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

IV-1-Tracé en plan

- ❑ Les critères qui orientent le choix des caractéristiques géométriques d'une route
- ❑ Les règles à observer au moment du choix du tracé en plan

(2^{ème} PARTIE)

IV-2- Profil en Long

- ❑ Caractéristiques
- ❑ Angles rentrants
- ❑ Règles particulières
- ❑ Visibilité latérale

IV-3-Profil en travers

- ❑ Caractéristiques
- ❑ Largeur des chaussées
- ❑ Pentes transversales
- ❑ Accotements

CH V . CALCUL DES TERRASSEMENTS (Déblai Remblai)

CH VI . PHASAGE DE CONCEPTION D'UN PROJET ROUTIER

- ❑ Etude de définition
- ❑ Etude d'Avant Projet
- ❑ Etude de Projet d'Exécution

CH VII . CONCEPTION DES CARREFOURS PLANS

CH I .GENERALITES

1. Infrastructures routières au Maroc

L'infrastructure routière du royaume est composée d'une voirie urbaine située à l'intérieur des villes et d'un réseau routier interurbain et rural situé en dehors des périmètres urbains.

❖ LA VOIRIE URBAINE

La voirie urbaine peut être classée selon les catégories suivantes:

- Autoroutes urbaines
- Voie express ou Voie rapide
- Boulevard
- Avenue
- Rue
- Ruelle etc...

❖ LE RESEAU ROUTIER INTERURBAIN ET RURAL

Le réseau routier interurbain et rural peut être classée selon les catégories suivantes:

- Autoroutes de liaison (A)
- Rocade (voie de contournement)
- Route Nationale (RN) (relie deux pôles économiques)
- Route Régionale (RR) (relie les routes nationales, et lie entre les régions)
- Route Provinciale (RP) (assure les liaisons entre les communes)
- Piste Communale (à l'intérieur des communes)
- Piste Forestière (à l'intérieur des forêts)
- Polygone Bétravier (dans les zones agricoles remembrées)
- Routes ou pistes privées
- etc...

Le réseau autoroutier et routier interurbain et rural marocain classé (portant un numéro) totalise un linéaire de:

* Pour les autoroutes 1100 Kms et 320 km est en cours d'achèvement des travaux (Fès- Oujda).

* Pour les autres routes 57 000 km dont 35 000 km revêtus et 22 000 km à l'état de piste:

Soit:

RN	: 11 250 km dont 9800 revêtus
RR	: 10 000 km dont 8850 revêtus
RP	: 35 650 km dont 16 360 revêtus

NB:

Les RN sont numérotées de 1 à 99 (Couleur rouge en haut de la borne kilométrique)

Les RR sont numérotées de 101 à 999 (Couleur jaune en haut de la borne kilométrique)

Les RP sont numérotées de 1001 à 9999 (Couleur bleu foncée en haut de la borne kilométrique)

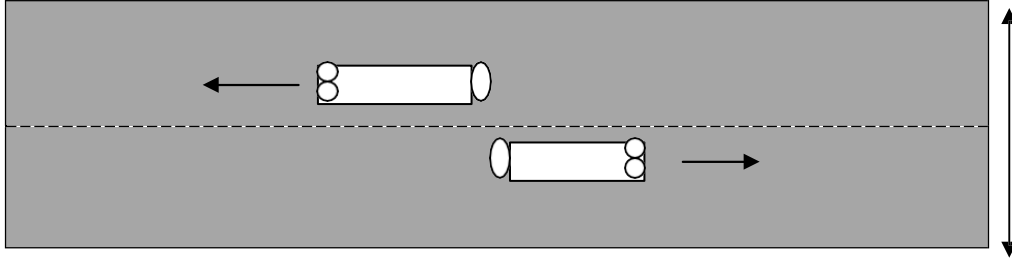
Chaque route relevant du réseau routier classé est identifiée par des bornes kilométriques qui indiquent le repérage kilométrique par rapport à l'origine, ces bornes sont placées du côté droit en se rapprochant de l'origine de la route considérée.

Exemple de borne kilométrique sur la RN 11 au PK 110 à 61 Kms de la ville de Khouribga

CH II . TERMINOLOGIE ROUTIERE

1-Chaussée

- ❑ C'est la surface revêtue de la route sur laquelle circulent normalement les véhicules, elle peut être soit bitumée ou bétonnée.



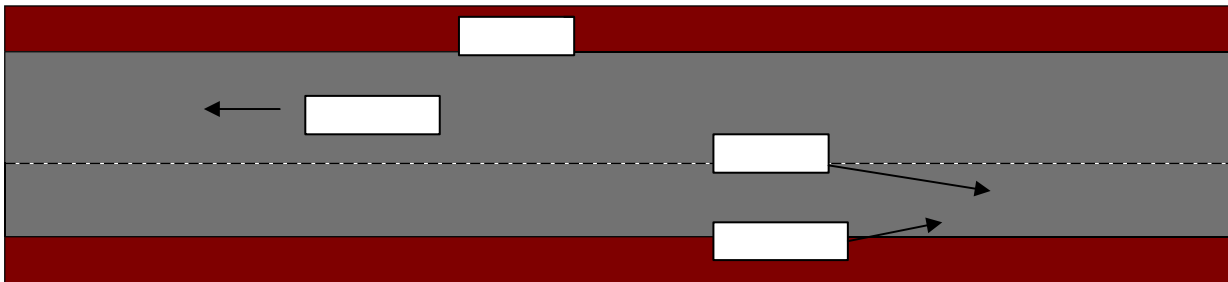
La largeur de la chaussée varie généralement de 3 à 7m et peut être plus selon le nombre de voies.

On distingue :

- ❑ **Les chaussée rigide** : Chaussée dont le revêtement est constitué de béton de ciment.
- ❑ **Chaussée souple** : Chaussée dont le revêtement est constitué de matériaux non traités.

2. Accotements

- ❑ L'accotement est la partie de la plate-forme aménagée entre la chaussée et le talus ou le fossé.



La largeur des accotements varie généralement entre 1 à 3 m

L'accotement sert :

- ❑ De support latéral à la structure de la chaussée;
- ❑ De refuge aux véhicules arrêtés ou en panne ;
- ❑ Permet la circulation des véhicules d'urgence ;
- ❑ Protège l'automobiliste lors d'un dépassement imprévu en lui permettant d'éviter une collision frontale.
- ❑ Les accotements larges suscitent chez les conducteurs une sensation de confort et de sécurité.

On distingue :

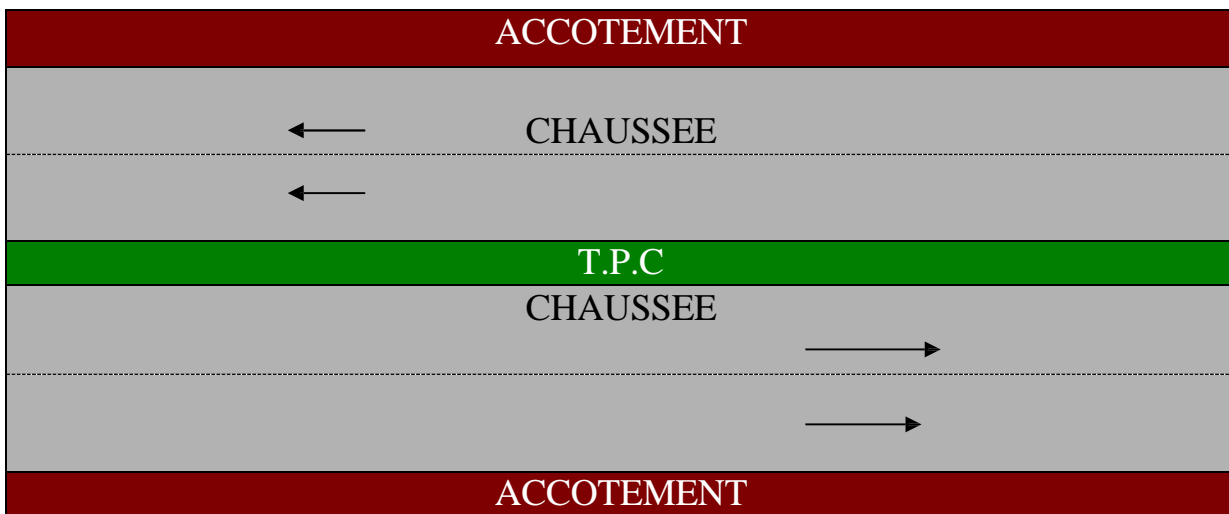
- ❑ Les accotements pourvus d'un revêtement ;
- ❑ Les accotements sans revêtement.

3- Terre Plein central

Le terre-plein central (TPC) est la partie située au milieu d'une route unidirectionnelle permettant la séparation physique des deux sens de circulation, il a pour fonctions d'éviter les mouvements de traversée des véhicules et les mouvements de tourne-à-gauche vers les accès éventuels. Ses caractéristiques dépendent essentiellement du milieu traversé, des fonctions de la route et de la limitation de vitesse.

4- Plate-forme

C'est la surface de la route qui comprend la ou les chaussées, les accotements et, éventuellement les terres pleines centrales (TPC).



5- Assiette

C'est la surface du terrain réellement occupée par la route et ses annexes. (Plate-forme + faussée + talus + toute dépendance et ouvrages affectés au DP).

6- Emprise

C'est la surface de terrain juridiquement affectée à la route et ses annexes. Elle est au moins égale à l'assiette. Elle est généralement de :

- 30 m pour les routes nationales,
- 70 à 100 m pour les autoroutes.

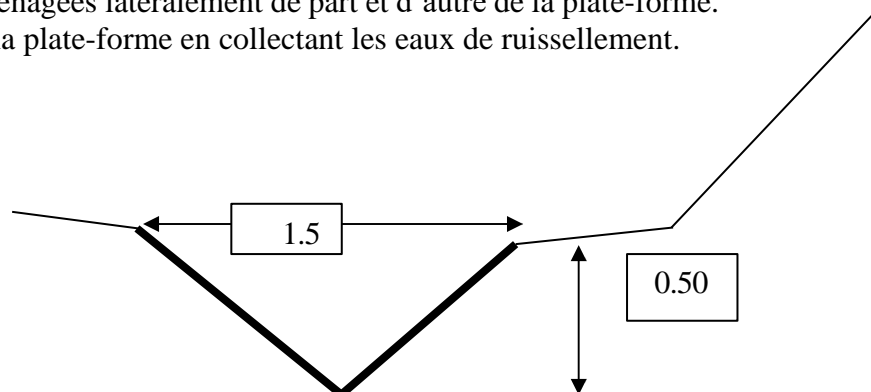
7- Fossé

Ce sont les excavations aménagées latéralement de part et d'autre de la plate-forme.

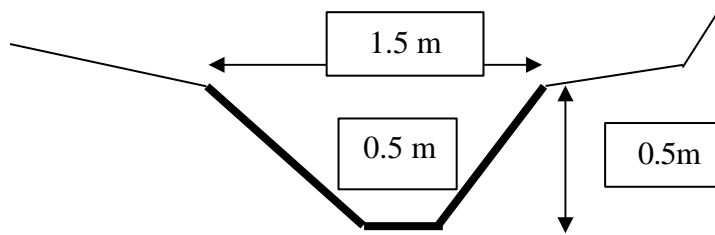
Ils sont destinés à assainir la plate-forme en collectant les eaux de ruissellement.

On distingue :

- **Fossé triangulaire**



□ Fossé trapézoïdal

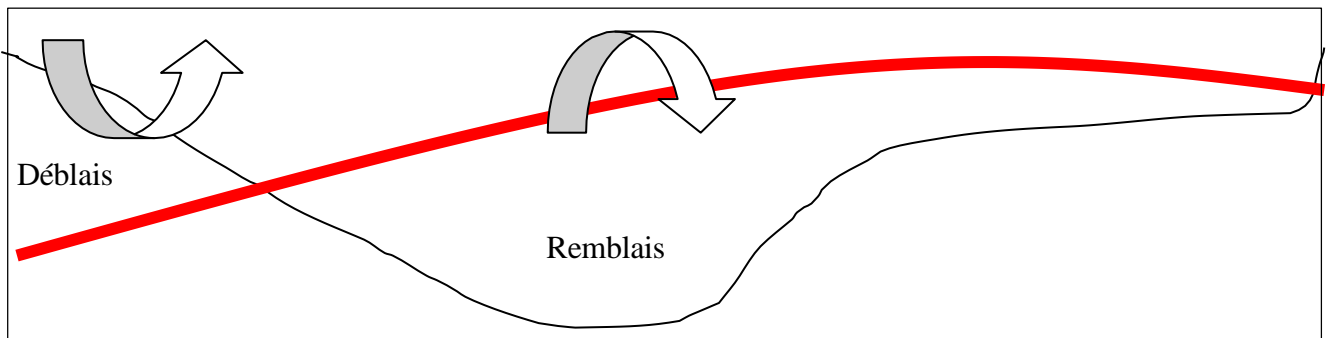


NB : Les dimensions sus visées sont données à titre indicatif

8- Remblais - Déblais

Quand la route est construite au-dessus du terrain naturel, on dit qu'elle est en remblais.

Quant elle est construite au-dessous du terrain naturel, on dit qu'elle est en déblais.

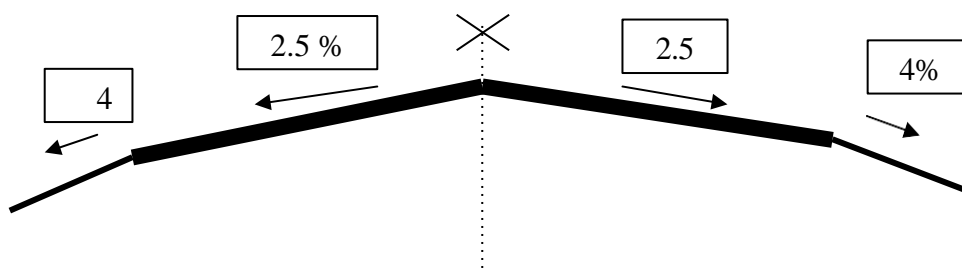


9- Dévers

C'est l'inclinaison transversale de la route

En alignement droit le dévers est destiné à évacuer les eaux superficielles.

En courbe les dévers permettent à la fois d'évacuer les eaux de ruissellement et de compenser une partie de la force centrifuge.



N.B : En courbe la valeur du dévers dépend de la valeur du rayon en plan .

10- Talus

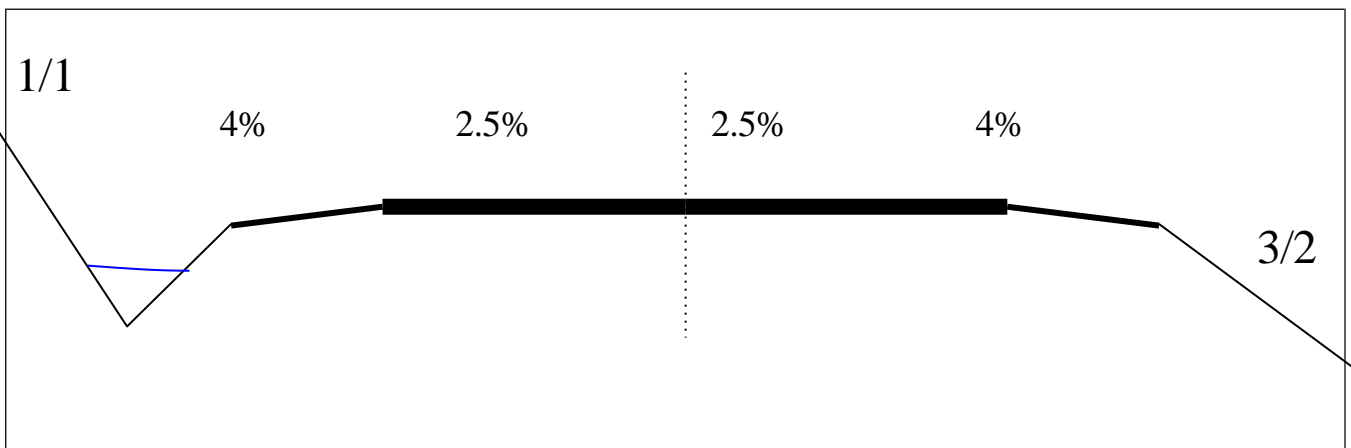
□ Partie de route comprise entre l'accotement et le fossé ou au-delà du fossé. On distingue les talus de remblais et les talus de déblais, sa pente est définie en fonction de la stabilité des matériaux le constituant.

□ Les talus de remblais sont généralement réglés à une pente de 3/2.

□ Les talus de déblais sont généralement réglés à une pente de 1/1.



La photo de gauche illustre un talus de déblai en terrain rocheux, pratiquement vertical, celle de droite montre un talus de pente 1/1

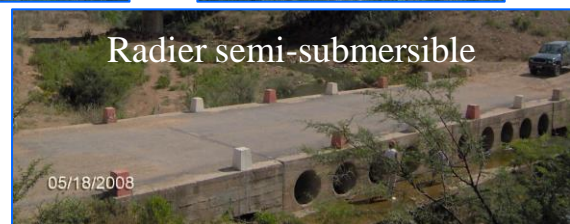
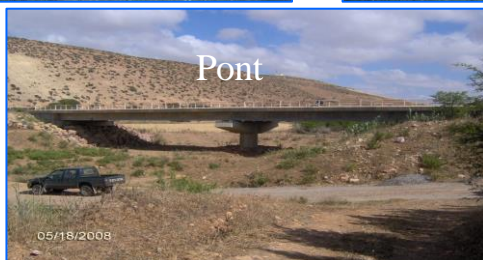


11- Ouvrages d'assainissement

- ❑ Ce sont des ouvrages en béton ou en béton armé ou en maçonnerie destinés à évacuer les eaux de ruissellement en dehors de l'emprise ou permettant à la route de franchir les écoulements des eaux de rivières ou de chaabas .

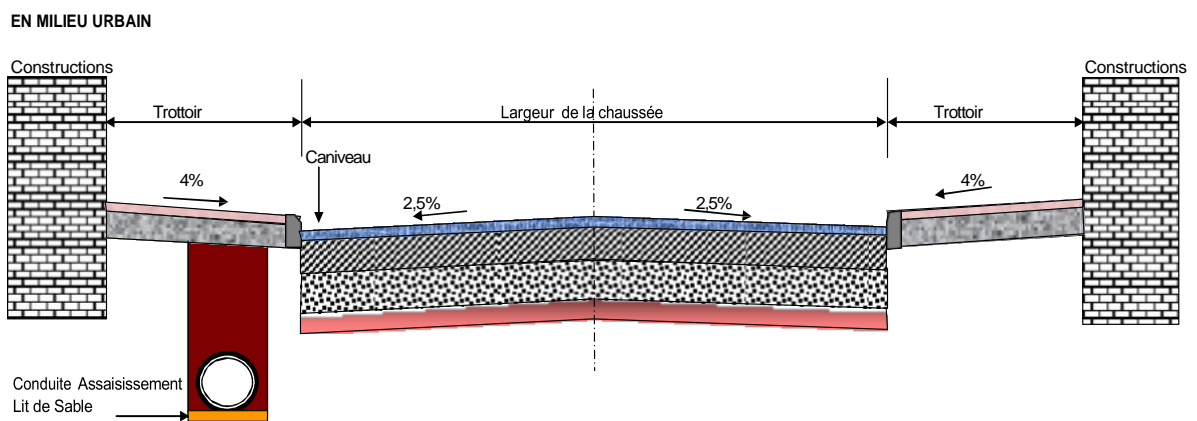
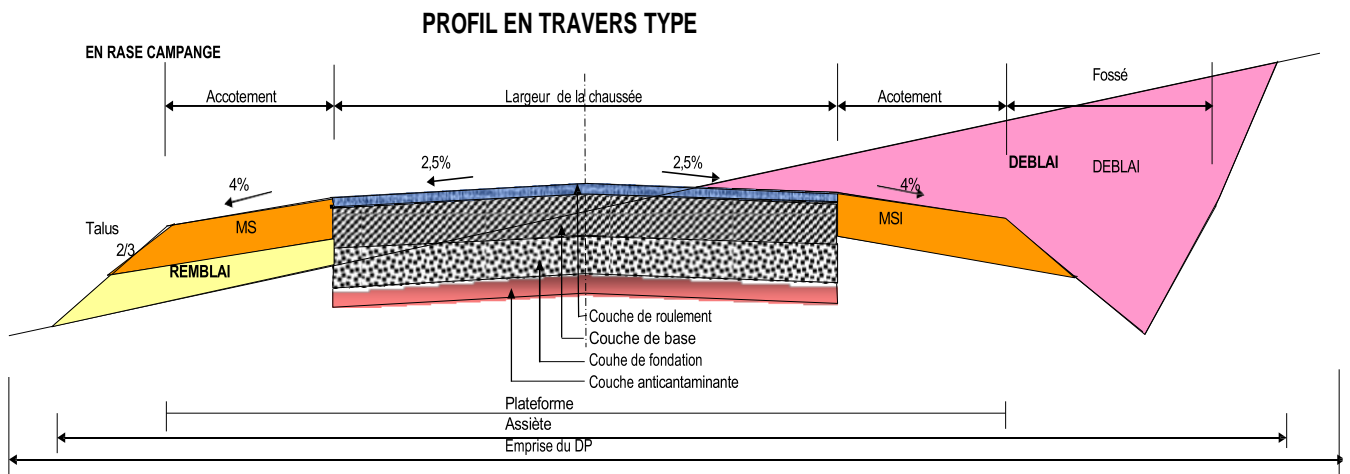
On distingue :

- ❑ Les buses : Ouvrages en béton à section circulaire,
- ❑ Dalots : Ouvrages en béton armé à section carrée ou rectangulaire.



12- Ouvrages de soutènement et de protection

- Ce sont des ouvrages en béton ou en béton armé ou en maçonnerie ou en gabions ou en enrochement destinés à assurer la stabilité d'un talus (naturel, en remblai ou en déblai) ou protéger l'ouvrage ou des éléments de l'ouvrage contre les affouillement ou les ravinement des eaux.



CH III . PARAMETRES FONDAMENTAUX DES PROJETS ROUTIERS

Cinématique du véhicule

1- Vitesse de référence ou de base Vitesse pratiquée Vitesse réglementaire:

- ❖ C'est la vitesse qui peut être pratiquée en tout point de la section considérée.
- ❖ Elle est imposée par les zones dont les caractéristiques géométriques sont les plus contraignantes.
- ❖ Elle permet de définir les caractéristiques minimales d'aménagement de ces zones particulières.
- ❖ Elle doit être la même sur de longues sections et ce pour éviter tout effet de surprise.
- ❖ La transition entre deux sections de vitesse de référence différentes doit être perceptible.
- ❖ Elle permet de normaliser les conditions techniques d'aménagement des routes

Selon les instructions relatives au réseau routier marocain on retient les V_r suivantes:

Vitesse de référence en km/h	40	60	80	100	120
Catégorie	Hors Ou REFT	3eme	2eme	1ere	Exceptionnelle

NB : -la vitesse à vide :c'est la vitesse moyenne que pratiquent les véhicules isolés en dehors des points particuliers de la section, on a toujours $V_0 > V_r$

-la vitesse d'approche :en rase campagne ,c'est la vitesse pratiquée à vide à l'approche des carrefours ou voies de manœuvre ou agglomérations.

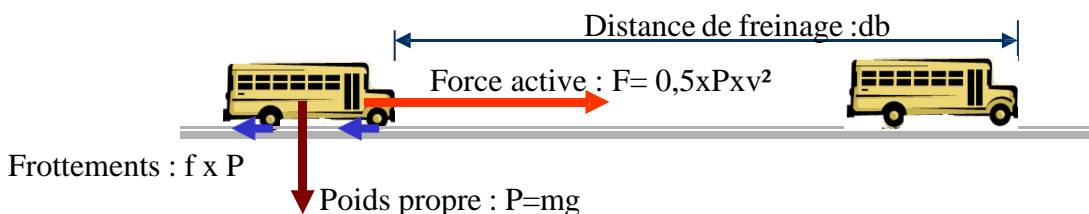
-la vitesse de groupe ou vitesse pratiquée :c'est la vitesse moyenne que pratiquent l'ensemble des véhicules légers dans la section de route homogène (sur les voies rapides en milieu urbain par exemple)

-les vitesses réglementaires sont les vitesses limites définies suivants les conditions de circulation (type, géométrie, profil, environnement, météo etc...) fixées dans un but de sécurité

2- Distance élémentaire de freinage:

C'est la distance parcourue par le véhicule pendant l'action effective de freinage

Jusqu'à l'annulation de sa vitesse initiale



Soit m la masse d'un véhicule de poids P

$P = mg$ et f le coefficient de frottement.

Le théorème des forces vives permet d'écrire :

$$\underline{1. P \cdot v^2 = f.P. db} \quad (1)$$

2

En éliminant P en facteur dans chaque membre de l'équation (1), on remarque que la distance db est indépendante du poids du véhicule.

De (1), nous tirons :

$$db = \frac{1 \cdot v^2}{2 \cdot f \cdot g} \quad (2)$$

Avec $\left\{ \begin{array}{l} Db \text{ en mètres} \\ v \text{ en m/s} \\ g = 9,81 \text{ m/s}^2 \\ f = \text{coefficient de frottement (F(V))} \neq 0,4 \end{array} \right.$

Le véhicule se déplaçant à la vitesse V habituellement exprimée en Km/h . et muni de freins, la relation (2) s'écrit :

$$db = \frac{1 \cdot (V^2 \cdot 1000^2)}{2 \cdot 3600^2 \cdot F(V) \cdot 9,81} = \frac{4 \cdot V^2}{1000 \cdot F(V)}$$

Comme F(V) ≠ 0,4 sur chaussée sèches

$$db = \frac{V^2}{100}$$

Si la route monte ou descend, i étant la déclivité (la pente ou la rampe), la formule (1) s'écrit :

$$\frac{1}{2} P/g \cdot v^2 = Pfd + Pid \quad \text{-----} \quad d = v^2/100 \times 1/(1 + 2,5 i)$$

$$db(m) = 0.004 \cdot V^2/f$$

Avec:

f : le coefficient de frottement., ce coefficient diminue lorsque la vitesse augmente
V : la vitesse du véhicule.

Exemples de calcul de la distance élémentaire de freinage (en m):

Vitesse (Km/h)	Coefficient de frottement	Distance de freinage db (en m)
100	0,38	105,26
60	0,44	32,73

En pratique la distance de freinage est donnée par le tableau suivant:

Vr (Km/h)	40	60	80	100	120	130	140
F(V)/g	0,46	0,44	0,42	0,38	0,34	0,32	0,3

Vr (Km/h)	40	60	80	100	120	130	140
db(m)	15	35	65	105	170	210	260

3- Distance d'arrêt :

Distance d'arrêt en alignement d1

Pour calculer la distance parcourue par le véhicule pendant l'opération de freinage , il faut tenir compte avant le début de freinage d'un temps de perception réaction.

Sur les routes nationales, on admet que ce temps est de 2 secondes au dessous de 100 Km/h . et de 1,8 secondes au dessus. Ce temps comprend le temps physiologique de perception- réaction (1,3 à 1,5 s) et le temps d'entrée en action du système de freinage (0,5 s).

Pendant le temps de perception réaction, le véhicule parcourt un espace « e » tel que :

$$e = vt \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} e \text{ en mètres} \\ v \text{ en m/s. } \quad 3,6 \text{ vm/s} = V \text{ km/h} \\ t \text{ en seconde} \end{array} \right.$$

Avec V en km/h, nous obtenons :

$$\text{Pour } t = 2 \text{ s.} \quad e = 0,55 V$$

$$\text{Pour } t = 1,8 \text{ s.} \quad e = 0,50 V$$

Par conséquent, la distance d'arrêt en alignement d1 exprimée en mètres peut s'écrire :

$$\mathbf{d1 (m) = db (m) + KV}$$

$$\mathbf{d1 = db + 0,55 V \quad \text{si } V < 100 \text{ km/h}}$$

$$\mathbf{d1 = db + 0,50 V \quad \text{si } V > 100 \text{ km/h}}$$

La distance d'arrêt en ligne droite est donnée par la formule :

$$\begin{array}{ll} \underline{d1(m) = 0.004. V^2/f + 0.55 V [Km/h].} & \text{si } V < 100 \text{ Km/h} \\ \underline{d1(m) = 0.004. V^2/f + 0.50 V [Km/h].} & \text{si } V > 100 \text{ Km/h} \end{array}$$

Avec:

Le premier terme est la longueur de freinage.

0.55 le temps de perception – réaction du conducteur.

f : le coefficient de frottement, ce coefficient diminue lorsque la vitesse augmente

V : la vitesse du véhicule

Distance d'arrêt en courbe d2

On ne prend en compte d2 que dans l'hypothèse où le rayon en plan du tracé exprimé en mètres est inférieur à 5 fois V exprimé en km/h . De ce fait , l'effort de freinage est moins énergétique, on en tient compte en majorant la distance d1 d'une valeur de 25% de db.

$$\mathbf{d2 = db + 0,25 \times db + KV \quad \text{avec } d2 \text{ en mètres.}}$$

La distance d'arrêt en courbe est donnée par la formule :

$$\begin{array}{ll} \underline{d2(m) = 0.005. V^2/f + 0.55 V [Km/h].} & \text{si } V < 100 \text{ Km/h} \\ \underline{d2(m) = 0.005. V^2/f + 0.50 V [Km/h].} & \text{si } V > 100 \text{ Km/h} \end{array}$$

Il faut insister sur le caractère conventionnel de ces chiffres. En effet l'adhérence effective peut être inférieure a ces valeurs en cas de :

- Mauvais revêtement.

- > Pluie.
- > Blocage des roues.

Exemples de calcul de la distance d'arrêt (en m):

Vitesse (Km/h)	Coefficient de frottement	En ligne droite		En Courbe	
		V < 100	V > 100	V < 100	V > 100
120	0,34		229,41		271,76
40	0,46	35,91		39,39	

En pratique la distance d'arrêt est donnée par le tableau suivant:

V(Km/h)	40	60	80	100	120	130	140
f	0,46	0,44	0,42	0,38	0,34	0,32	0,30
d1(m)	40	70	105	160	230	280	330
d2(m)	45	80	120	180	275	330	390

4- Distance de sécurité entre 2 véhicules :

Deux véhicules circulent dans le même sens, à la même vitesse. Le premier freine au maximum.

A quelle distance le second peut suivre pour éviter la collision ?

Théoriquement puisqu'ils roulent à la même vitesse, ils s'arrêteront à la même distance qui est la distance de freinage.

L'espacement entre les deux véhicules sera simplement parcouru durant le temps de réaction.



$$e = V/5 + l \text{ avec : } l = \text{Longueur du véhicule } l=8\text{m}$$

Pratiquement cette distance est plus grande pour les raisons suivantes :

- Lorsque B voit s'allumer le stop de A, il ne sait pas avec quelle intensité A freine. Il hésite donc à freiner lui aussi au maximum.
- Le freinage est une opération plus compliquée.

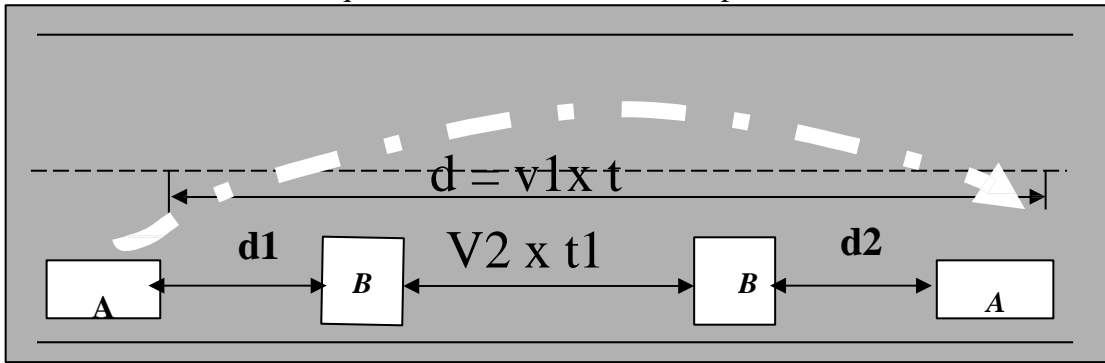
En se basant sur des expériences, on a complété la valeur de "e" par un terme en fonction de V².

$$E = V/5 + l + \frac{V^2}{335}$$

5- Distance de dépassement

C'est celle qui permet, en sécurité, d'abandonner un dépassement en freinant ou de le poursuivre en accélérant si le véhicule opposé freine.

On considère un véhicule qui exerce la manoeuvre de dépassement sans avoir à ralentir.



Soit :

- d_1 la distance entre A et B avant le dépassement
- d_2 la distance entre A et B après le dépassement
- t le temps nécessaire pour exercer le dépassement

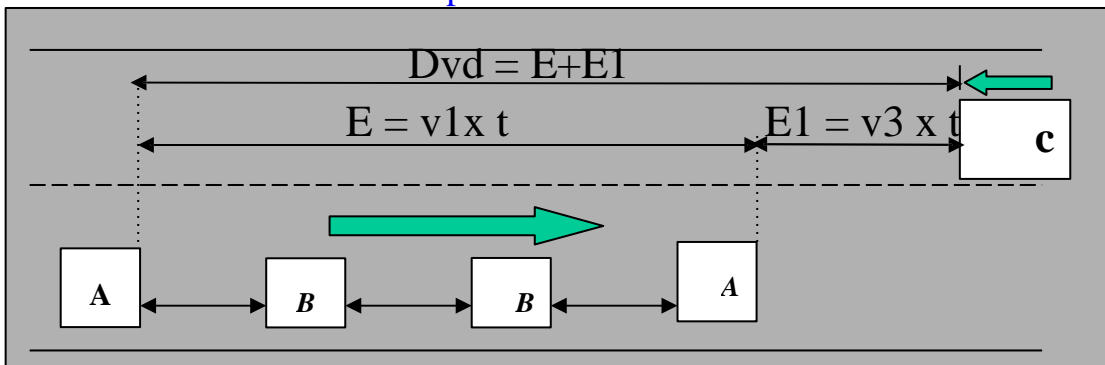
Pendant le temps " t " le véhicule "A" parcourt une distance " d " égale :
 $d = v_1 * t = v_2 * t + d_1 + d_2$ soit $t = (d_1 + d_2) / (v_1 - v_2)$. D'où

$$d = \frac{v_1(d_1 + d_2)}{v_1 - v_2}$$

Posons $d_1 = d_2 = v/5$ $v_1 = 0.2v + 8$

$$d = \frac{2v_1(0.2v_1 + 8)}{v_1 - v_2}$$

6- Distance de visibilité de dépassement



- $D_{vd} = E + E_1$

$$D_{vd} = \frac{v_1(d_1 + d_2)}{v_1 - v_2} + \frac{V_3(d_1 + d_2)}{v_1 - v_2}$$

- Dans le cas du Maroc, l'encombrement fréquent des artères principales invite à considérer le cas d'un véhicule en attente derrière un véhicule lent plutôt que celui d'un véhicule qui trouve la voie libre et peut doubler sans arriver à ralentir.

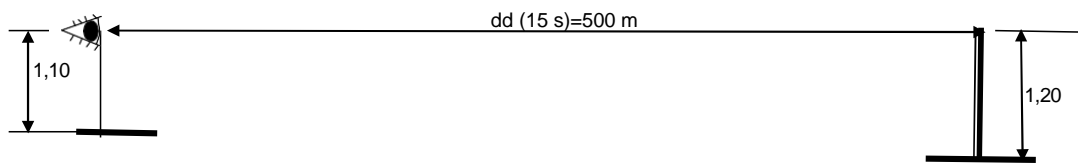
La distance de visibilité de dépassement en pratique :

C'est la distance maximum, pour tout point du tracé, telle qu'un observateur, placé en ce point à 1.10 m du sol, puisse voir un objet placé à toute distance inférieure

C'est la distance qui permet sur une route bidirectionnelle de terminer le dépassement sans obliger le véhicule arrivant en sens inverse à ralentir. La hauteur conventionnelle du véhicule adverse étant de 1,20 m.(soit une durée de dépassement de 7 à 8 s comme valeur minimale et de 11 à 12 s comme valeur normale)

$dd(m) = 4.V (Km/h)$: Valeur minimale

$dD (m) = 6.V (Km/h)$: Valeur normale.



Exemples de calcul de la distance de visibilité de dépassement (en m):

Valeur	Vitesse (Km/h)	Distance de visibilité de dépassement (en m)
dd (minimale)	80	320
dD(normale)	80	480

En pratique on prend $d = 500$ m

- L'instruction sur les caractéristiques géométriques des routes en rase campagne « I.C.G.R.R.C » considère une Dvd de 500m, avec :
 - $V = 80$ km/h
 - $V1 - V2 = 50$ km/h
- (Au Maroc cette distance est de 500 m).

CH IV . CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES

1. Les normes

Les normes sont des documents techniques de référence pour la conception des routes en milieu interurbain et rural.

Ils donnent les principes généraux à prendre en compte lors de l'élaboration des projets d'infrastructures nouvelles ou d'aménagement du réseau existant, et fournissent les règles techniques fondamentales relatives à la définition des éléments des infrastructures projetées.

On distingue :

- ❖ ICTAAL (Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison)
- ❖ ICTAVRU (Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines)
- ❖ ICGRRC (Instruction sur les caractéristiques géométriques des routes en rase campagne)
 - REFT (Routes économiques à faible trafic)

2. Les critères de base

Le problème du choix des caractéristiques du projet est fondamental; c'est de ce choix que dépend :

- ❑ ***Le coût des travaux ;***
- ❑ ***Les avantages procurés aux usagers (économie, sécurité, confort etc...).***

Selon que les caractéristiques de base sont bien ou mal adoptées aux **conditions naturelles** et au **trafic**, le projet sera justifié ou non du point de vue économique.

➤ Les critères de base qui guident le choix de ces caractéristiques techniques sont :

- ❑ ***Fonction de la route ;***
- ❑ ***Le trafic ;***
- ❑ ***L'environnement de la route (topographie, géologie, géotechnique, hydrologie, le bâti ,...)***

➤ Ces données sont fondamentales pour fixer en particulier les caractéristiques du T.P, P.L ainsi que celles des O.A.

➤ Le choix des caractéristiques doit donc résulter d'une analyse économique prenant en considération des données du terrain et du trafic ;

➤ Il est toutefois indispensable, en vue de l'homogénéité du réseau, d'introduire une certaine normalisation. C'est la raison d'être des catégories de route qui vont être définies ultérieurement selon les normes en vigueur.

2- Caractéristiques de base

- ❑ ***Profil en travers***

Largeur de la chaussée, largeur de la plate-forme et pente des talus.

- ❑ ***Profil en long***

- Déclivités maximales ;
- Rayons de raccordement saillant et rentrant.

□ **Tracé en plan**

- Rayons de courbure en plan.

□ **Ouvrages d'assainissement et dispositifs de drainage**

- buses, dalots, radiers, O.A ;
- Tranchées drainantes,

□ **Structure de chaussée.**

La structure de chaussée dépend de la nature du sol, du trafic, du climat de la zone et des types de matériaux disponibles dans la région.

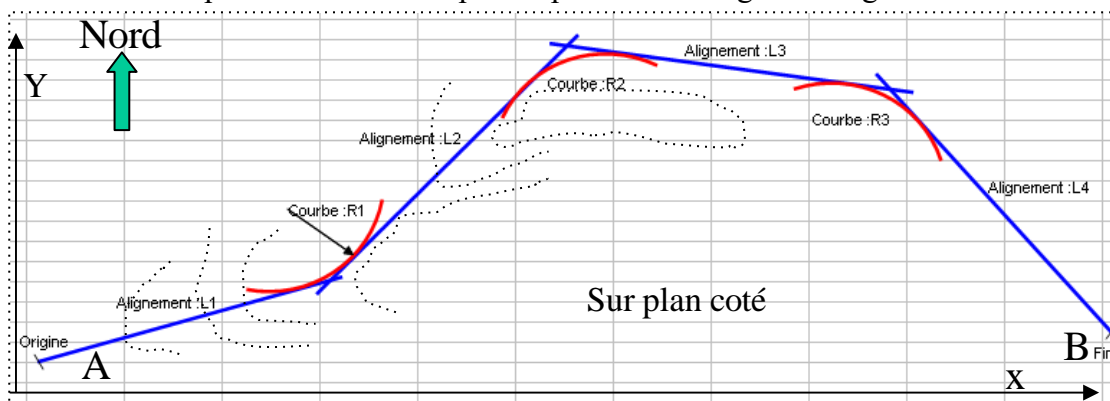
V-1- Tracé en plan

A- Les caractéristiques

Le tracé en plan est la projection sur un plan horizontal de l'axe de la chaussée.

C'est une succession de segments de droite, d'arcs de cercle et de raccordements à courbure variable.

La combinaison de ces éléments, en coordination avec le profil en long, doit en premier lieu permettre de réserver une proportion convenable de zones où la visibilité est suffisante pour permettre le dépassement. Simultanément, on doit éviter l'effet de monotonie et réduire en conduite nocturne le temps d'éblouissement par les phares lié aux grands alignements droits.



B- Les critères qui orientent le choix des caractéristiques géométriques d'une route :

En général, donner de bonnes caractéristiques géométriques à une route coûte des terrassements, et, éventuellement, des ouvrages plus importants, et apporte aux usagers de moindre coûts d'exploitation et, parfois, un surcoût de sécurité.

Le choix des caractéristiques doit donc résulter d'une analyse économique prenant en considération les données du terrain et du trafic : C'est l'objet principal des études d'itinéraire.

Il est toutefois indispensable, en vue de l'homogénéité du réseau, d'introduire une certaine normalisation : C'est la raison d'être des catégories.

En d'autre terme, ce choix se fera dans le but de :

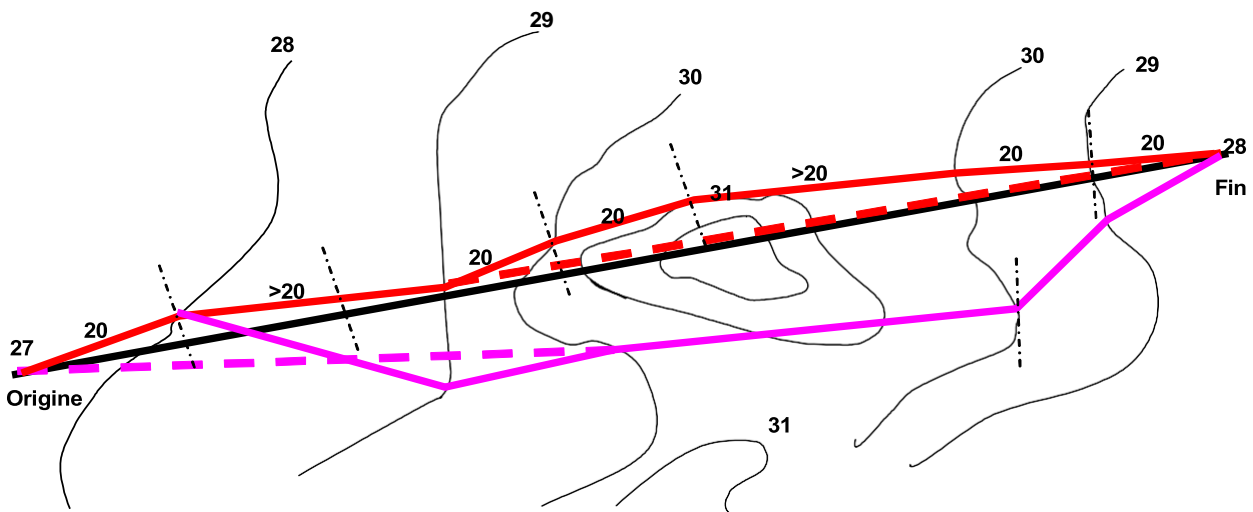
- Assortir le niveau de service à l'importance économique de la voie à construire ou à aménager.

- Etablir une analyse économique prenant en considération les données du terrain et du trafic.
- Assurer la cohérence des projets avec l'entendue et l'état du réseau d'une part, le volume des crédits escomptable d'autre part, en vue de maintenir ou obtenir la plus grande homogénéité.
- Assurer les conditions d'amélioration de la sécurité routière.

Ces caractéristiques sont déterminées en appliquant à chaque catégorie une vitesse conventionnelle dite « vitesse de base » définie auparavant (Voir §1 chapitre IV).

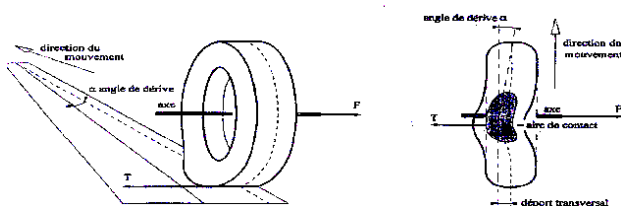
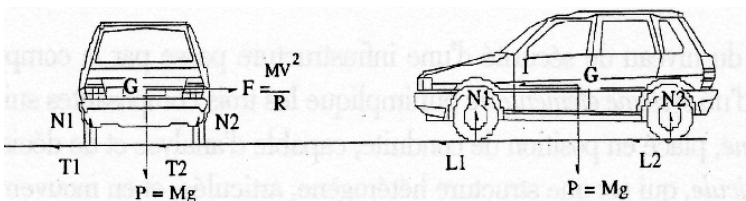
Exemple de recherche de tracé

- Echelle 1/1000 ème –équidistance des lignes de niveaux : 1m
- Pente maximum (5%) : 0.05 m/m
- La longueur horizontale entre chaque courbe qui permet de respecter cette pente sera :
= 20 m soit 0.02 m à l'échelle

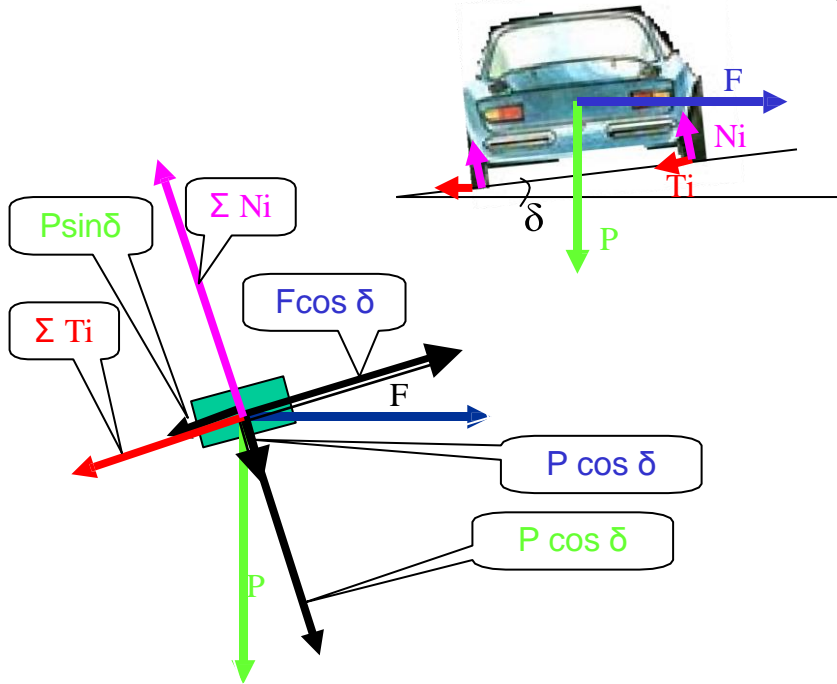


C- Choix du rayon des virages :

Le rayon de cercle et leurs dévers doivent permettre au minimum à un véhicule roulant à la vitesse de référence V_r de ne pas dérapier.



Stabilité d'un véhicule au niveau d'une courbe (virage) déversé



Calcul du rayon en plan

Les forces en présence qui équilibrent le véhicule dans une courbe relevée à l'inclinaison δ se présentent selon le schéma ci-dessus comme suit :

Soit :

- **P** le poids du véhicule
- **F** la force centrifuge produite lors du déplacement de la masse **m** du véhicule à la vitesse **V** sur la trajectoire circulaire de rayon **R**.

$$F = m V^2 / R$$

P1 et **P2** les charges exercées sur chacune des lignes de roues du véhicule.

δ l'angle que fait le plan de roulement par rapport à l'horizontale (dévers)

g l'accélération de la pesanteur

f_t la réaction transversale qui maintient le véhicule sur sa trajectoire dépendant de la rugosité de surface et au pneumatique.

D'une façon générale cette réaction s'écrit :

$$f_t = K P \alpha \quad (1)$$

K = coefficient d'envirage selon jeffroy

P = poids exercé par la roue

L'équilibre est acquis si le frottement transversal s'oppose au dérapage.

$$P \sin \delta + f_t \cdot (P_1 + P_2) = F \cos \delta = \frac{m v^2}{R} \cos \delta \quad (2)$$

Et $P = P_1 + P_2$ δ étant petit : $\sin \delta \approx \delta$ et $\cos \delta \approx 1$

Après simplification et en prenant $m = P/g$ on remarque que P disparaît. On a donc schématiquement :

$$P [\delta + f_t] = \frac{P \cdot v^2}{g R}$$

d'où l'expression $R = \frac{v^2}{g[\delta + f_t]}$ (3) expression de la valeur du rayon R en plan

Dans la pratique, on exprime v (initialement en m/s) en km/h et qui devient V. et δ en % (3) s'écrit alors :

$$R = \frac{1}{9,81} \times \frac{V^2 \cdot 1000^2}{3600^2} \times \frac{1}{[\delta + f_t]}$$

$$R = \frac{V^2}{127 [\delta + f_t]}$$

δ sera d'autant plus grand que la courbure sera plus forte.

d'où $R \geq V^2 / (127(f_t + \delta))$

R : le rayon en plan (en m)

V : la vitesse (en km/h)

f_t : coefficient de frottement (réaction transversale)

δ : le devers en (%)

Relation entre la vitesse de référence Vr et $f(t)$

Vitesse de référence en km/h	40	60	80	100	120
$f(t)$	0,25	0,16	0,13	0,11	0,10

Calcul des rayons de courbure en plan :

$$R = V^2 / (127 (\delta + f(t)))$$

Exemple 1 :

Vitesse de base 120 Km/h devers 2.5% $\implies f(t) = 0.10$ Résultat : R= 907 m

Exemple 2 :

Vitesse de base 60 Km/h devers 2.5% $\implies f(t) = 0.16$ Résultat : R= 153 m

• Pour les normes marocaines on a défini pour chaque catégorie 2 valeurs limites du rayon : Le rayon minimum normal (Rmn) et le rayon minimum absolu (Rma).

- Rmn : qui assure la stabilité d'un véhicule dans une courbe déversée à 4%;

- Rma : qui assure la stabilité d'un véhicule dans une courbe déversée à 7%.

Egalement on a défini le rayon non déversé (Rnd) qui correspond à un profil en travers normal (2,5% et - 2,5%)

Vitesse (Vr)	120	80	40
Rmn (d=4%)	1 000	250	30

Rma (d=7%)	700	175	15
-------------------	------------	------------	-----------

Selon les normes :

ICTAAL		
Types	L1	L2
Vitesses	130	110
Rm	600	400
Rnd	1000	650

ICTAVRU				
Types	A 80	A 100	U 60	U 80
Rnd (d= -2,5%)	400	800	200	400
Rmn (d=2,5%)	300	500		
Rm (d=5%)	240	425	120	240

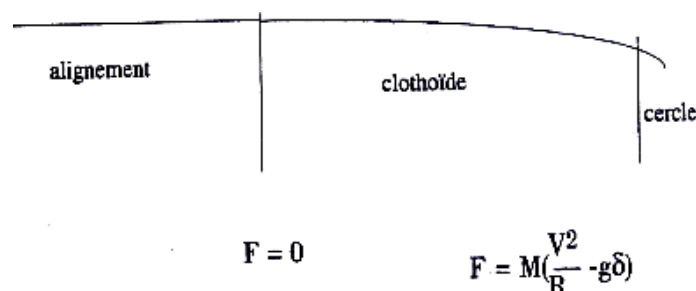
ICGRRC	Exp	1er C	2ème C	3ème C	H.C
Rmn (d=4%)	1 000	500	250	125	30
Rma (d=7%)	700	350	175	75	15

REFT	
Rayon	
Rml (*)	75
Rmn	30
Rma	15

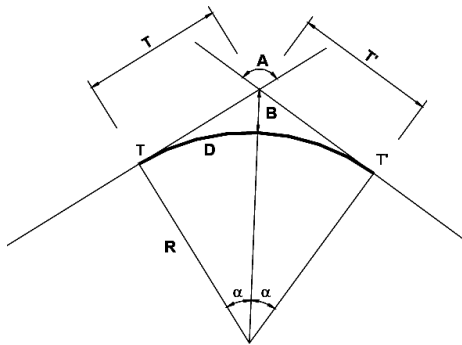
(*) il s'agit du rayon minimum libre qui correspond à un devers de 2,5%

Calcul des éléments de raccordement en plan :

- Les tracés routiers se composent en première approximation d'alignements droits et de courbes circulaires ;
- Deux courbes de même sens ou de sens contraire étant obligatoirement séparées par un alignement doit de longueur appropriée sauf exception.
- Il est souhaitable de prévoir, entre les segments de droite et les arcs de cercle, des zones de raccordement, et cela pour préserver les conditions suivantes :
 - Assurer une bonne lisibilité de la route en annonçant les virages.
 - Permettre à l'automobiliste un braquage progressif.
 - Introduire progressivement le dévers à partir d'un profil en ligne droite en forme de toit.



1- Raccordement par arc de cercle



$$\alpha = \frac{200 - A}{2}$$

$$T = T' = R \operatorname{tg} \alpha$$

$$B = R \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right) = \sqrt{R^2 + T^2} - R$$

$$D = \frac{\pi R \alpha}{100}$$

α et A : en grad

Exemple 1 : Connaisseur R et A

Rayon de courbure R : 250 m, angle A : 180 grades $\implies \alpha = 10 \text{ grad}$, $T = 39,60 \text{ m}$, $B = 3,12 \text{ m}$, $D = 78,54 \text{ m}$.

Exemple 2 : Connaisseur R et les Gisements

Rayon de courbure R : 215 m, G_1 : 89 grades, G_2 : 157 grades $\implies \alpha = 34 \text{ grad}$, $T = 127,15 \text{ m}$, $B = 34,78 \text{ m}$, $D = 229,65 \text{ m}$.

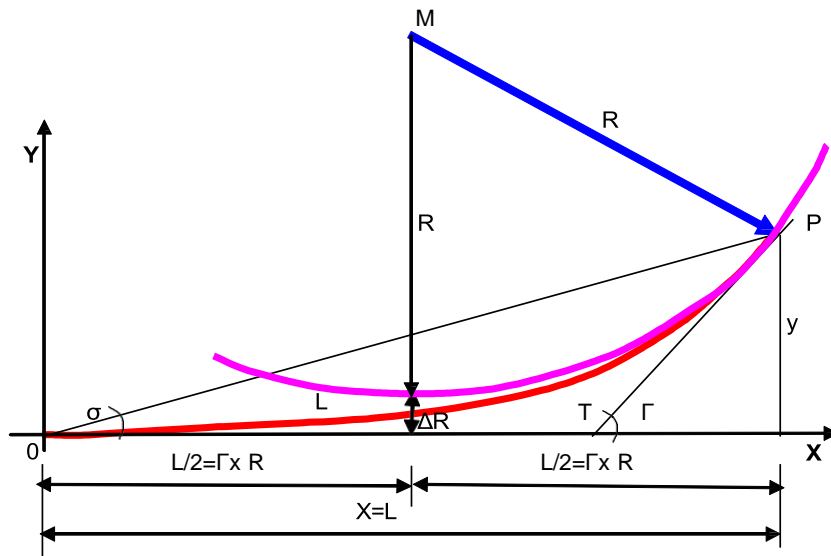
Exemple 3 : Connaisseur R et les coordonnées lamberts P,O,S

Rayon de courbure R : 72 m, P(100,100) Q(200,200) S(300,100) $\implies \alpha = 50,03 \text{ grad}$, $T = 72,06 \text{ m}$, $B = 29,86 \text{ m}$, $D = 113,16 \text{ m}$.

2- Raccordement à courbure variable

1 – Choix de la courbe de transition

Parmi les courbes susceptibles de satisfaire à cette condition de variation continue du rayon de courbure, c'est la clothoïde qui a été retenue en matière de tracé routier.



R : Rayon minimal de courbure
 L : Longueur de la courbe de raccordement
 A : Paramètre type
 Γ : Angle de changement de direction

$$\Gamma = L / (2x R) = L^2 / (2x A^2) = A^2 / (2x R^2)$$

$$\Delta R = L^2 / (24x R)$$

$$A = (R \times L)^{0,5}$$

$$y = L^2 / (6x R)$$

Exemple

Rayon de courbure R : 700 m, Longueur de la courbe de raccordement L : 260 m \implies
 $\Gamma = 0,19$ rad , $\Delta R = 4,02$ m, $A = 426,61$ m , $y = 16,10$ m.

En pratique pour le Projeteur :

CATEGORIE	PARAMETRE TYPE « A »
Exceptionnelle	360 m
1ère catégorie	220 m
2ème catégorie	140 m
3ème catégorie	80 m
Hors catégorie	40 m (*)
REFT	40 m

(*) Peut être ramené à 1,25 R pour les plus petits rayons

Les raccordements peuvent également être constitués par :

1) Une courbe à sommet :

Court arc de cercle encadré de deux longues clothoïdes symétriques.

On a recours à cette courbe pour allonger l'arc de courbure sensible entre deux longs alignements faisant un angle faible et au voisinage d'un point haut.

2) Une courbe en « S » :

Deux arcs de clothoïde opposés par l'origine et de paramètres égaux.

On utilise cette courbe pour raccorder deux cercles extérieurs parcourus en sens contraire.

L'usage de ces courbes ne présente aucun inconvénient tant que leur développement est limité : il apporte une appréciable aisance en perspective.

3) Une courbe en arc :

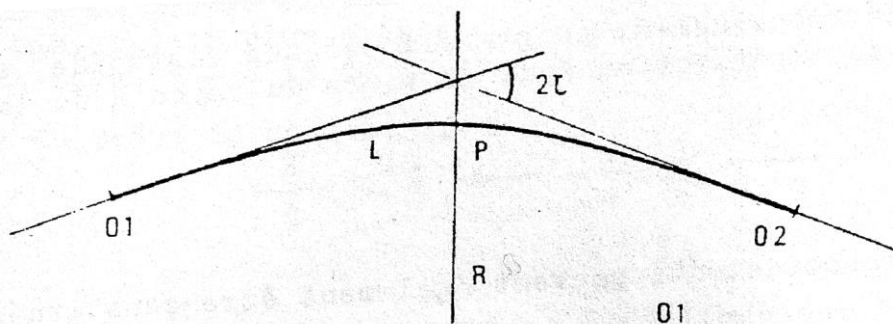
Clothoïde unique dont la courbure varie de : $\frac{1}{R1}$ à $\frac{1}{R2}$

R1 et R2 étant les rayons de deux cercles intérieurs mais non concentriques.

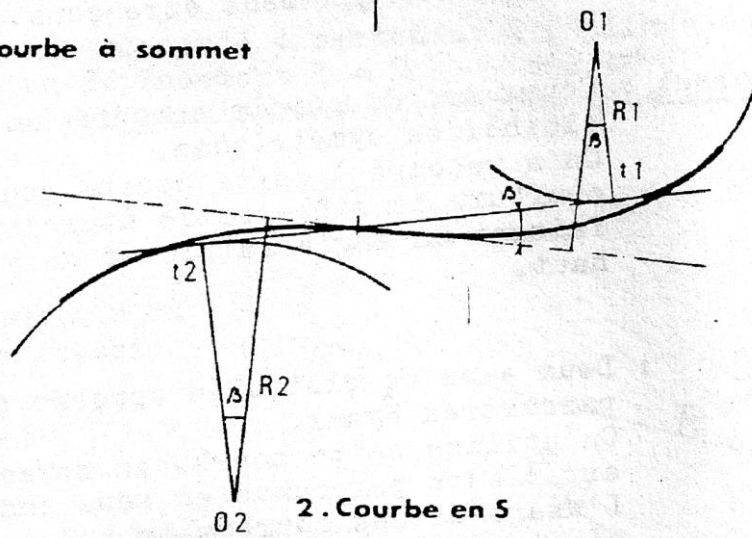
4) Une courbe en « C » :

Deux arcs de clothoïdes opposés par leur point commun P₀ de rayon maximum R₀

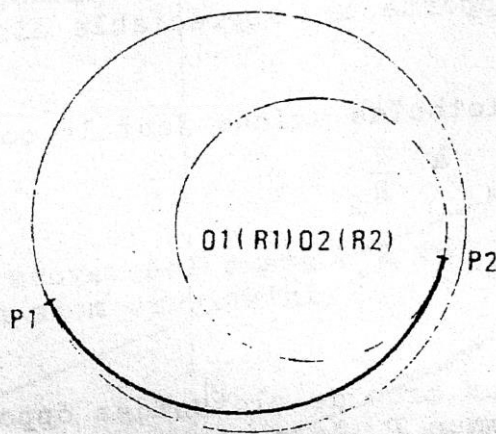
On a recours à cette courbe pour remplacer un court alignement entre deux cercles de même sens.



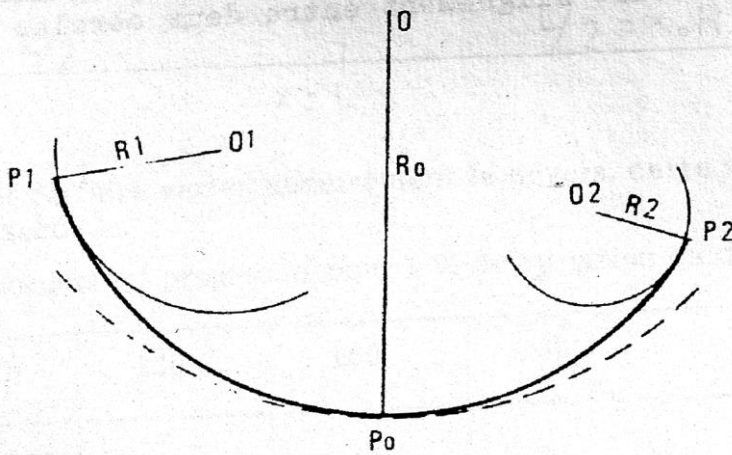
1. Courbe à sommet



2. Courbe en S



3. Ove



4. Courbe en C

E- Raccordement et devers

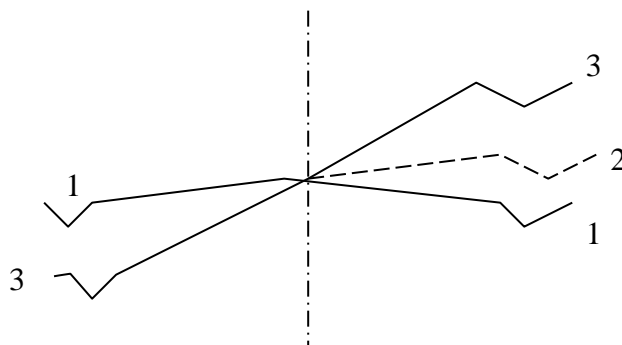
Longueur de raccordement devers :

Dans les alignements droits les chaussées ont un profil en travers constitué :

- Soit de 2 versants plans à 2,5 % de pente vers l'extérieur avec un raccordement parabolique central de 1 m de largeur;
- Soit d'un versant plan unique à 2,5 % (disposition réservée en principe aux chaussées unidirectionnelles).

Dans les courbes deversées, le profil en travers présente un versant plan de pente uniforme vers l'intérieur de la courbe, dit devers.

- Pour des raisons de confort le devers est introduit à raison de 2% par seconde de temps de parcours à la vitesse de base de la catégorie considérée ;
- Ce taux de variations peut être porté à 4% pour les routes de 3ème catégorie , H.C et REFT;
- Le raccordement s'effectue toujours en dehors de la courbe circulaire dont le devers est le raccordement s'effectue donc sur les alignements droits, sinon sur des courbes de raccordement à courbe progressives disposées de part et d'autre des courbes circulaires ;
- En général la côte de l'axe sera conservée et le profil pivotera autour de l'axe le long de la section du raccordement devers, jusqu'à ce que le versant extérieur attend la pente du versant intérieur, l'ensemble continue à pivoter autour de l'axe pour atteindre le dévers d.



Règles selon les normes (ICGRRC et REFT)

Règle1 :

Pour Cat. Exp + 1ère C Si $R > 2 R_{mn}$
 2ème Cat. + 3ème C Si $R > 1,4 R_{mn}$
 REFT Si $R > 75 m$

} le profil en
alignement est
Conservé

Exceptionnelle	1 ^{ère} C	2 ^{ème} C	3 ^{ème} C
2 000	1 000	350	175

Règle 2 :

Pour les routes de Catégorie Exceptionnelle, 1ère catégorie et 2ème catégorie, la section de raccordement devers sera obligatoirement une courbe **de raccordement à courbe progressive**

sauf si :

$$R \geq 1.4 R_{mn}$$

Donc raccordement en alignement droit pour les catégories exceptionnelle et première.

Règle 3 :

- Pour les routes susceptibles d'être enneigées ou verglacées, le devers sera limité à 5 %.
- Pour les routes de 3ème catégorie, il ne sera utilisé de courbes progressives que lorsque ce sera nécessaire pour respecter les conditions de variation des dévers.

Valeurs des Devers en fonction de la catégorie de la route et du rayon de courbure (en mètre) :

C.Excep		1ère C		2ème C		3ème C	
R	%	R	%	R	%	R	%
700	7 %	350	7 %	175	7 %	75	7 %
750	6 %	375	6 %	200	5,5 %	80	6,5 %
800	5,5 %	400	5,5 %	225	4,5 %	90	6 %
850	5 %	425	5 %	250	4 %	100	5 %
900	4,5 %	450	4,5 %	275	3,5 %	110	4,5 %
950	4,5 %	475	4,5 %	300	3 %	120	4 %
1000	4 %	500	4 %	325	3 %	125	4 %
1050	3,5 %	525	3,5 %	350	2,5 %	130	4 %
1100	3,5 %	550	3,5 %	>350	P.N	140	3,5 %
1150	3,5 %	575	3,5 %			150	3 %
1200	3 %	600	3 %			160	3 %
1300	3 %	625	3 %			170	2,5 %
1350	2,5 %	650	3 %			175	2,5 %
1400	2,5 %	675	2,5 %			>175	P.N
2000		700 à 1000	2,5 %				
> 2000	P.N	> 1000	P.N				

NB: PN = Profil normal + 2,50% et - 2,50%

Valeurs Intermédiaires des devers :

Les valeurs intermédiaires sont calculées à partir des formules d'interpolation ci-après et arrondi au plus proche à 0,5% près :

$$d = \frac{1}{0,33 \times 10^{-3} \times R - 0,092} - 0,2 \quad \text{catégorie exceptionnelle.}$$

$$d = \frac{1}{0,66 \times 10^{-3} \times R - 0,092} - 0,2 \quad \text{1ère catégorie}$$

$$d = \frac{1}{1,32 \times 10^{-3} \times R - 0,092} - 0,2 \quad \text{2ème catégorie}$$

$$d = \frac{1}{1,11 \times 10^{-3} \times R - 0,028} - 2 \quad \text{3ème catégorie}$$

$$d = \frac{90}{R} + 1 \quad \text{REFT pour } 15 < R < 30$$

$$d = \frac{75}{R} + 1,5 \quad \text{REFT pour } 30 < R < 75$$

Règles de continuité:

La sécurité dans la route dépend de la continuité de ses caractéristiques plus que son niveau d'aménagement.

Si $R < R_{mn}$ ou R_{ma} } Règle de continuité.

A-Sections de même catégorie

Règle a:

- Le rayon d'une courbe R ne peut être inférieur au R_{mn} (ou R_{ma}) que s'il est précédé, dans le sens de parcours, d'un rayon R1 tel que :

$$R1 < \frac{R \times R_{mn}}{R_{ma}}$$

Exemple1 :

Route 2^{ème} catégorie , $R_{mn} = 250$ m, $R_{ma} = 175$ m pour $R = 200$ m il doit être encadré (route bidirectionnelle) ou précédé (route unidirectionnelle) de courbes de rayon maximal

$$R1 \leq 200 \times 250 / 175 = 286 \text{ m}$$

- La distance entre les sommets de ces courbes doit être inférieure à celle correspondant à une minute de temps de parcours à la vitesse de base.

$$\text{Distance entre sommets} < \frac{V \times 60}{3,6}$$

(distance en m, V en Km/h)

Exemple 2 :

Pour l'exemple 1 route 2^{ème} catégorie , $V= 80 \text{ km/h}$ la distance entre sommets pour $R = 200 \text{ m}$ et $R1 \leq 286 \text{ m}$ est $< 80 \times 60/3,6 = 1\,333 \text{ m}$ soit $1,333 \text{ Km}$

Règle b:

- Après un alignement droit d'une longueur correspondant à plus de 2 mn de temps de parcours, le rayon d'une courbe doit être supérieur au Rma de la catégorie immédiatement supérieure (1500 m pour la catégorie exceptionnelle).

Exemple 3 :

Route 2^{ème} catégorie , $V= 80 \text{ km/h}$ la distance parcouru en 2 mn = $2,666 \text{ Km}$, lorsque l'alignement est $> 2,666 \text{ Km}$ le rayon rencontré doit être $<$ au Rma de la 1^{ère} catégorie soit 350 m .

B. Sections de catégories différentes

Lorsqu'un même itinéraire comporte des sections de catégories d'aménagement différentes, sans que celles-ci soient séparées par une agglomération importante :

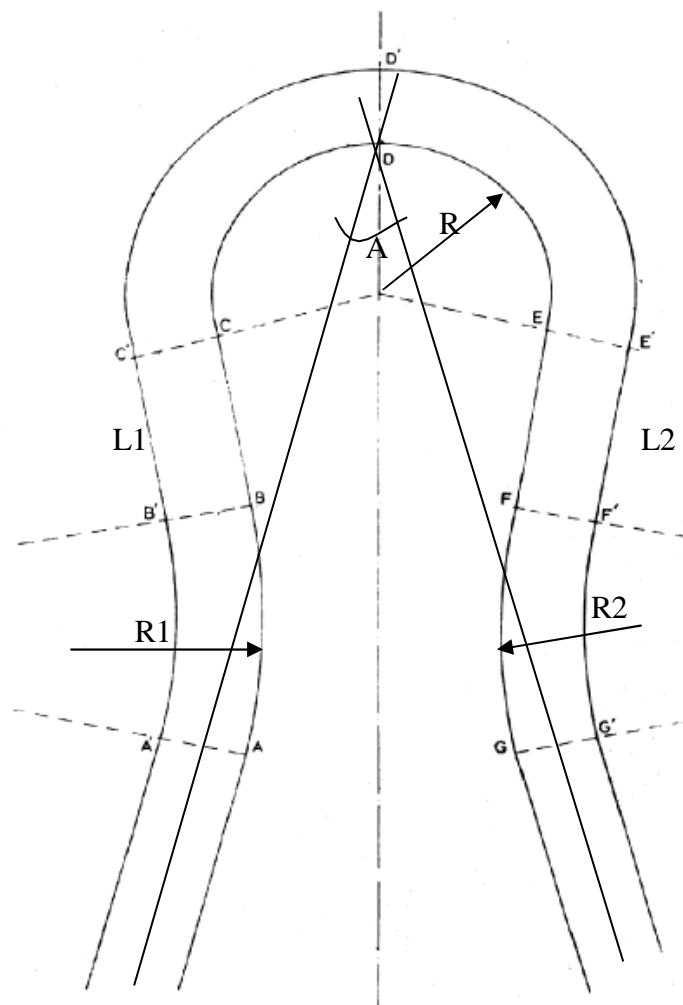
- 2 sections contiguës ne peuvent appartenir qu'à des catégories immédiatement voisines, chacune ayant une longueur correspondant à au moins 5 minutes de temps de parcours à la vitesse de base.
- Une section de transition sera ménagée entre elles et étudiée avec un soin particulier. Cette section devra comporter au moins 2 virages de rayon égal au minimum absolu de la catégorie supérieure. Ces virages devront, pour l'usager venant de la section de la catégorie supérieure, respecter,
- **la règle a:** annoncée ci –avant. Ils seront espacés, au plus de la distance correspondant à 1 minute de temps de parcours à la vitesse de base de celle –ci.

Introduction de rayons de courbure faibles (traité comme un lacet)

En terrain montagneux difficile et lorsque la topographie ne permet pas d'introduire des rayons en plan normatifs on peut abaisser le rayon à 10 mètres selon les conditions suivantes :
l'angle au sommet doit être inférieur à 150 gr.

Il est permis d'adapter à la configuration du terrain ; un lacet se compose en principe de :

- deux éléments de courbe AB A'B' et FG F'G' dont le rayon sur l'axe est d'au moins 15 mètres.
- deux éléments droits d'au moins 20 mètres,
- une courbe CDE C'D'E' appelée tournant;



$A < 150$ grades

$L1$ et $L2 \geq 20$ m

$R1$ et $R2 \geq 15$ m

$$R = 10 \text{ m}$$