

IV.1- Introduction

Lors de l'élaboration de tout projet routier l'ingénieur doit commencer par la recherche du couloir de la route dans le site concerné.

Le tracé en plan est une succession de droites reliées par des liaisons. Il représente la projection de l'axe routier sur un plan horizontal qui peut être une carte topographique ou un relief schématisé par des courbes de niveau.

Les caractéristiques des éléments constituant le tracé en plan doivent assurer les conditions de confort et de stabilité et qui sont données directement dans les codes routiers en fonction de la vitesse de base et le frottement de la surface assuré par la couche de roulement.

IV.2- Règlements de la trace en plan

Les normes exigées et utilisées dans notre projet sont résumées dans le B40, il faut respecter ces normes dans la conception ou dans la réalisation. Dans ce qui suit, on va citer certaines exigences qu'elles nous semblent pertinentes.

- L'adaptation de tracé en plan au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants.
- Le raccordement de nouveau tracé au réseau routier existant
- Eviter de passer sur des terrains agricoles et des zones forestières
- Eviter au maximum les propriétés privées
- Eviter le franchissement des oueds afin d'éviter le maximum d'ouvrages d'arts et cela pour des raisons économiques.
- Eviter les sites qui sont sujets a des problèmes géologiques.
- Limiter le pourcentage de longueur des alignements entre 40% et 60% de la longueur total de tracé.

IV.3- la vitesse de référence (de base)

La vitesse de référence (V_B) c'est le paramètre qui permet de déterminer les caractéristiques géométriques minimales d'aménagement des points singuliers pour le confort et la sécurité des usagers, la vitesse de référence ne devrait pas varier sensiblement entre les sections différentes, un discontinuité perceptible à l'utilisateur (traverser d'une ville, modification du relief, etc...).

Chapitre IV

Trace en plan

choix de la vitesse de référence

Le choix de la vitesse de référence dépend de :

- Type de route.
- Importance et genre de trafic.
- Topographie.
- Condition économiques d'exécution et d'exploitation.

IV.4- paramètres fondamentaux

Notre projet s'agit d'une route de catégorie L1 (selon ECTAAL) ou Catégorie C1 (selon B40), dans environnement E2, avec une vitesse de base $V_B = 120$ Km/h.

Ces données nous aident à tirer les caractéristique suivantes qui sont inspirées des l'ICTAAL et des normes B40.

Tab10 : Paramètres du tracé en plan

Paramètre	Symboles	Valeurs	Unités
Vitesse	V_B	120	Km/h
Longueur minimal	L_{\min}	167	m
Longueur maximal	L_{\max}	2000	m
Devers minimal	d_{\min}	2.5	%
Devers maximal	d_{\max}	7	%
Temps de perception	t_l	1.8	s
Frottement longitudinal	f_L	0.33	
Frottement transversal	f_t	0.10	
Distance de freinage	d_0	175	m
Distance d'arrêt	d_1	235	m
Distance de visibilité de dépassement minimale	d_m	550	m
Distance de visibilité de dépassement normale	d_N	800	m
Distance de visibilité de manœuvre de dépassement	d_{Md}	425	m
R_{Hm}	R_{Hm}	650 (7%)	m (%)
R_N	R_N	1000(5%)	m (%)
R_{Hd}	R_{Hd}	2200(2.5%)	m (%)
R_{Hnd}	R_{Hnd}	3200(-2.5%)	m (%)

IV.5- éléments de la trace en plan

L'axe du tracé en plan est constitué d'une succession d'alignements droits, des arcs de cercles et certains courbes de raccordement appelées clothoïdes comme schématisé ci-dessous :

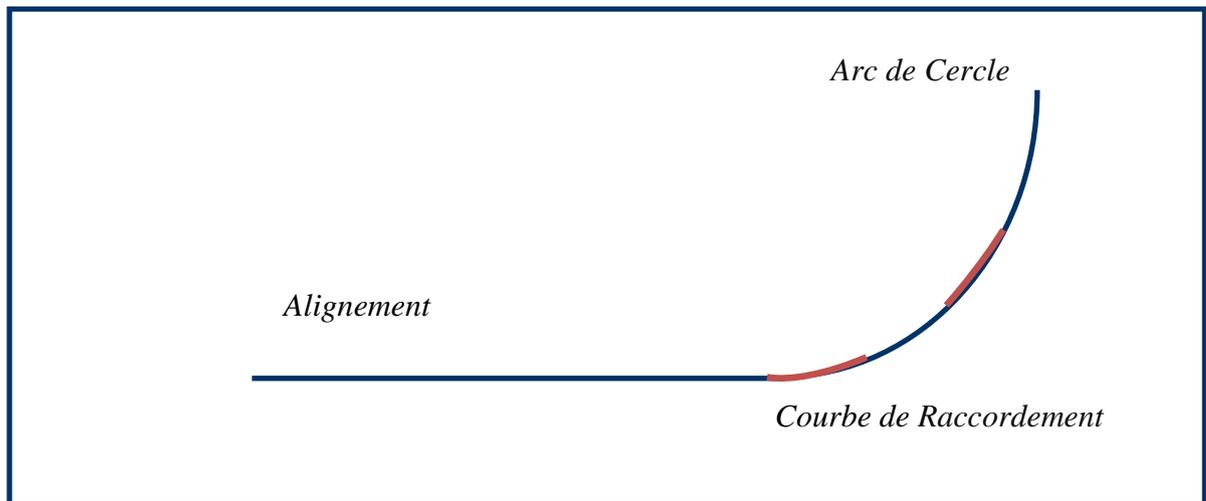


Fig.6.Eléments du tracé en plan

IV.5.1- alignements droits

Il existe une longueur minimale d'alignement L_{\min} qui devra séparer deux courbes circulaires de même sens, cette longueur sera prise égale à la distance parcourue pendant 5 secondes à la vitesse maximale permise par le plus grand rayon des deux arcs de cercles.

Si cette longueur minimale ne peut pas être obtenue, les deux courbes circulaires sont raccordées par une courbe en C ou Ove.

$$L_{\min} = 5 \frac{V_B}{3.6} \text{ avec } V \text{ en (m/s)}$$

La longueur maximale L_{\max} est prise égale à la distance parcourue pendant 60 seconds.

$$L_{\min} = 60 \frac{V_B}{3.6} \text{ avec } V \text{ en (m/s)}$$

Dans notre projet : $L_{\min} = 166.67 \text{ m}$

$L_{\max} = 1999.99 \text{ m}$

IV.5.2- Arc de cercle

Trois éléments interviennent pour limiter la courbe :

- Stabilité, sous la sollicitation centrifuge des véhicules circulant à grande vitesse.
- Inscription des véhicules longs dans les courbes de rayon faible. Pour cela on essaie de choisir des rayons les plus grands possibles pour éviter de descendre en dessous du rayon minimum préconisé.
- La visibilité dans les tranchées en courbe.

Le véhicule subit en courbe une instabilité à l'effet de la force centrifuge, afin de réduire de cet effet on incline la chaussée transversalement vers l'intérieur, pour éviter le glissement des véhicules en temps plusieurs, en fait de fortes inclinaisons d'ou are cours à augmenter le rayon.

IV.5.2.1- Rayon horizontal minimal absolu

$$R_{min} = \frac{V_r^2}{127(f_t + d_{max})}$$

Ainsi pour chaque V_r on définit une série de couple (R_{min} , d_{max}).

IV.5.2.2- Rayon minimal normal

Le rayon minimal normal (R_{HN}) doit permettre à des véhicules dépassant V_r de 20km/h de roulés en sécurité.

$$R_{HN} = \frac{(V_r + 20)^2}{127(f_t + d_{max})}$$

Chapitre IV

Trace en plan

IV.5.2.3- Rayon au dévers minimal

C'est le rayon au dévers minimal, au-delà duquel les chaussées sont déversées vers l'intérieur du virage et tel que l'accélération centrifuge résiduelle à la vitesse V_r serait équivalente à celle subie par le véhicule circulant à la même vitesse en alignement droit.

Le dévers associé $d_{\min} = 2.5\%$.

$$R_{Hd} = \frac{V_r^2}{127 \times 2 \times d_{\min}}$$

IV.5.2.4- Rayon minimal non déversé

Si le rayon est très grand, la route conserve son profil en toi et le dévers est négatif pour l'un des sens de circulation ; le rayon min qui permet cette disposition est le rayon min non déversé (R_{hnd}).

$$R_{hnd} = \frac{V_r^2}{127(f' - d_{\min})}$$

Avec :

$$f' = 0.06 \quad \text{cat 1-2}$$

$$f' = 0.07 \quad \text{cat 3}$$

$$f' = 0.075 \quad \text{cat 4-5}$$

IV.5.2.5- Règles pour l'utilisation des rayons en plan

Il n'y a aucun rayon inférieur à R_{Hm} , on utilise autant des valeurs de rayon $\geq R_{Hn}$ que possible.

Les rayons compris entre R_{Hm} et R_{Hd} sont déversés avec un dévers interpolé linéairement en $1/R$ arrondi à 0,5% près entre d_{\max} et $d(R_{Hm})$.

Si $R_{Hm} < R < R_{Hn}$:

$$d = \frac{d_{\max} - d(R_{Hn})}{\left(\frac{1}{R_{Hn}} - \frac{1}{R_{Hd}}\right)} \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_{Hd}}\right) + d_{\max}$$

Entre $d(R_{Hn})$ et d_{\min} si $R_{Hn} < R < R_{Hd}$

$$d = \frac{d(R_{Hn}) - d_{\min}}{\left(\frac{1}{R_{Hn}} - \frac{1}{R_{Hd}}\right)} \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_{Hd}}\right) + d_{\min}$$

Chapitre IV

Trace en plan

Les rayons compris entre R_{Hd} et R_{Hnd} sont en dévers minimal d_{min} .

Un rayon R_{Hm} doit être encadré par des R_{Hn} .

IV.5.2.6- Surlargeur

Un long véhicule à 2 essieux, circulant dans un virage, balaye en plan une bande de chaussée plus large que celle qui correspond à la largeur de son propre gabarit.

Pour éviter qu'une partie de sa carrosserie n'empiète sur la voie adjacente, on donne à la voie parcourue par ce véhicule une sur largeur par rapport à sa largeur normale en alignement.

$$S = L^2 / 2R$$

L : longueur du véhicule (valeur moyenne $L = 5m$).

R : rayon de l'axe de la route.

IV.5.3- Courbes de raccordements

Le passage de l'alignement droit au cercle ne peut se faire brutalement, mais progressivement à l'aide d'une courbe dont la courbure croit linéairement de $R=\infty$ jusqu'à $R=R_{cercle}$, pour assurer :

- ✓ Une stabilité transversale des véhicules.
- ✓ Le confort des passagers.
- ✓ Un tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant.

Mathématiquement, plusieurs de courbes de raccordement peuvent assurer ces conditions. Toute fois, la clothoïde reste la plus adéquate et la plus utilisable dans les projets de route.

IV.5.3.1- Expression de la clothoïde

la courbure est linéairement proportionnelle à l'abscisse curviligne L(ou longueur de la clothoïde).

$$K = C \times L ; K = \frac{1}{R} ; L \times R = \frac{1}{C}$$

Chapitre IV

Trace en plan

On pose : $1/R = A^2 \Rightarrow A^2 = L \times R$

C'est-à-dire, pour un paramètre A choisi, le produit de la longueur L par le rayon R est constant.

IV.5.3.2- Eléments de la clothoïde

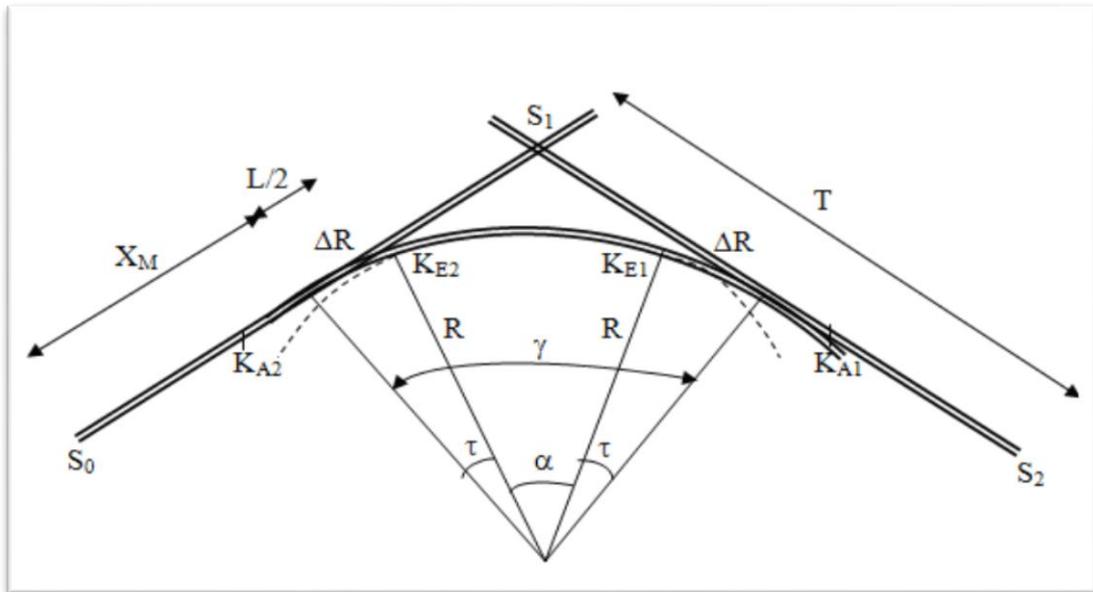


fig.7. éléments de clothoïde.

- A : Paramètre de la clothoïde.
- M : Centre de cercle.
- R : Rayon de cercle.
- K_A : Origine de la clothoïde.
- K_E : Extrémité de la clothoïde.
- L : longueur de la branche de la clothoïde.
- ΔR : Mesure de décalage entre l'élément droit de l'arc du cercle (le ripage).
- X_m : Abscisse du centre du cercle.
- τ : Angle des tangentes.
- X : Abscisse de K_E .
- Y : Origine de K_E .
- T_K : tangente courte.
- T_L : tangente longue.
- S_L : Corde ($K_A - K_E$).
- σ : Angle polaire (angle de corde avec la tangente).

Chapitre IV

Trace en plan

IV.5.3.3- Condition de raccordement

La longueur de raccordement progressif doit être suffisante pour assurer les conditions suivantes :

Condition optique

C'est une condition qui permet d'assurer à l'utilisateur une vue satisfaisante de la route et des obstacles éventuels.

L'orientation de la tangente doit être supérieure à 3° pour être perceptible à l'œil.

$$\tau \geq 3^\circ \quad \text{Soit} \quad \tau \geq 1/18 \text{ rad.}$$

$$\tau \geq L/2R > 1/18 \text{ rad} \Rightarrow L \geq R/9 \text{ soit } A \geq R/3.$$

$$R/3 \geq A \geq R.$$

$$\text{Pour } 1000 > R \Rightarrow \Delta R = 0.5m \text{ à } 1m \text{ C'est-à-dire } L = 4.24R^{1/2}$$

$$\text{Pour } 1000 < R \leq 2000m \Rightarrow \Delta R = 1m \text{ à } 1.75 \text{ (éventuellement } 0.5m) \text{ d'où } L = 5.74(R)^{1/2}$$

$$\text{Pour } 2000 < R \leq 5000m, \Delta R = 1.75 \text{ à } 2.5m \text{ C'est-à-dire } L = 7.14R^{1/2}$$

$$\text{Pour } R > 5000m \Rightarrow \Delta R = 2.5m \text{ soit } L = 7.75(R)^{1/2}$$

Condition de confort dynamique

Cette condition consiste à limiter le temps de parcours d'un raccordement et la variation par unité de temps de l'accélération transversale d'un véhicule.

La variation de l'accélération transversale est : $(\frac{V^2}{R} - g \cdot \Delta d)$

Ce dernier est limité à une fraction de l'accélération de pesanteur $Kg = g/0.2V_B$

Avec une gravitation $g = 9.8m/s^2$ on opte :

$$L \geq 0.2 \frac{V_B^2}{3.6} \left(\frac{V_B^2}{127.R} - \Delta d \right)$$

V_B : vitesse de base (Km/h)

R : le rayon (m).

Δd : La variation de dévers.

Chapitre IV

Trace en plan

Condition de gauchissement

La demi-chaussée extérieure au virage de condition relative est une surface gauche qui imprime un mouvement de balancement au véhicule. Le raccordement doit assurer un aspect satisfaisant dans les zones de variation de dévers.

A cet effet on limite la pente relative de profil en long du bord de la chaussée déversé et de son axe de telle sorte : $\Delta p \leq \frac{0.5}{V_B}$

Nous avons :

$$L \geq \frac{l \cdot \Delta d \cdot V_B}{50} \quad l : \text{largeur de chaussée}$$

IV.6- calcul d'axe

Cette étape ne peut être effectuée parfaitement qu'après avoir déterminé le couloir par lequel passera la voie

Le calcul d'axe consiste à déterminer tous les points de l'axe, en exprimant leurs coordonnées ou direction dans un repère fixe. Ce calcul se fait à partir d'un point fixe dont on connaît ses coordonnées, et il doit suivre les étapes suivant :

- Calcul des gisements.
- Calcul de l'angle.
 - entre alignements.
- Calcul de la tangente **T**.
- Calcul de la corde **SL**.
- Calcul de l'angle polaire σ .
- Vérification de non chevauchement.
- Calcul de l'arc de cercle.
- Calcul des coordonnées des points singuliers.
- Calcul de kilométrage des points particuliers.

Chapitre IV

Trace en plan

IV.7- Calcul manuel des raccordements

Courbe avec clothoïde

Pour illustrer notre travail de calcul d'axe, il nous semble qu'il est intéressant de détailler au moins un calcul d'une liaison de notre axe. La liaison que l'on choisi se situe au début de notre projet (liaison 1)

Les coordonnées des sommets et le rayon utilisé sont comme suite :

$V_B=120 \text{ Km/h}$	X(m)	Y(m)	$R_1(m)$
$S_1(P_1)$	515690.049	3802479.059	1000
$S_2(P_2)$	515184.963	3801291.944	
$S_3(P_3)$	514623.282	3800209.847	

Détermination de L

Condition de confort optique

$$R \leq 1000$$

On prendre $\Delta R = 0.5\text{m à } 1\text{m}$

$$\text{Donc } L \geq 4.24\sqrt{1000} = \mathbf{134\text{m}}$$

Condition de (confort dynamique + gauchissement)

$$L \geq \frac{5}{36} \times \Delta d \times V_B$$

$$R_{HN} \leq R \leq R_{Hd}$$

$$\Delta d = d - (-2.5)$$

$$d = d_{\min} + \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_{Hd}}\right) \frac{d_{\min} - dR_{RHN}}{\frac{1}{R_{Hd}} - \frac{1}{R_{HN}}}$$

$$d = 5\%$$

Chapitre IV

Trace en plan

$$L \geq \frac{5}{36} \times (5\% - (-2.5)) \times 120$$

$$L \geq 116.67\text{m}$$

$$L = \max(134 ; 116.67)$$

Donc on prend : $L = 134 \text{ m}$

Calcul du paramètre A

On sait que : $A^2 = L \times R$

$$A = \sqrt{L \times R} = 366.06$$

Donc on prend : $A = 366$

La condition $\frac{R}{3} \leq A_{min} \leq R$ elle est vérifiée, ($333 \leq A_{min} = 366 \leq 1000$)

Calcul de ΔR

$$\Delta R = \frac{L^2}{24 \times R} = \frac{155^2}{24 \times 1000} = 1\text{m}$$

Calcul des gisements

Le gisement d'une direction est l'angle fait par cette direction avec le nord géographique dans le sens des aiguilles d'une montre.

$$G_{S1}^{S2} = \arctg\left(\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|}\right) \Rightarrow G_{S1}^{S2} = \arctg\left(\frac{|515690.049 - 515184.963|}{|3802479.059 - 3801291.944|}\right)$$

$$G_{S1}^{S2} = 25.61\text{gr}$$

$$G_{S2}^{S3} = \arctg\left(\frac{|\Delta X|}{|\Delta Y|}\right) \Rightarrow G_{S2}^{S3} = \arctg\left(\frac{|515184.963 - 514623.282|}{|3801291.944 - 3800209.847|}\right)$$

$$G_{S2}^{S3} = 30.48\text{gr}$$

Chapitre IV

Trace en plan

Calcul de l'angle γ

$$\gamma = |G_{S1}^{S2} - G_{S2}^{S3}| = 4.87 \text{ gr}$$

Calcul de l'angle

$$\tau = \frac{L}{2 \times R} \times \frac{200}{\pi} = 4.93 \text{ gr}$$

Vérification de non chevauchement

$$\tau = 4.93 \text{ gr}$$

$$\frac{\gamma}{2} = \frac{4.87}{2} = 2.435 \text{ gr d'où } \tau > \frac{\gamma}{2} \Rightarrow \text{pas chevauchement}$$

Calcul des distances

$$\overline{S1 S2} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = \sqrt{(505.086)^2 + (1187.115)^2} = 1290.09 \text{ m}$$

$$\overline{S2 S3} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} = \sqrt{(561.63)^2 + (1082.097)^2} = 1219.16 \text{ m}$$

Calcul de l'abscisse du centre du cercle

$$X_m = \frac{A^2}{2 \times R} = \frac{L}{2} = 77.5 \text{ m}$$

Abscisse de K_E

$$X = L \left(1 - \frac{L}{40 \times R^2} \right) = 154.99 \text{ m}$$

Origine de K_E

$$Y = \frac{L^2}{6 \times R} = 4.00\text{m}$$

Calcul de la tangente

$$T = X_m + (R + \Delta R)\text{tg}\left(\frac{\gamma}{2}\right), \text{ On a: } L/R = 0.155$$

$$T = 77.5 + (1000 + 1)\text{tg}\left(\frac{4.87}{2}\right)$$

$$T = 115.80\text{m}$$

Calcul des coordonnées SL

$$SL = \sqrt{X^2 + Y^2} = \sqrt{(154.99)^2 + 4^2} = 155.05\text{m}$$

Calcul de σ

$$\sigma = \text{arctg}\left(\frac{Y}{X}\right) = \text{arctg}\left(\frac{4}{154.99}\right) = 1.64\text{gr}$$

Calcul de l'arc

$$\alpha = \gamma - 2\tau = 2(4.93) - 4.87 = 4.99\text{gr}$$

$$\alpha = 5\text{gr}$$

$$K_{E1}K_{E2} = \frac{R \times \pi \times \alpha}{200} = \frac{1000 \times 3.14 \times 5}{200} = 78.53\text{m}$$

Chapitre IV

Trace en plan

Calcul des coordonnées des points singuliers

$$\begin{cases} X_{KA1} = X_{S1} + (\overline{S1 S2} - T) \sin(G_{S1}^{S2}) = 516149.80m \\ Y_{KA1} = Y_{S1} + (\overline{S1 S2} - T) \cos(G_{S1}^{S2}) = 3803559.606m \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{KA2} = X_{S2} + T \sin(G_{S2}^{S3}) = 515238.312m \\ Y_{KA2} = Y_{S2} + T \cos(G_{S2}^{S3}) = 3801394.723m \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{KE1} = X_{KA1} + SL \sin(G_{S1}^{S2} - \sigma) = 516206.789m \\ Y_{KE1} = Y_{KA1} + SL \cos(G_{S1}^{S2} - \sigma) = 3803703.795m \end{cases}$$

$$\begin{cases} X_{KE2} = X_{KA2} + SL \sin(G_{S2}^{S3} + \sigma) = 515163.360m \\ Y_{KE2} = Y_{KA2} + SL \cos(G_{S2}^{S3} + \sigma) = 3801258.993m \end{cases}$$