

III.1. Introduction :

Comme toutes les routes, la surface de roulement d'une autoroute est une conception de l'espace, définie géométriquement par son tracé en plan (TP), son profil en long (PL) et son profil en travers (PT).

Ces caractéristiques géométriques sont définies en fonction du trafic à écouler et du niveau de confort et de sécurité que l'on souhaite offrir à l'utilisateur.

Les documents de base sont l'ICTARN (Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Routes Nationales) et l'ICTAAL (Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Autoroutes de Liaison)^[4]. Dans cette étude nous nous intéresserons essentiellement à l'ICTAAL.

III.2. Tracé en plan (TP) :

III.2.1. Définition :

Le tracé en plan, appelé aussi tracé horizontal ou encore tracé en situation est la projection sur un plan horizontal de l'axe de la chaussée. Il est constitué par une succession de droites, d'arcs de cercle et de courbes de raccordement.

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.

III.2.2. Règles à respecter pour un TP :

Pour des raisons techniques et économiques, le tracé en plan doit répondre à certaines conditions telles que :

- Respecter les critères de la norme **ICTAAL** ;
- Respecter l'adaptation du **TP** au terrain naturel afin d'éviter les terrassements importants ;
- S'inscrire dans le balayage du levé topographique ;
- Respecter la longueur minimum des alignements droits (**AD**) si possible ;
- Eviter de dépasser la longueur maximale des **AD** pour éviter la monotonie de parcours et l'éblouissement des phares pendant la nuit ;
- Eviter de passer sur les terrains agricoles et les zones forestières ;
- Eviter au maximum des propriétés privées ;
- Eviter de franchir des oueds afin de minimiser le nombre des ouvrages d'art et si le franchissement est nécessaire éviter les ouvrages en biais ;

- Eviter les sites sujets de problèmes géologiques ;
- Eviter la démolition du bâti pour des raisons économiques ;
- Tenir compte des contraintes de réseaux divers (lignes électriques, conduites de gaz, etc...);
- Utiliser si possible des rayons supérieurs aux valeurs minimales normales.

III.2.3. Eléments du Tracé en plan :

En première approximation le tracé de l'axe de routes est composé des ligne droites et des raccordées par des cercles.



Figure III.1 : Raccordement des alignements droits.

Mais la pratique des grandes vitesses a imposé l'emploi d'un élément supplémentaire pour le raccordement entre les précédents.

Les éléments géométriques du tracé en situation sont donc :

- Alignements droits ;
- Arcs de cercle ;
- Courbes de raccordement de courbure progressive ;

III.2.3.1. Alignements droits :

La droite étant l'élément géométrique le plus simple à utiliser. En effet, son utilisation reste restreinte notamment à cause de :

- a) La monotonie de parcours pendant le jour et l'éblouissement des phares pendant la nuit où la condition suivante doit être respectée :

La longueur maximale $L_{\max} = 60 \times V_R$ et la longueur minimale $L_{\min} = 5 \times V_R$

V_R doit être en **m/s**.

- b) Mauvaise adaptation de la route au paysage et l'appréciation difficile de la distance entre deux véhicules éloignés...

III.2.3.2. Arcs de cercle :

Trois éléments interviennent pour limiter les courbes :

- a. Stabilité des véhicules en courbe : assurée par un rayon minimum absolu $\mathbf{RH_m}$ et un rayon minimal normal $\mathbf{RH_N}$ devant permettre aux véhicules qui dépassent V_B de 20km/h de rouler en toute sécurité. On en déduit alors $\mathbf{RH_N(V_B)} = \mathbf{RH_m (V_B+20)}$;

Ainsi, pour un devers minimal on a le rayon minimal déversé $\mathbf{RH_d}$ et lorsque celui-ci est très grand la chaussée conserve son devers en toit et là on parle de rayon minimal non déversé $\mathbf{RH_{nd}}$.

Tableau III.1 : Valeurs des rayons horizontaux selon ICTAAL

catégories	L_1	L_2
Rayon minimal $\mathbf{RH_m}$ (m)	600	400
Rayon minimal non déversé $\mathbf{RH_{nd}}$ (m)	1000	650

N.B : aucun rayon n'est inférieur au rayon minimal absolu $\mathbf{RH_m}$.

- b. Visibilité en courbe : dans une sinuosité, l'intérieur d'un virage peut être masqué par le talus du déblai ; la solution dans ce cas serait d'augmenter le rayon du virage jusqu'à ce que la visibilité soit assurée.
- c. Inscription des véhicules longs dans les courbes de rayon faible : ce problème s'adresse aux sinuosités de faibles rayons, généralement inférieures ou égales à 200m.

Notre étude porte sur un projet d'autoroute de $\mathbf{RH_m=300m}$ d'où l'exclusion du dit problème.

III.2.3.3. courbes de raccordements (CR) :

L'emploi des CR se justifie par les quatre conditions suivantes :

- Stabilité transversale du véhicule ;
- Confort des passagers du véhicule ;
- Transition de la forme de la chaussée ;

- Tracé élégant, souple, fluide, optiquement et esthétiquement satisfaisant ;

En général, trois(03) types de courbes se présentent pour le raccordement des routes à savoir :

- a. La parabole cubique : son emploi est limité, vu le maximum de sa courbure vite atteint. Elle ne convient qu'à des raccordements de très grands rayons utilisés dans le tracé des chemins de fer.
- b. La lemniscate : utile pour certains problèmes de tracé de route (trèfle d'autoroute par exemple).
- c. La clothoïde : elle permet le raccordement de deux éléments géométriques faisant entre eux un angle quelconque. C'est donc la courbe idéale du point de vue dynamique ; le véhicule dont le conducteur tourne son volant de direction à vitesse angulaire constante, décrit une véritable clothoïde. Ce type de raccordement s'impose pour des rayons inférieurs ou égaux à 1500m.

Le raccordement entre deux courbes ou une courbe et un AD doit satisfaire aux trois conditions suivantes :

c.1 . Condition optique :

Pour être perceptible, la clothoïde doit correspondre à un changement de direction supérieure ou égale à 3° vérifiant la formule ^[1] : $\frac{R}{3} \leq A \leq R$ avec $L = \frac{A^2}{R}$

A : Paramètre de la clothoïde ;

L : longueur de raccordement (m) ; $L_{\min} = \frac{R}{9}$

R : rayon de raccordement en mètre (m).

c.2 Condition de gauchissement :

Cette condition se traduit par la limitation de la pente relative du profil en long du bord extérieur de la chaussée par rapport à son axe ^[1].

$$L \geq l \times \Delta d \times V_B$$

L : Longueur de la clothoïde ;

V_B: Vitesse de base du projet (**Km/h**) ;

Δd : La variation du devers ;

I : La largeur de la chaussée.

c-3. Confort dynamique :

Cette condition consiste à limiter la variation de la force centrifuge du véhicule dans le virage à une fraction de l'accélération de la pesanteur. La longueur de raccordement L est donnée par la formule suivante ^[1] :

$$L \geq \frac{V_B^2}{18} \left(\frac{V_B^2}{127 \times R} - \Delta d \right) \quad \text{Avec } R: \text{ rayon en m}$$

NB : la condition de gauchissement est prépondérante par rapport à celle dynamique ;

Et la longueur vérifiant toutes les deux conditions peut se déterminer à partir de la formule suivante ^[1] :

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

III.2.3.4. Application au projet :

$$L_{\max} = 2000 \text{ m}$$

$$L_{\min} = 166.667 \text{ m}$$

Longueur de gauchissement et dynamique **L=33.33m**

Les résultats obtenus pour le tracé en plan effectués avec le logiciel Autopiste sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau III. 2 : Valeurs des rayons et leurs longueurs en tracé en plan

Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4	
Rayon	Longueur	Rayon	Longueur	Rayon	Longueur	Rayon	Longueur
800	4293	800	415.68	800	407.08	800	417.54
800	234.22	800	27.11	800	103.76	800	117.25
8000	76.59	800	183.61	800	210.90	800	115.52
800	190.23	800	222.75	800	305.08	800	244.37
800	479.60	800	378.18	800	377.94	800	386.92
-	-	-	313.98	-	-	-	-
-	-	-	403.58	-	-	-	-

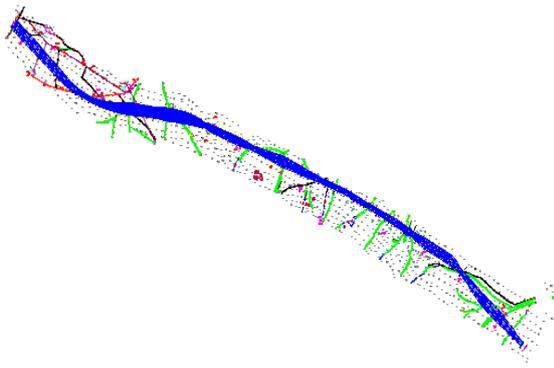


Figure III.2 Tracé en plan variante 1

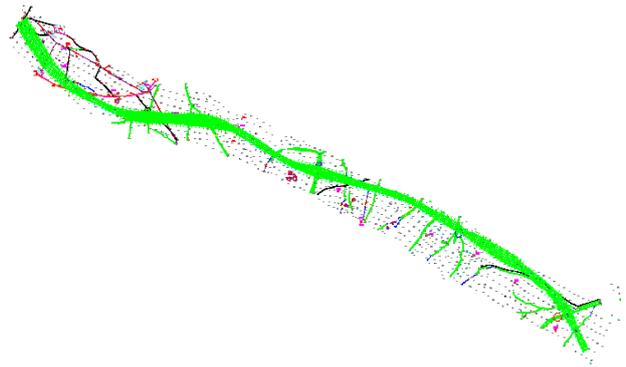


Figure III.3 Tracé en plan variante 2

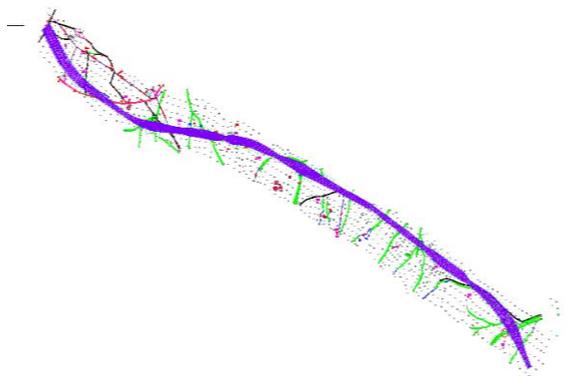


Figure III.4 Tracé en plan variante 3

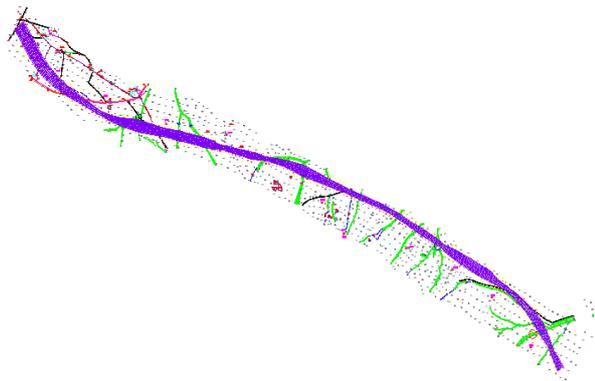


Figure III.5 Tracé en plan variante 4

III.3. Profil en Long (PL) :

III.3.1. Définition :

C'est une coupe verticale passant par l'axe de la route développée et présentée à une certaine échelle. Elle permet de connaître la variation du terrain.

III.3.2. Eléments géométriques du PL :

Le PL est constitué des lignes droites (déclivités) et des arcs de cercle tangents aux droites constituant les raccordements verticaux (concaves ou convexes). Les droites ascendantes dans le sens du kilométrage sont appelés « rampes » et celles descendantes « pentes ».

Tableau III.3 : Valeurs limites de déclivités selon ICTAAL

Catégorie	L1	L2
Déclivité maximale	5 %	6 %

III.3.3. Règles à respecter pour un meilleur tracé de la ligne rouge :

La ligne rouge est la ligne du projet qui représente la surface aménagée pour le roulement des véhicules, sa conception doit respecter certaines règles telles que :

- Adapter le tracé au paysage.
- Ne pas dépasser une pente maximale comme préconisée par **ICTAAL** ;
- Respecter les valeurs des rayons verticaux en angle saillant et rentrant conformément à la norme **ICTAAL** ;
- Assurer une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long ;
- Minimiser les terrassements, en équilibrant le volume de remblais et de déblais ;
- Eviter de maintenir une forte déclivité sur une grande distance ;
- Eviter d'introduire un point bas du profil en long dans une partie en déblais ;
- Eviter les angles rentrants en déblai pour assurer un bon écoulement ;

III.3.4. Raccordements verticaux :

Le changement de déclivités se fait par l'intermédiaire d'un raccordement circulaire de grand rayon dont la plus utilisée est la parabole cubique. Pour ce faire, des courbes imposent des grands rayons verticaux (R_v). Les valeurs recommandées par les normes en vigueur varient selon que l'angle soit saillant (convexe) ou entrant (concave).

III.3.4.1. Raccordement convexe :

La conception des raccordements convexes doit satisfaire les conditions suivantes :

a) Condition de confort :

Lorsque le profil en long comporte une forte courbure convexe, les véhicules sont soumis à une accélération verticale importante qui modifie sa stabilité et gêne les usagers. Cette condition est assurée par la formule suivante :

$$R_v > 40 * \frac{v^2}{3.6g} \quad \text{avec} \quad v = V_B / 3.6$$

Avec R_v : Rayon vertical (m)

V_B : Vitesse référence (Km/h).

b) Condition de visibilité :

Tableau III.4 : Valeurs minimales des rayons verticaux selon ICTAAL

Catégorie		L1	L2
Rayon minimal en angle saillant		12 500 m	6 000 m
Rayon minimal en angle rentrant		4 200 m	3 000 m

Elle intervient seulement dans les raccordements des points hauts comme condition supplémentaire à celle de la condition de confort. Il faut que deux véhicules circulant en sens opposés puissent s'apercevoir à une distance double de la distance d'arrêt au minimum

Le rayon de raccordement est donné par la formule suivante :

$$R_v > \frac{d_a^2}{2(\sqrt{h_a} + \sqrt{h_g})^2}$$

d_a : Distance d'arrêt (m)

h_a : Hauteur de l'œil du conducteur par rapport à la chaussée en mètres (m)=1.10m ;

h_g : Hauteur de l'obstacle = $\begin{cases} 0.15\text{m} & \text{pour un obstacle éventuel} \\ 1.20\text{m} & \text{pour un obstacle permanent} \end{cases}$

III.3.4.2. Raccordement concave :

Pas de problème de confort et de condition de visibilité ; en revanche, problème de visibilité de nuit pour les routes non éclairées. Alors, il faut juste assurer la distance d'arrêt.

- La condition de visibilité pendant la nuit est donnée par :

$$R = \frac{d_a^2}{1.5 + 0.035 d_a}$$

- La condition de confort est donnée par :

$$R_v > 0.3V_R^2$$

III.3.5. Tracé dans l'espace ou coordination plan et le profil en long :

Il s'agit de l'étude d'ensemble des éléments géométriques en plan et en profil en long, afin d'assurer une bonne insertion dans le site, le respect des règles de visibilité et un confort visuel.

III.3.5.1. exigences du tracé dans l'espace :

Le tracé dans l'espace est déterminant pour :

- Le comportement du conducteur ;
- Le confort des usagers ;
- La sécurité du trafic ;

III.3.5.2 confort optique :

Deux phénomènes sont pris en considération à savoir :

- Le champ de vision du conducteur ;
- Le point d'accommodation ou de focalisation.

III.3.5.3 confort psychologique :

Le projecteur de la route doit garantir si possible à l'utilisateur les possibilités suivantes :

- Distinguer la chaussée et les obstacles ;
- Distinguer clairement les dispositions des échangeurs ;
- Prévoir de loin l'évolution du tracé ;
- Apprécier l'adaptation de l'autoroute au terrain sans que le conducteur soit abusé par des trompe-l'œil ou gêné par des cassures ou discontinuités ;

A ceux-ci s'ajoutent d'autres règles préconisées par **SETRA** :

- Essayer de faire coïncider les courbes de tracé en plan avec les courbes de profil en long en essayant de respecter une proportion entre le rayon en plan et le rayon en profil en long (l'ICTAAL[2] par exemple retient $R_v > 6 R_h$),
- Eviter qu'un début de courbe faible (< 300m) se situe en point haut de profil en long car cela entraîne une dégradation de la perception du virage,
- Eviter de positionner des carrefours ou accès en point haut, courbes ou zone de visibilité réduite (éventuellement côté externe des courbes non déversées après vérification des conditions de visibilité).

III.3.6. Application au projet :

$h_1 = 1,1\text{m}$; $h_2 = 0,15\text{ m}$ d'après **B40**

- **En angle rentrant :**
 - ✓ Condition de confort : $R_v > 4320\text{ m}$

✓ Condition de visibilité de nuit : $d_a = 234.54 \text{ m}$

$$R_v > \frac{234.54^2}{1.5 + 0.035 \cdot 234.54}$$

$$R_v > 5665.83 \text{ m}$$

➤ En angle saillant :

✓ Condition de visibilité : $R_v \geq 13336.14 \text{ m}$



Figure III.6 Profil en long variante 1

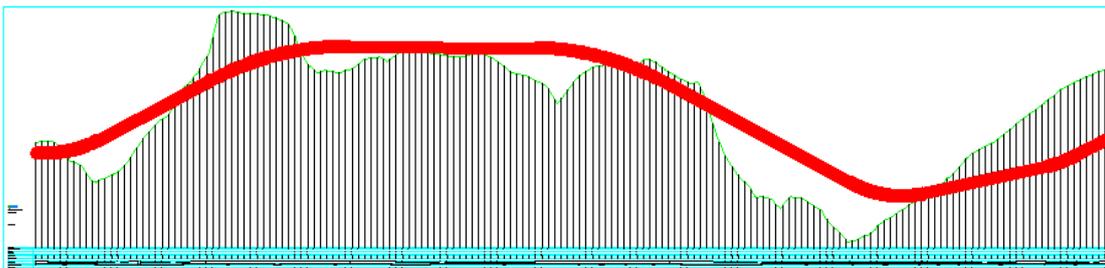


Figure III.7 Profil en long variante 2

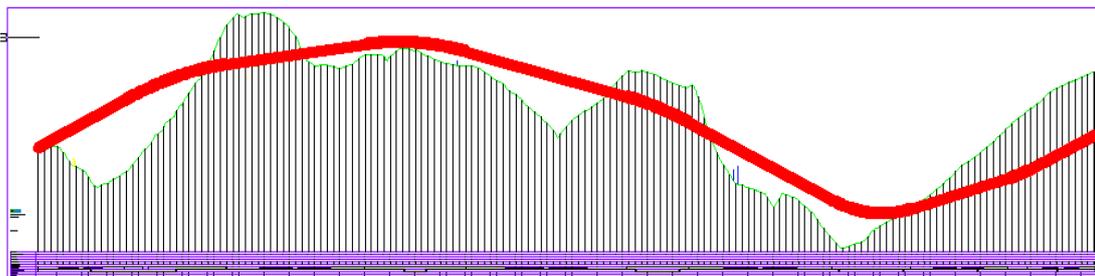


Figure III.8 Profil en long variante 3



Figure III.9 Profil en long variante 4

III.4. Profil en travers :

III.4.1. Définition :

C'est une coupe transversale de la chaussée et du terrain qui la supporte suivant un plan vertical perpendiculaire à l'axe. Deux types sont considérés dans un projet routier à savoir :

- Le profil en travers type (ou normal) ;
- Le profil en travers courant (ou particulier) qui est fictif ;

III.4.2. Profil en travers type :

C'est une représentation graphique, contenant et détaillant d'une manière précise tous les éléments constituant de la route notamment les dimensions de la chaussée et ses dépendances, la structure de la chaussée et ses composantes ainsi que les épaisseurs. Il est également composé de deux demi-profil juxtaposés, l'un en remblai, l'autre en déblai.

III.4.3. Le profil en travers courant :

Qui s'applique au PK indiqué, il prend en compte toutes les données caractérisant la section transversale de la route au PK considéré. Notamment cote du terrain naturel, cote du projet et les devers transversaux.

III.4.4. Eléments d'un profil en travers :

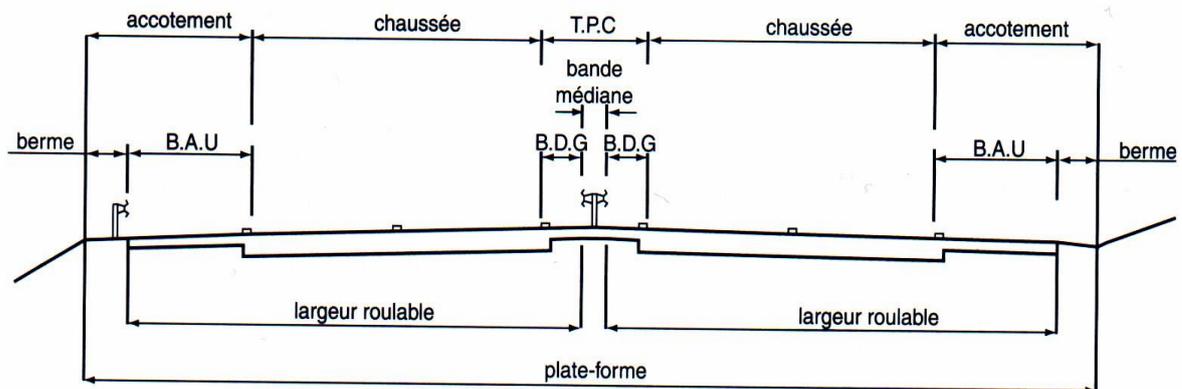


Figure III-10. Eléments constructifs du profil en travers d'une autoroute

Tel illustré par l'image ci-dessus, le profil en travers d'une autoroute comporte :

Terre-plein-central (TPC=BDG+BM): séparateur de deux sens de circulation, pouvant être revêtu si la largeur est inférieure à 5m. en courbe il est équipé pour l'évacuation des eaux de ruissellement de la chaussée extérieure.

Bande dérasée gauche BDG : dégagée de tout obstacle, revetue de largeur 1m destinée à éviter l'effet de paroi lié aux barrières de sécurité.

Bande médiane BM : pour l'implantation de certains équipements (glissière de sécurité, support de signalisation, ...) elle est revetue (entretien facile) si la largeur est $\leq 3m$, sinon engazonnée.

Chaussée : surface aménagée sur laquelle circulent réellement les véhicules.

Bande d'arrêt d'urgence BAU : de largeur 2.5 à 3m facilite l'arrêt d'urgence hors chaussée d'un véhicule, la récupération d'un véhicule deviant de sa trajectoire, l'évitement d'un obstacle sur la chaussée...

Glissières de sécurité : ouvrages en béton armé ou charpente métallique qui empêchent les véhicules de sortir des limites de la chaussée. Aussi, elles permettent d'éviter l'infiltration des animaux sur la chaussée.

Berne : participe aux dégagements visuels et supporte les équipements (glissière, signalisation verticale...) généralement engazonnée de largeur de 0.75 à 1m et plus.

Accotements : surface contenant la BAU et la Berme.

Fossé : ouvrage hydraulique généralement en béton, placé longitudinalement à la chaussée pour permettre l'évacuation des eaux pluviales.

Plate-forme : surface aménagée comprenant la chaussée, les accotements, et le T.P.C.

Emprise : Surface du terrain naturel appartenant à la collectivité et affectée à la route et à ses dépendances.

Assiette : surface de la route délimitée par les travaux de terrassements.

III.4.6. Application au projet :

Ce projet porte sur une autoroute de 2×3 voies dont les dimensions des éléments constructifs sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.7 : Valeurs des composantes de profil en travers

Eléments constructifs	Largeur (m)
Voie	3.50
Chaussée (2×3 voies)	2×10.50
B.A.U	3.00
Berme	1.00
Accotement	4.00
B.D.G × 2	1.00 × 2
B.M	1.00
T.P.C	3.00
Fossé	0.50 × 3