



Faculté des Sciences et Techniques
Marrakech



ROUTES

Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech

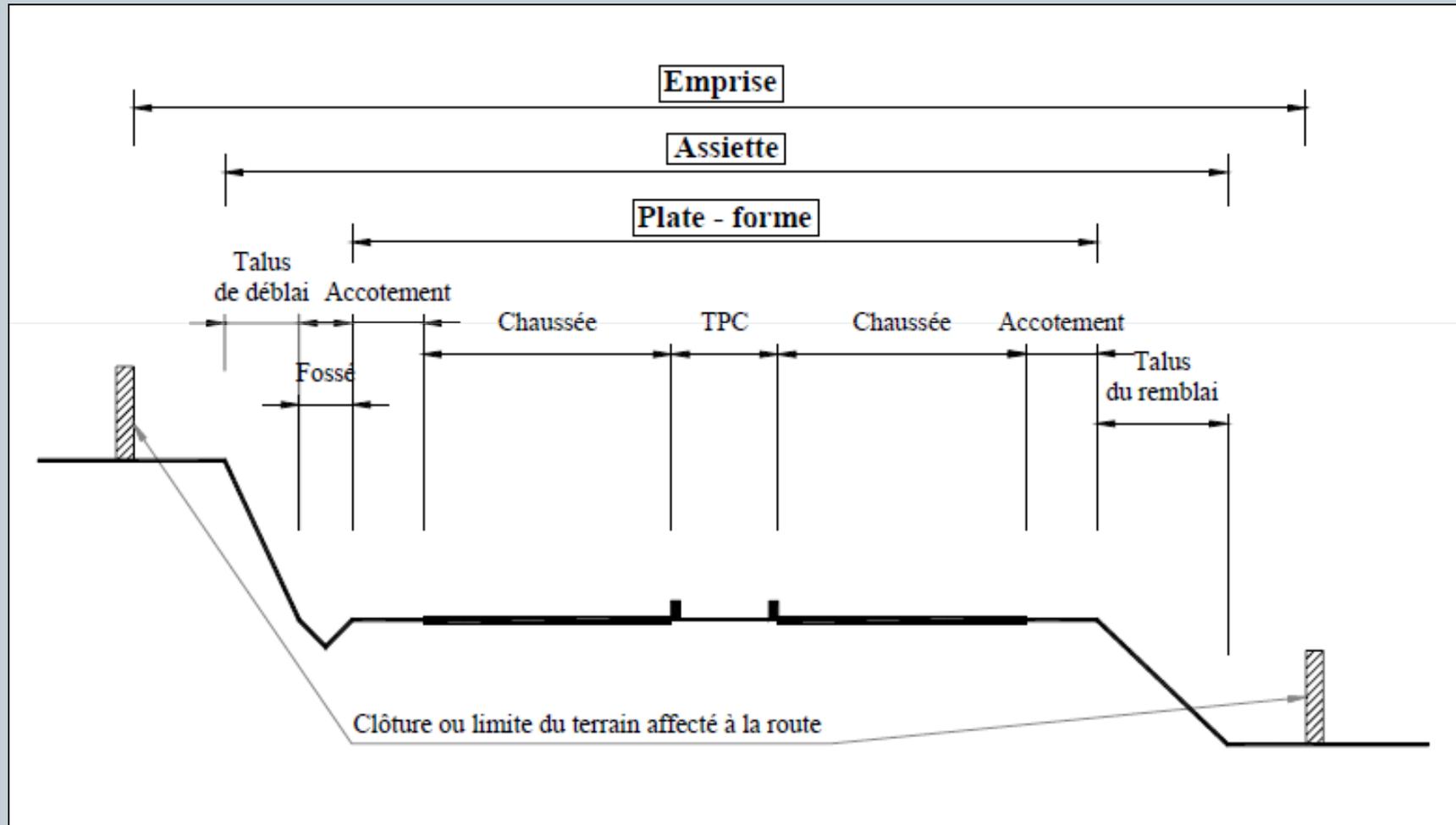
Le tracé routier



Un tracé routier est défini par un certain nombre de plans :

- un tracé en plan avec tous les détails, il devient le plan général.
- un profil en long.
- une succession de profils en travers.

Le tracé routier



Le tracé routier



Critères de base :

Les critères de base qui guident pour le choix des caractéristiques techniques sont :

- La fonction de la route : => classification ;
- Le trafic ;
- L'environnement de la route : (Topo, Géologie, hydrologie,...).

Il est toutefois indispensable, en vue de l'homogénéité du réseau d'introduire une certaine normalisation.

Le tracé routier



Catégories de route :

On considère 4 catégories de routes et des routes hors catégories. Ces dernières sont formées des routes de montagne ou des routes très peu circulées.

Catégorie	Exceptionnelle	1 ^{ère} Catégorie	2 ^{ème} Catégorie	3 ^{ème} Catégorie	Hors Catégorie
Vb (Km/h)	120	100	80	60	40

Le tracé routier



Caractéristiques de base :

- Profil en travers
Largeur de la chaussée, largeur de la plateforme, 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, OA.
Tranchées drainantes, drains en arrête de poisson, tapis drainants,...
- Structure de chaussée.

Le tracé routier



Distance de freinage :

C'est la distance que parcourt le véhicule pendant le temps de freinage qui annule totalement sa vitesse initiale.

Avec : f : le coefficient de frottement $\Rightarrow f = 0,4$

V : vitesse en m/s = $V/3,6$ km/h

g : l'accélération = $9,81$ m/s²

On a : $d' = V^2/100$

Si la route monte ou descend, i étant la déclivité, la formule s'écrit :

$$d' = V^2/100 \times 1/(1 \pm 2,5 i)$$

Le tracé routier



Distance d'arrêt :

C'est la distance de freinage ajoutée à la distance parcourue pendant le temps perception - réaction avant le début de freinage.

Le temps perception – réaction est l'intervalle qui s'écoule entre l'instant où devient perceptible l'obstacle et le temps de freinage.

On admet un temps de réaction de *3/4 de seconde quand l'attention du conducteur est concentrée.*

Ce temps est porté à *1,5 s quand l'attention du conducteur est diffuse.*

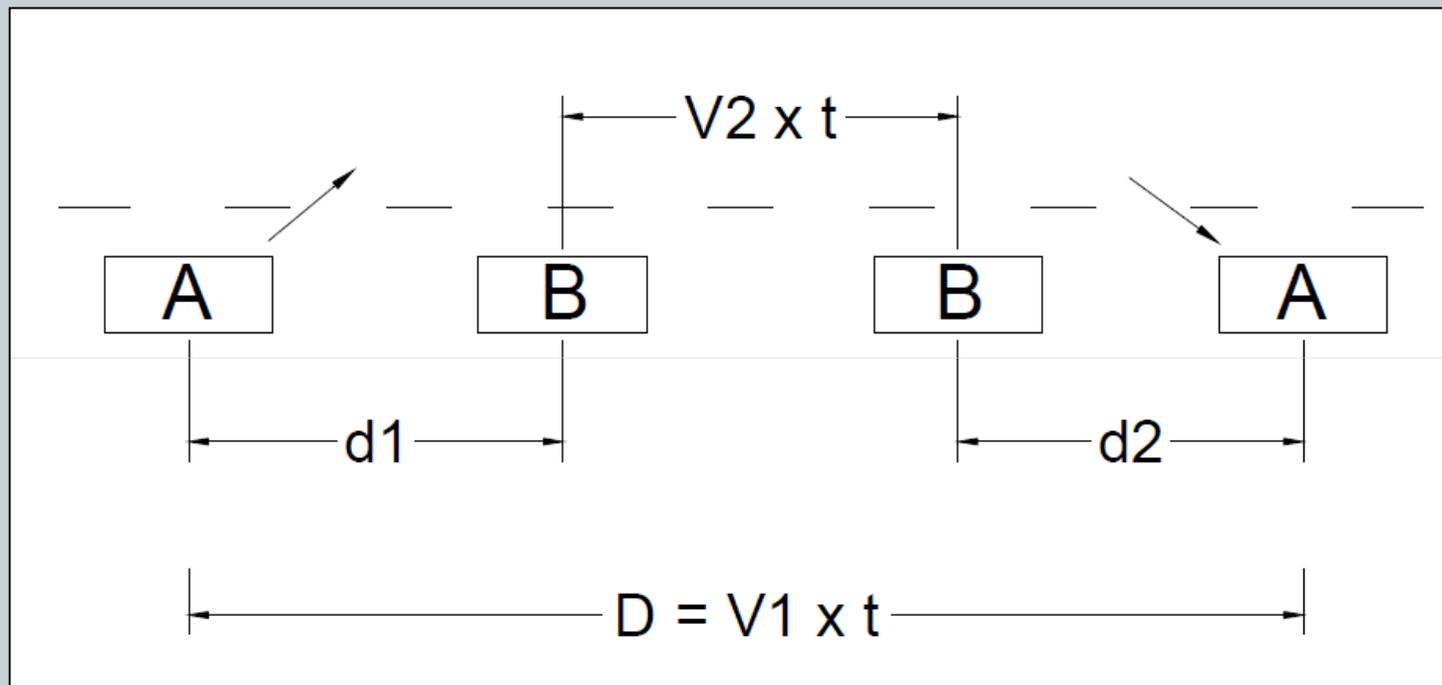
$$d_{ad} = 0,01 V^2 + 0,4 V / \text{Att. Diffuse}$$

$$d_{ac} = 0,01 V^2 + 0,2 V / \text{Att. Concentrée}$$

Le tracé routier



Distance de dépassement :



$$D = \frac{2V_1(0,2V_1 + 8)}{\Delta V}$$

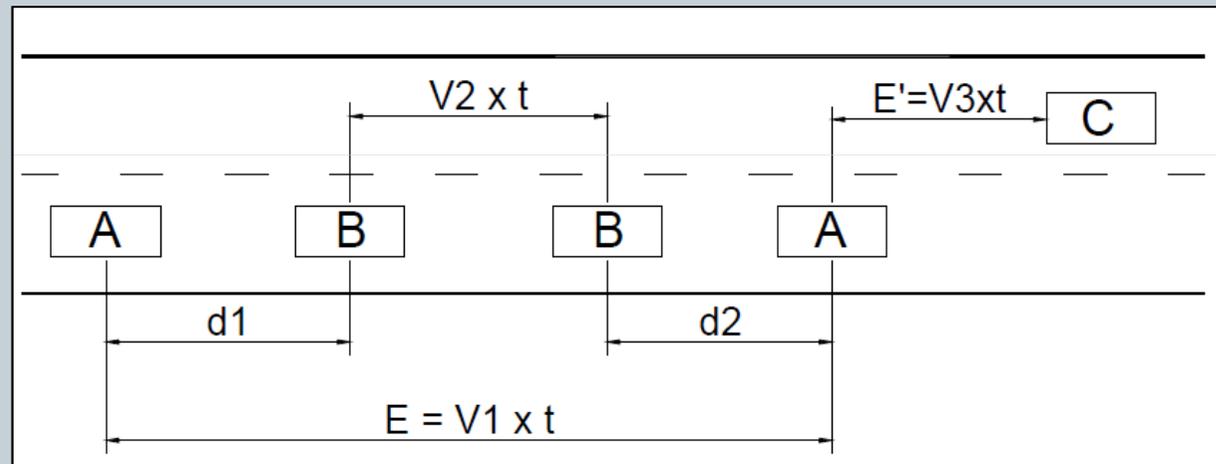
Le tracé routier



Distance de visibilité de dépassement :

Au 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 avoir à ralentir. $D_{vd} = 500$ m avec $V=80$ km/h et $V = 50$ km/h.

$$D_{vd} = \frac{V_1 (d_1 + d_2)}{V_1 - V_2} + \frac{V_3 (d_1 + d_2)}{V_1 - V_2}$$



Obligatoire : permettre à l'usager la visibilité à la distance d'arrêt.

Souhaitable : permettre à l'usager la visibilité à la distance de dépassement.

Le tracé routier



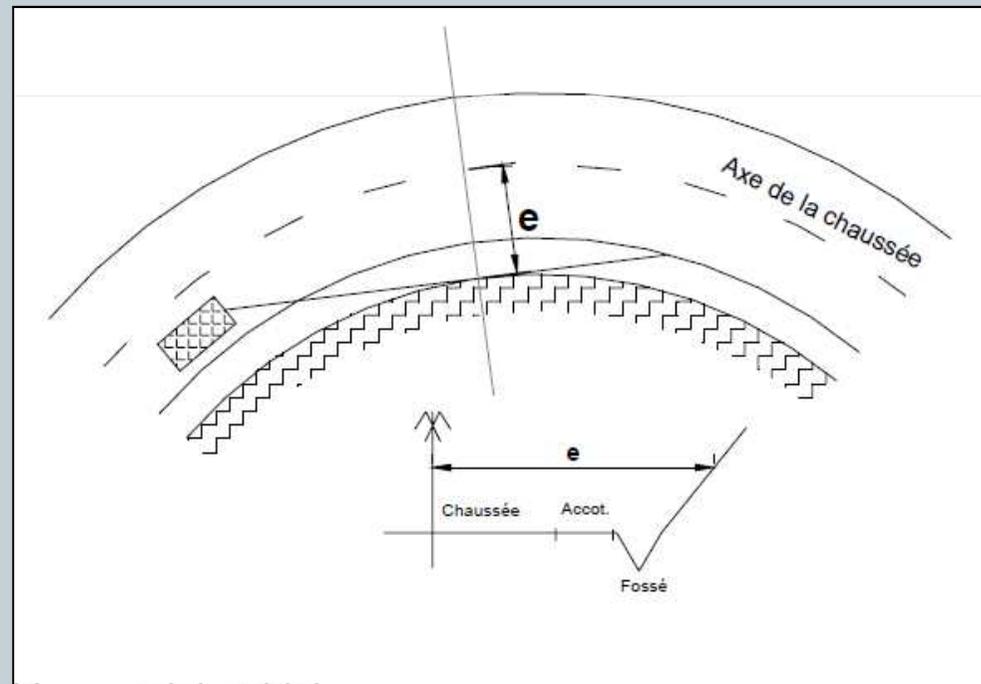
Visibilité à l'intérieur d'un virage :

$$e = da^2/(8R)$$

Avec :

da = distance d'arrêt

e = distance du talus à l'axe de la chaussée (flèche).



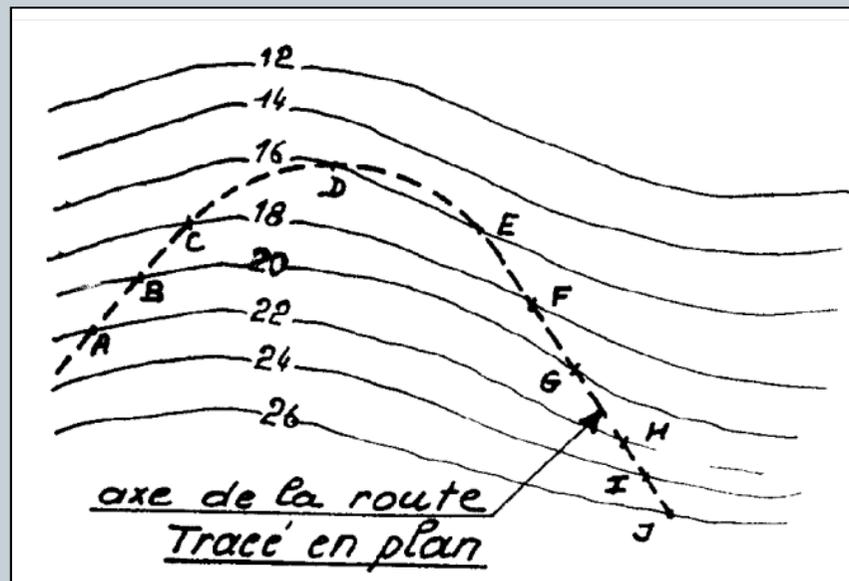
Le tracé routier



Tracé en plan :

L'axe de la route est la courbe gauche située à égale distance des bords extérieurs de la route.

Il s'agit d'une succession d'alignements (lignes droites) et d'arcs circulaires reliés entre eux par des raccordements.



Le tracé routier



Tracé en plan :

Le tracé dépend de très nombreux paramètres :

- catégorie de la route (vitesse de référence).
- passages obligés (villes, échangeurs, ouvrages d'art, etc.)
- zones à éviter (zones protégées, agglomérations, etc.)...

En fait, le tracé final est le résultat d'un long processus de réflexion et reste dans tous les cas un compromis entre :

- « l'idéal » de la ligne droite (monotonie!).
- les contraintes des lignes de niveau (optimisation entre le dénivelé du terrain rencontré et la déclivité maximale possible de l'ouvrage).
- les contraintes des rayons de courbure.
- le coût des terrassements (environ le quart du prix d'un ouvrage type autoroutier) et/ou d'autres ouvrages d'art conséquents.

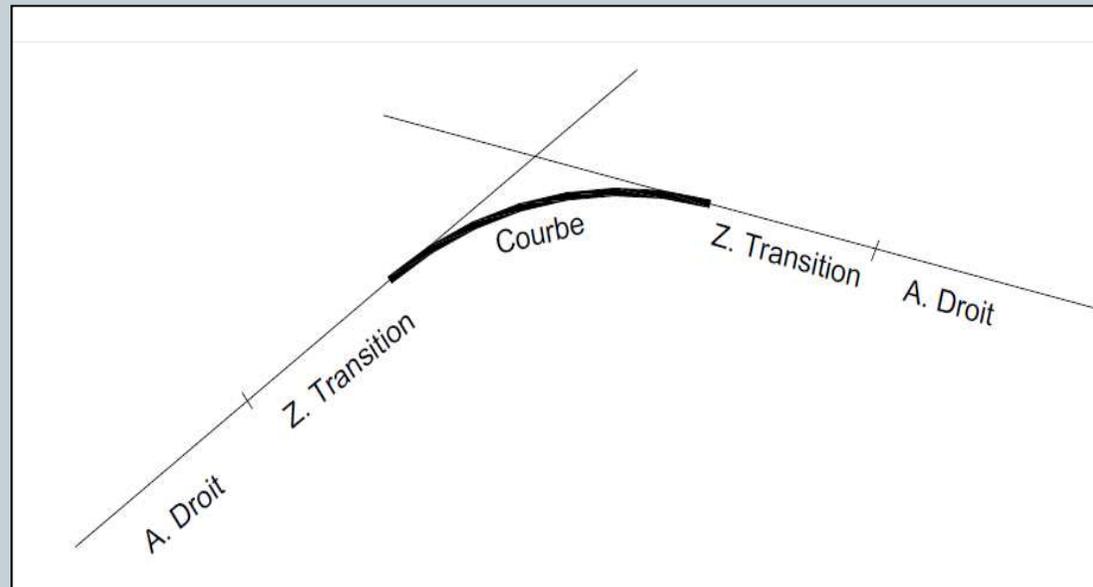
Le tracé routier



Tracé en plan :

La courbure est limitée pour des raisons de :

- visibilité
- stabilité et confort (même si introduction du dévers pour s'opposer à la force centrifuge)
- inscription des véhicules longs (cas particulier des lacets de montagne, etc.)



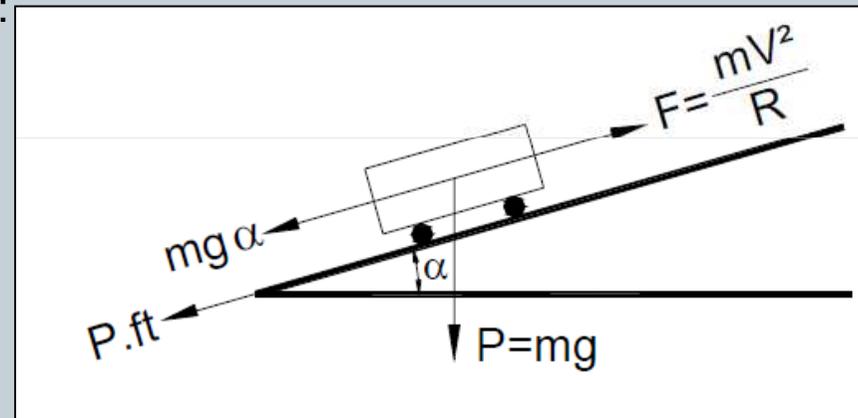
Le tracé routier



Tracé en plan :

Rayon de courbure en plan :

Les forces en présence qui équilibrent le véhicule dans une courbe relevée à l'inclinaison α se présentent suivant le schéma ci-dessous :



Soit : P : le poids du véhicule ($P=mg$).

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 .

α : l'angle que fait le plan de roulement par rapport à l'horizontal : **le devers**.

ft : la réaction transversale qui maintient le véhicule sur sa trajectoire.

Le tracé routier



Tracé en plan :

Rayon de courbure en plan :

$$R \geq \frac{V^2}{127(a + ft)}$$

V en Km/h et a en %.

Pour les Normes Marocaines, on a défini pour chaque catégorie 2 valeurs limites du rayon :

- R_{MN} : qui assure la stabilité d'un véhicule dans une courbe déversée à 4 %.
- R_{MA} : qui assure la stabilité d'un véhicule dans une courbe déversée à 7 %.

Vb / C	120 / Exp	100 / 1 ^{ère} C	80 / 2 ^{ème} C	60 / 3 ^{ème} C	40 / H.C
R_{MN}	1000	500	250	125	30
R_{MA}	700	350	175	75	15

Le tracé routier



Tracé 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 droit de longueur appropriée.

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 1m de largeur.
- soit d'un versant plan unique à 2,5 % (disposition réservée en principe aux chaussées unidirectionnelles).

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

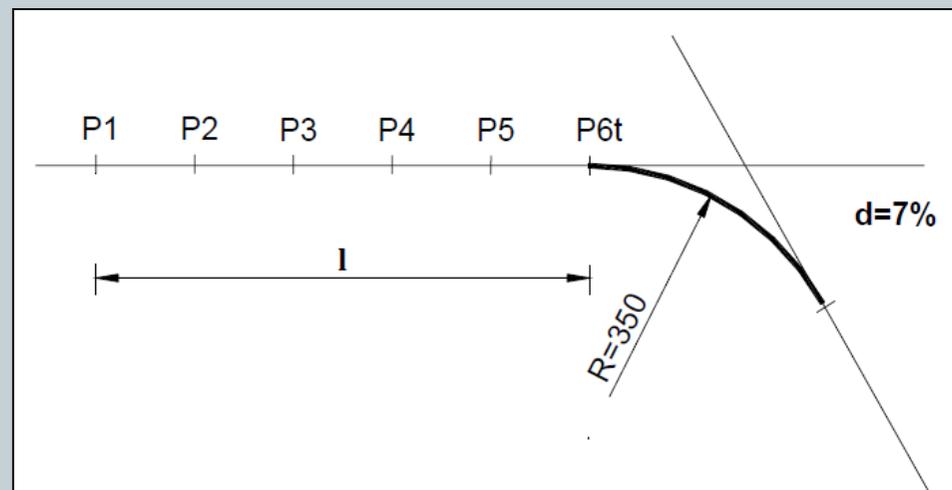
Le tracé routier



Tracé en plan :

Longueur de raccordement devers : l'objectif du raccordement consiste à introduire progressivement l'arc circulaire et son dévers (ou inversement si sortie de courbe) afin d'éviter des modifications brutales de l'équilibre du véhicule (recherche d'une variation progressive et continue de la force centrifuge subie par l'utilisateur).

Pour des raisons de conformité, le dévers est introduit à raison de 2% par seconde de temps de parcours à la vitesse de base de la catégorie considérée. Ce taux de variation peut être porté à 4% pour les routes de 3ème Catégorie et Hors catégorie.

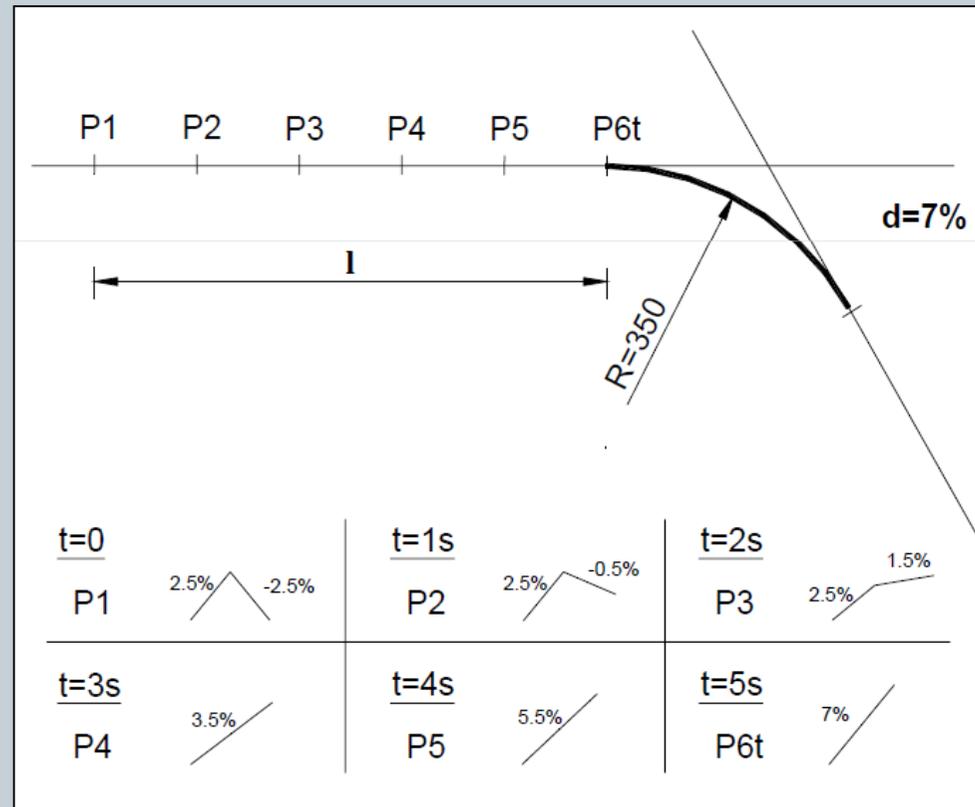


Le tracé routier



Tracé en plan :

Longueur de raccordement devers :



Le tracé routier



Tracé en plan :

Longueur de raccordement devers :

$$1 \text{ s} \longrightarrow 2 \%$$

$$\Rightarrow t = \frac{(d + 2,5)}{2}$$

$$t \text{ s} \longrightarrow (d + 2,5) \%$$

$$\Rightarrow l = V \cdot t = \frac{V}{3,6} \left(\frac{d + 2,5}{2} \right)$$

$$\Rightarrow \boxed{l = \frac{V(d + 2,5)}{7,2}}$$

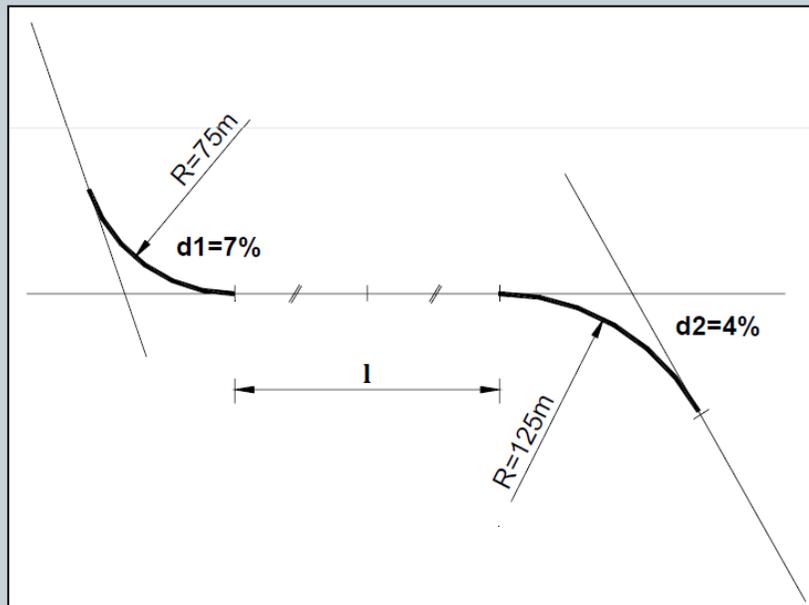
Le tracé routier



Tracé en plan :

Longueur de raccordement devers :

Exemple : 3ème catégorie - introduction à 4%



En T1 : 7% / , en T2 : 4% \

$$l_1 = \frac{V}{3,6} \cdot \frac{d_1}{4}$$
$$l_2 = \frac{V}{3,6} \cdot \frac{d_2}{4}$$

} ⇒
$$l = \frac{V}{3,6} \cdot \frac{d_1 + d_2}{4}$$

Le tracé routier



Tracé en plan :

Devers - rayon :

Excp		1 ^{ère} C		2 ^{ème} C		3 ^{ème} C	
R	d%	R	d%	R	d%	R	d%
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	Prof. Normal	140	3.5%
1150	3.5%	575	3.5%			150	3%
1200	3%	600	3%			160	3%
1250	3%	625	3%			170	2.5%
1300	3%	650	3%			175	2.5%
1350	2.5%	675	2.5%		>175	Prof. Normal	
1400 à 2000	2.5%	700 à 1000	2.5%				
>2000	Prof. Normal	>1000	Prof. Normal				

Le tracé routier



Tracé en plan :

Devers - rayon : valeurs intermédiaires :

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

$$d = \frac{1}{0,33 \cdot 10^{-3} \cdot R - 0,092} - 0,2 \quad \text{pour } C. \text{ Exceptionnelle}$$

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

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

$$d = \frac{1}{1,11 \cdot 10^{-3} \cdot R \pm 0,028} - 2 \quad \text{pour } 3^{\text{ème}} C$$

Le tracé routier



Tracé en plan :

Raccordements à courbure progressive (C P)

C. Exp :

Si $R < 1400\text{m}$ =====> C P

Si $R \geq 1400\text{m}$ =====> C P ou A D

1^{ère} C :

Si $R < 700\text{m}$ =====> C P

Si $R \geq 700\text{m}$ =====> C P ou A D

2^{ème} C :

Si $R < 350\text{m}$ =====> C P

Si $R \geq 350\text{m}$ =====> A D

3^{ème} C :

C P facultatif et si $R < 30\text{m}$ =====> Clothoïdes interdites

Le tracé routier



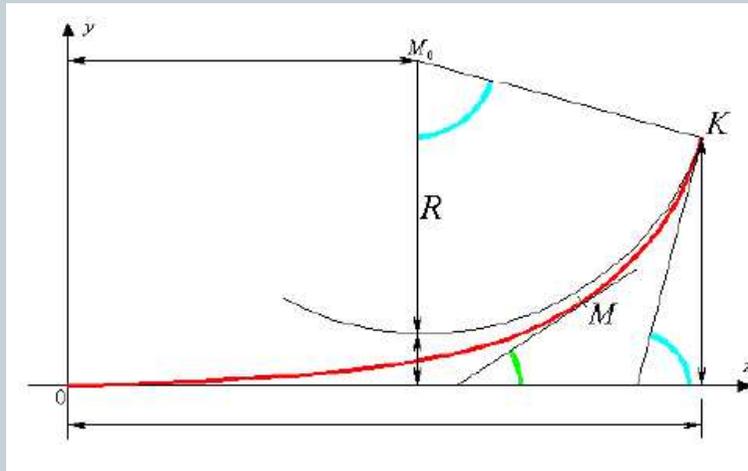
Tracé en plan :

Clothoïde :

La loi de raccordement progressive « Clothoïde » est simple : $R \cdot L = A^2 = \text{constante}$

Avec : A = paramètre-type; L = longueur curviligne; R = rayon du cercle

Elle correspond au cas d'une voiture qui roule à vitesse constante et qui tourne le volant également à vitesse constante.



Le tracé routier



Tracé en plan :

Clothoïde :

Paramètre-type :

Catégorie	Paramètres - type (A)
Excp	360 m
1 ^{ère} C	220 m
2 ^{ème} C	140 m
3 ^{ème} C	80 m
H. C.	40 m (peut être ramené à $1,25R$ pour les plus petits rayons)

Le tracé routier



Tracé en plan :

Calcul des éléments d'un Tracé en Plan :

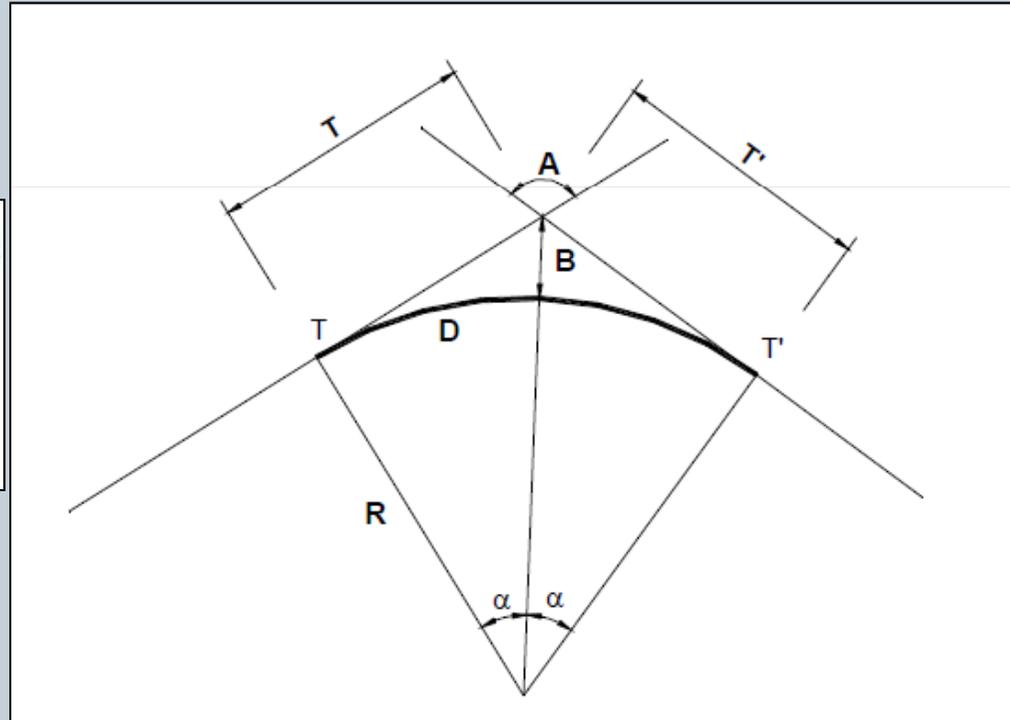
$$\alpha = \frac{200 - A}{2}$$

α et A : en grad

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

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

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



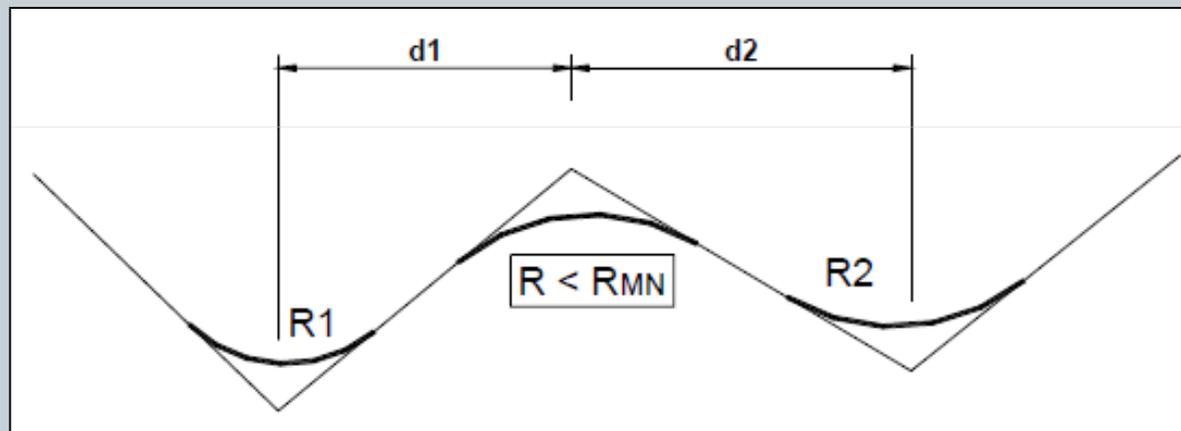
Le tracé routier



Tracé en plan :

Règles de continuité :

pour faire usage d'un rayon $R < R_{MN}$, il faut que : $(R1/R)$ et $(R2/R)$ soit $< (R_{MN}/R_{MA})$



Catégorie	Exp.	1 ^{ère} C	2 ^{ème} C	3 ^{ème} C
R concernés par la règle	1000 m	500 m	250 m	125 m
R_{MN} / R_{MA}	1 / 0,7	1 / 0,7	1 / 0,7	1 / 0,6

Le tracé routier



Tracé en plan :

Règles de continuité :

- d1 et d2 doivent être parcourus en un temps $<$ à 1 minute de temps de parcours à la vitesse de base.
- (d1 et d2 ; distances entre sommets en abscisses curvilignes).

Catégorie	Exp.	1 ^{ère} C	2 ^{ème} C	3 ^{ème} C	H.C
d1 et d2 max	2 km	1,67 km	1,33 km	1 km	0,67 km

Le tracé routier

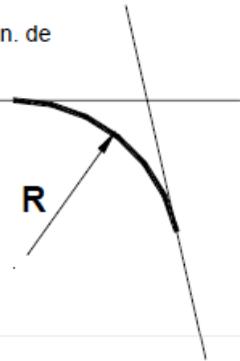


Tracé en plan :

Règles de continuité :

Le rayon d'une courbe rencontrée après un alignement droit (AD) d'une longueur correspondant à plus de 2 min de temps de parcours à la vitesse de base ne peut être inférieur au R_{MA} de la catégorie immédiatement supérieure.

A.D. (longueur correspond à plus de 2 min. de temps de parcours à V_b)



Catégorie	Excep.	1 ^{ère} C	2 ^{ème} C	3 ^{ème} C	H.C
Longueur de l'A.D au-delà de laquelle la règle est appliquée	4 km	3,33 km	2,67 km	2 km	1,34 km
Rmin à appliquer à la sortie de l'AD	-	700 m	350 m	175 m	75 m

Le tracé routier



Tracé en plan :

Règles de continuité :

Grands alignements droits = dangereux en raison de leur monotonie et des risques d'éblouissement : Longueur maximum = **3 à 5 Km**

Angle minimum entre alignements = **3°**

Le tracé routier

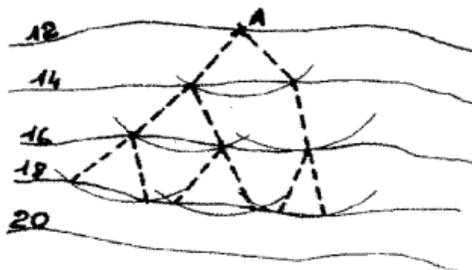
Tracé en plan :

TRACÉ THÉORIQUE

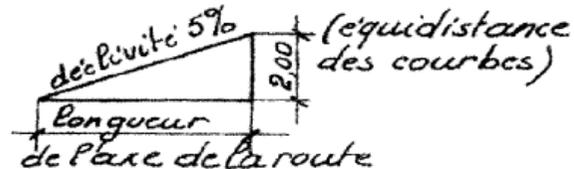
- Ce tracé est le résultat d'un compromis entre 2 solutions :
- la ligne droite : on se base sur la déclivité maxi que l'on veut impliquer à la route
 - la ligne suivant les courbes de niveau.

Principe du tracé : la longueur de l'ouvrage est indéterminée mais la déclivité maximale admise est imposée.

Méthode.



Soit par exemple un plan à l'échelle 1/2000^e comportant des courbes de niveau équidistantes de 2,00. Recherchons le tracé ayant une déclivité maximale de 5%



Pour franchir une différence de niveau de 2,00 m avec une déclivité de 5%, le tracé doit avoir une longueur de : 40 m

A partir du point A, on décrit sur le plan un arc de cercle de $r = 40$ m à l'échelle (1/2000^e) qui va couper la ligne de niveau 14 en des points d'où l'on continuera les arcs de cercle. On procède ainsi jusqu'au point d'arrivée.

Le tracé routier



Tracé en plan :

Cette méthode peut conduire à un nombre élevé de solutions. Parmi celles-ci on ne retient pas :

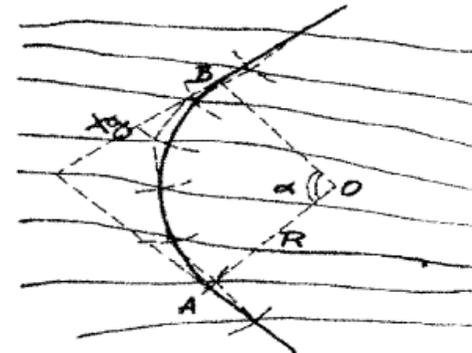
- celles conduisant à une longueur de l'ouvrage trop importante.
- les tracés trop en zig zag.

Finalement, on ne conserve qu'un nombre limité de solutions. Les tracés théoriques serviront de guide pour le tracé définitif.

TRACÉ RÉEL

Le tracé théorique obtenu par la méthode précédente est une ligne brisée qu'il convient de remplacer par des parties rectilignes et des parties courbes.

- Alignements droits.
- Courbes.

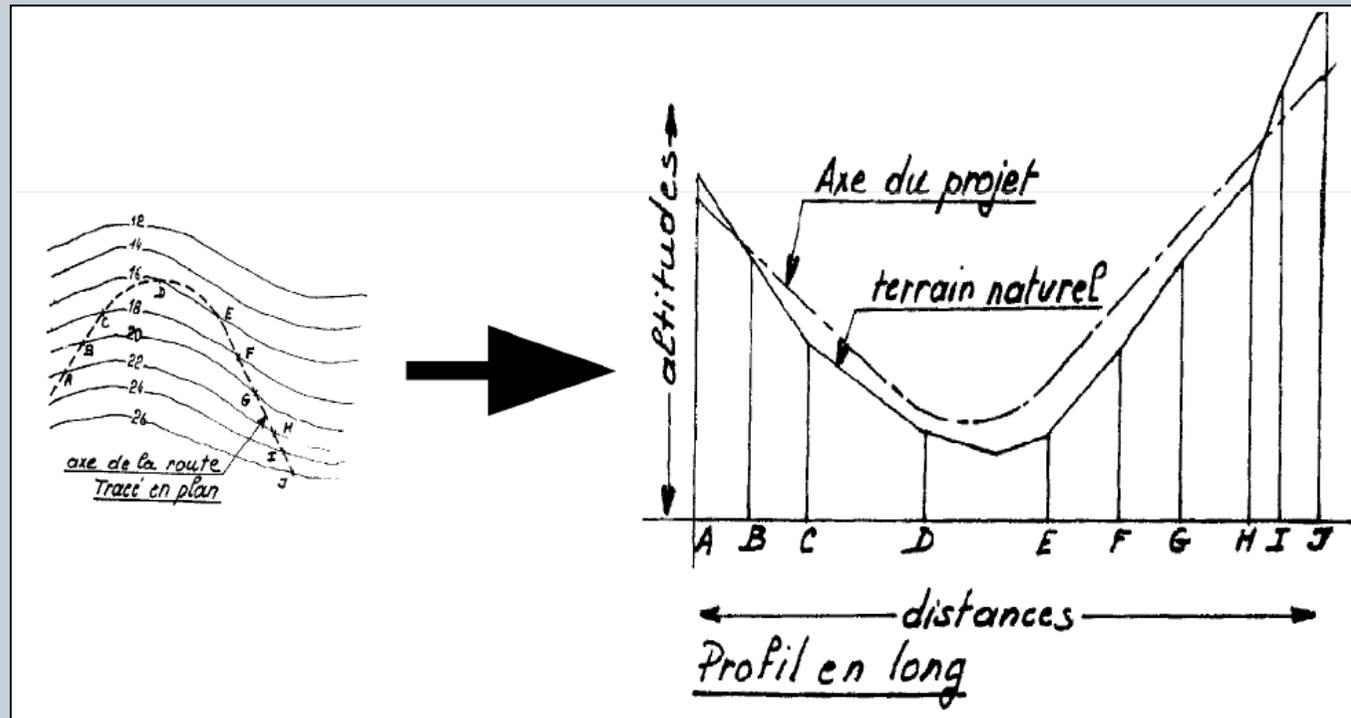


Le tracé routier



Profil en long :

Le profil en long correspond à la coupe longitudinale du terrain suivant le plan vertical passant par l'axe du tracé.



Le tracé routier



Profil en long :

Etape 1 :

Sur le tracé en plan de l'axe du projet :

- sont mesurées d'une part les distances horizontales séparant les points d'intersection de l'axe de la route avec les courbes de niveau.
- sont relevées les altitudes du terrain naturel (TN) au droit de chacun de ces points.

Etape 2 :

Dans un système d'axe orthonormé :

- report des distances horizontales suivant l'axe horizontal
- report des altitudes du terrain naturel suivant l'axe vertical

Tracé du profil en long du terrain naturel (TN)

Le tracé routier



Profil en long :

Etape 3 :

Détermination du profil en long de l'axe en superposant au profil en long du TN une courbe continue faite de succession de droite et de courbe qui doivent respecter les conditions suivantes :

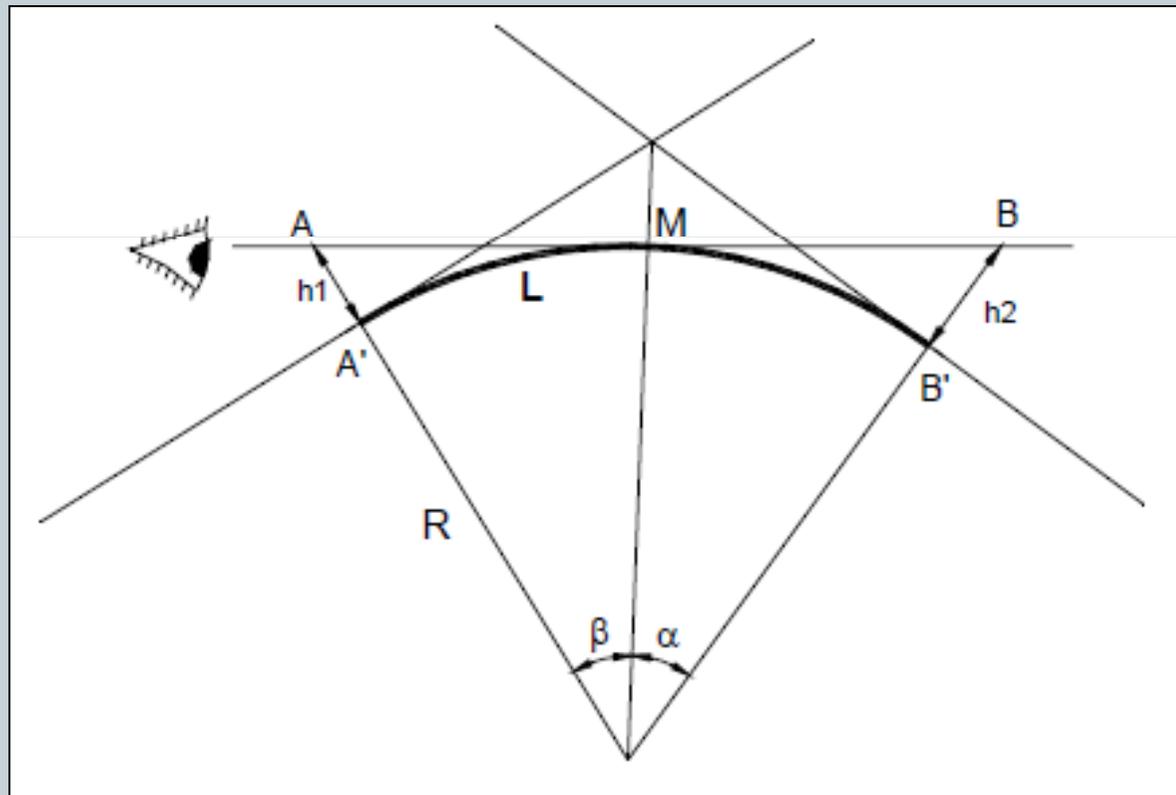
- Respect d'une déclivité maximale en fonction de la catégorie de la route.
- Garantie de visibilité au sommet des cotes,
- Garantie de confort entre deux parties de déclivités différentes et raccordements.

Le tracé routier



Profil en long :

Angles saillants :



Le tracé routier



Profil en long :

Angles saillants :

$$AM^2 = (h_1 + R)^2 - R^2 = h_1 (h_1 + 2R) \approx 2 h_1 R$$

$$BM^2 = 2 h_2 R$$

$$\Rightarrow Dv = AM + BM = \sqrt{2R} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

$$\Rightarrow R = \frac{Dv^2}{2(h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1 \cdot h_2})}$$

Pour $h_1 = 1.10$ m :

Vb (km/h)	$R_{MN} (h_2=0)$	$R_{MA} (h_2=0,3)$
40	-	1.000
60	2.000	1.500
80	4.000	1.800
100	9.000	4.000
120	16.000	7.000

Les rayons de courbure des raccordements saillants donnent la visibilité à la distance d'arrêt :

- Sur obstacle sans épaisseur avec le R_{MN}
- Sur obstacle de 0,30 m avec le R_{MA}

Le tracé routier



Profil en long :

Angles rentrants : pour des raisons de confort, la valeur du rayon est fixée de manière à limiter l'accélération normale à $g/30$.

$$\gamma_N = \frac{V^2}{R} < \frac{g}{30} \quad \Rightarrow \quad R > \frac{30 V^2}{g}$$

Avec : V : vitesse en m/s = $\frac{V}{3,6}$ km/h

g : l'accélération = $9,81 \text{ m/s}^2$

D'où :

$$R > \frac{30 V^2}{127}$$

Vb	Except.	1 ^{ère} C	2 ^{ème} C	3 ^{ème} C	H.C
R_{MN}	4.000	2.500	1.500	1.000	500

Le tracé routier



Profil en long :

Règles particulières :

- L'usage de déclivité $>$ à 4% (6% pour 3^{ème} C) est interdit, à moins qu'un calcul de rentabilité en prouve le bien fondé. (pour H.C : 7% et 12%) ; Elles ne peuvent en aucun cas régner sur plus de 2km, et seront, s'il y a lieu séparées par des paliers de 2% de déclivité max.
- Les changements de déclivité de moins de 0,46% se feront sans courbes de raccordement en profil en long ($\Delta q < 0,46\% \Rightarrow R=0$).

Le tracé routier



Profil en long :

Récapitulatif des normes fondamentales des Tracés en Plan et Profils en Long :

Excp (Vb=120km/h)			1 ^{ère} C (Vb=100km/h)			2 ^{ème} C (Vb=80km/h)			3 ^{ème} C (Vb=60km/h)			
R	d%	L (2%)	R	d%	L (2%)	R	d%	L (2%)	R	d%	L (2%)	L (4%)
700	7%	158.33	350	7%	131.94	175	7%	105.56	75	7%	79.17	39.58
750	6%	141.67	375	6%	118.06	200	5.5%	88.89	80	6.5%	75.00	37.50
800	5.5%	133.33	400	5.5%	111.11	225	4.5%	77.78	90	6%	70.83	35.42
850	5%	125.00	425	5%	104.17	250	4%	72.22	100	5%	62.50	31.25
900	4.5%	116.67	450	4.5%	97.22	275	3.5%	66.67	110	4.5%	58.33	29.17
950	4.5%	116.67	475	4.5%	97.22	300	3%	61.11	120	4%	54.17	27.08
1000	4%	108.33	500	4%	90.28	325	3%	61.11	125	4%	54.17	27.08
1050	3.5%	100.00	525	3.5%	83.33	350	2.5%	55.56	130	4%	54.17	27.08
1100	3.5%	100.00	550	3.5%	83.33	>350	Prof.		140	3.5%	50.00	25
1150	3.5%	100.00	575	3.5%	83.33		Normal		150	3%	45.83	22.92
1200	3%	100.00	600	3%	76.39				160	3%	45.83	22.92
1250	3%	91.67	625	3%	76.39				170	2.5%	41.67	20.83
1300	3%	91.67	650	3%	76.39				175	2.5%	41.67	20.83
1350	2.5%	83.33	675	2.5%	69.44				>175	Prof.		
1400 à 2000	2.5%	83.33	700 à 1000	2.5%	69.44					Normal		
>2000	Prof. Normal		>1000	Prof. Normal								
Tracé en Plan			Tracé en Plan			Tracé en Plan			Tracé en Plan			
Min. Normal		1.000	Min. Normal		500	Min. Normal		250	Min. Normal		125	
Min. Absolu		700	Min. Absolu		350	Min. Absolu		175	Min. Absolu		75	
Rayons non déversés		2000	Rayons non déversés		1000	Rayons non déversés		350	Rayons non déversés		175	
Profil en Long			Profil en Long			Profil en Long			Profil en Long			
<i>Angle Saillant</i>			<i>Angle Saillant</i>			<i>Angle Saillant</i>			<i>Angle Saillant</i>			
Min. Normal		16.000	Min. Normal		9.000	Min. Normal		4.000	Min. Normal		2.000	
Min. Absolu		7.000	Min. Absolu		4.000	Min. Absolu		1.800	Min. Absolu		1.500	
<i>Angle Rentrant</i>			<i>Angle Rentrant</i>			<i>Angle Rentrant</i>			<i>Angle Rentrant</i>			
Min. Unique		4.000	Min. Unique		2.500	Min. Unique		1.500	Min. Unique		1.000	

Le tracé routier

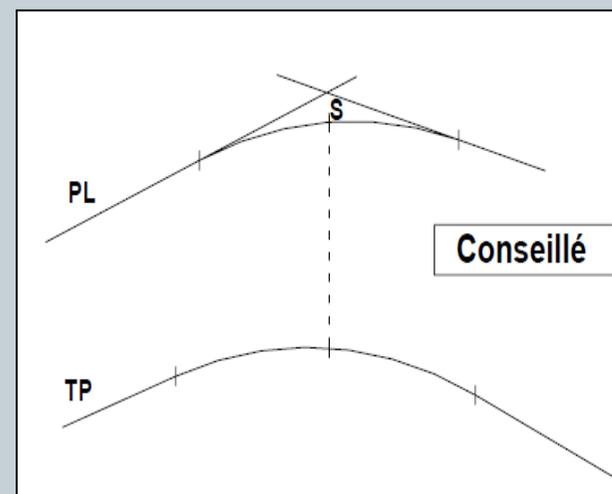
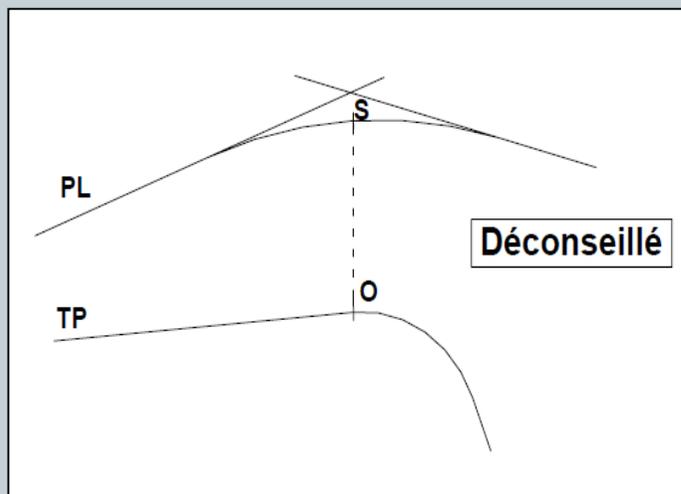


Profil en long :

Coordination du Tracé en Plan et du Profil en Long :

En angle saillant :

- Règle : Il ne faut pas coïncider le sommet de la parabole PL avec l'origine de la courbe en TP.
- Objectif : Eviter que le virage soit masqué par le sommet de la parabole.

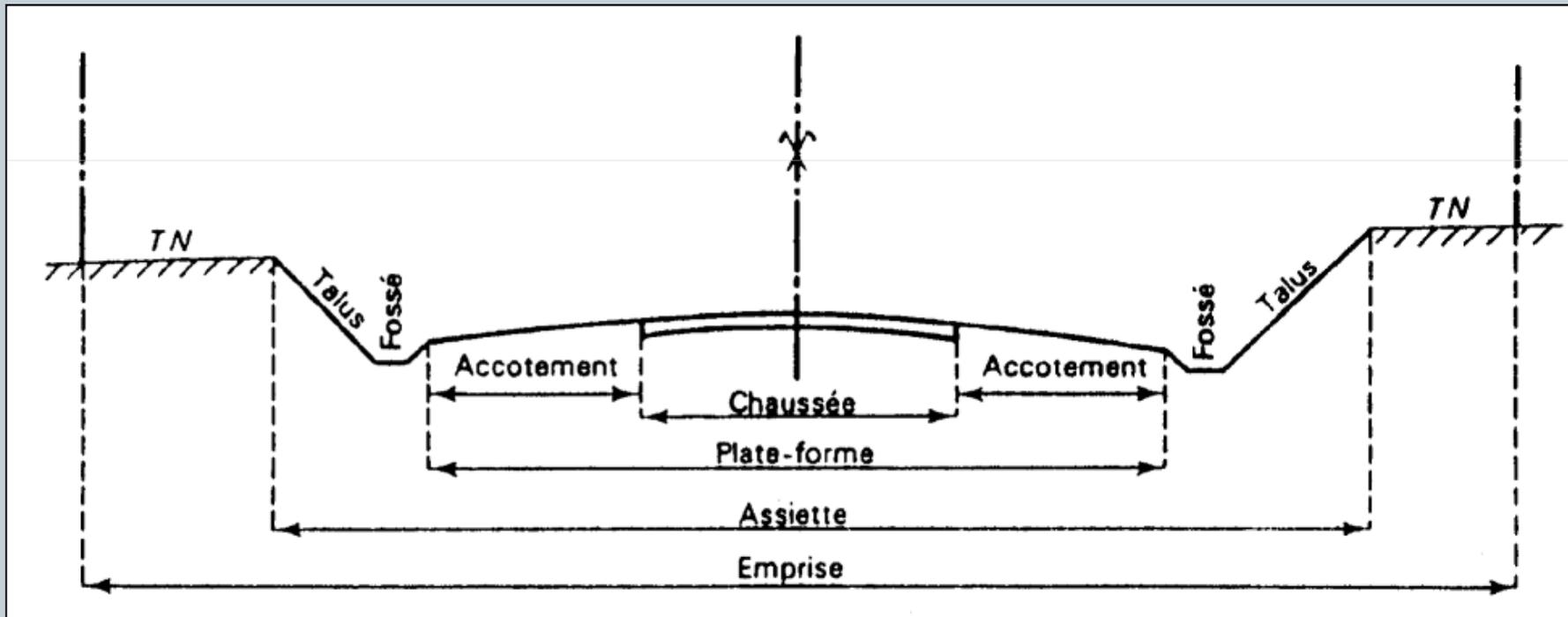


Le tracé routier



Profil en travers :

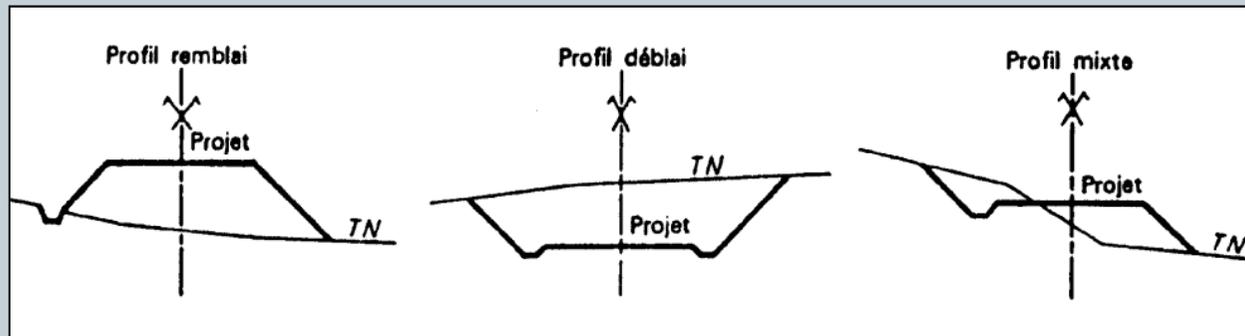
Le profil en travers est une coupe transversale de l'ouvrage selon un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la chaussée.



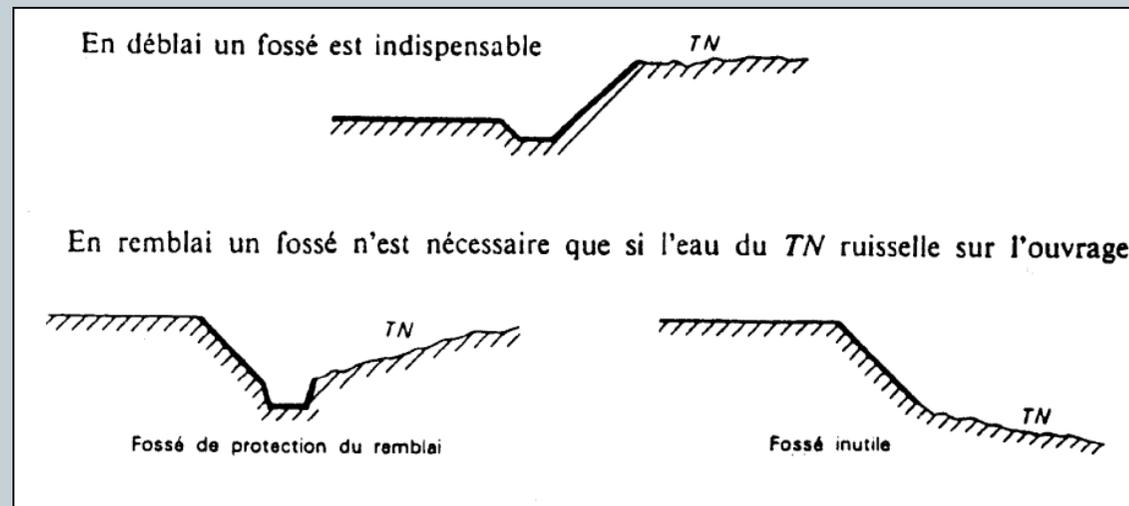
Le tracé routier



Profil en travers :



Fossés : tranchées creusées dans le terrain pour l'écoulement des eaux. Pente longitudinale continue obligatoire.



Le tracé routier



Profil en travers :

Fonctions :

Etablis à partir du profil en long et du plan topographique, les profils en travers décomposent ce dernier en tronçon. Leur position est fonction des dénivelés du terrain et des points singulier (raccordement alignement - courbe,...).

Ils permettent de :

- tracer le plan général.
- définir les conditions des drainages (fossés, pentes).
- calculer les cubatures de terrassement.
- déterminer l'assiette, l'emprise et les terrains à acquérir.

Plan général

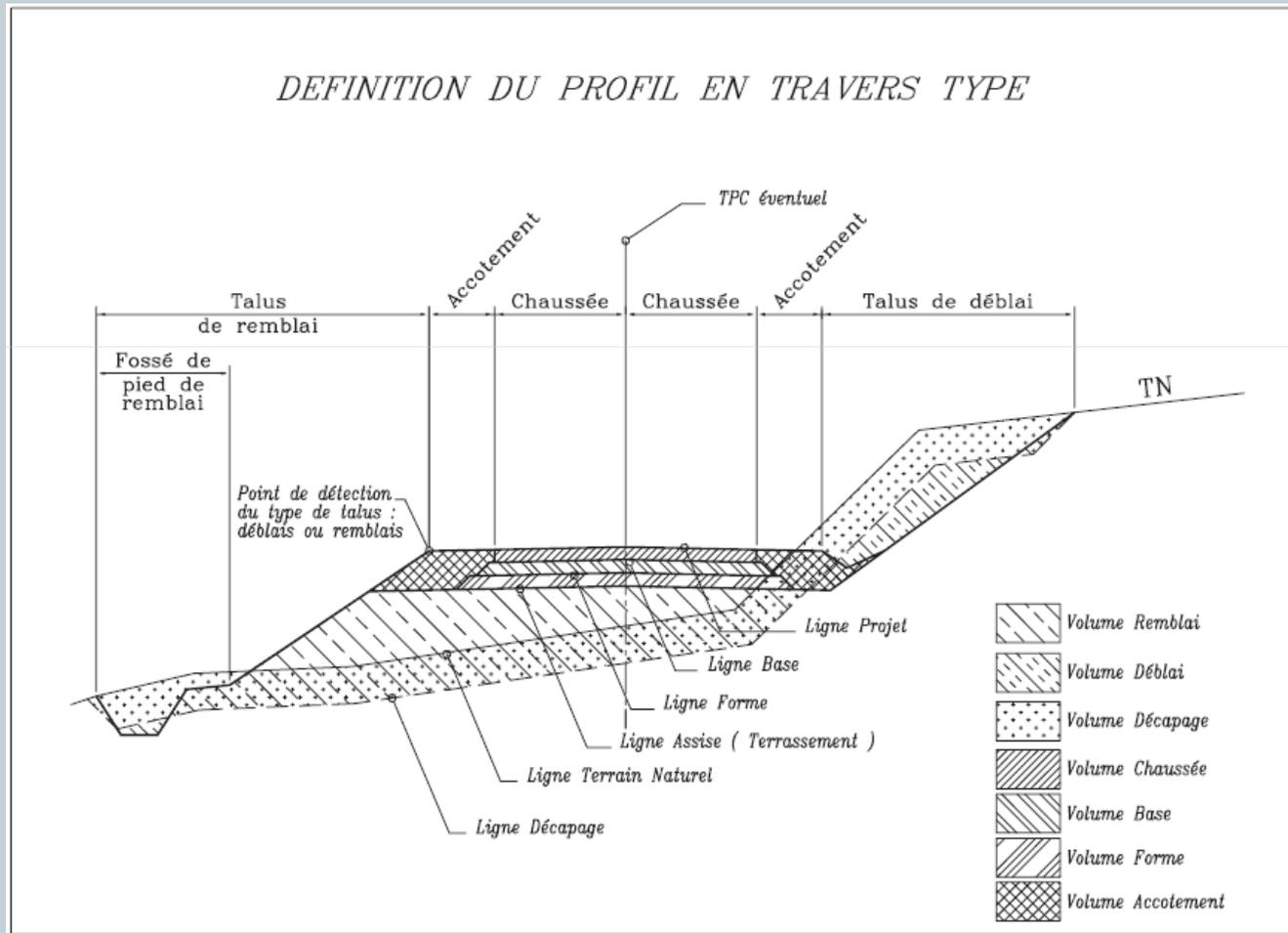
Pratiquement, le tracé en plan définitif de l'axe s'insère dans un plan général comprenant :

- tous les détails de la voie projeté (visualisation des remblais, déblais, etc.)
- un fond topographique.

Le tracé routier



Profil en travers :



Le tracé routier



Logiciel PISTE :

