

CHAPITRE 5 : Représentation géométrique d'une ligne chemin de fer

1) Tracé en Plan

Le tracé en plan d'une ligne chemin de fer, comme pour les routes, est la projection de l'axe de la voie sur le plan horizontal. Un tracé en plan d'une ligne chemin de fer est constitué par un ensemble de lignes droites raccordées dans le plan horizontal par des courbes. Le choix d'un tracé d'une ligne chemin de fer obéit à des critères très strictes on peut citer :

- minimiser les travaux de terrassement ;
- exploiter l'ancienne infrastructure existant ;
- connecter le tracé aux lignes (réseaux existant) ;
- ne pas trop s'éloigné des réseaux routier (ligne accessible) ;
- minimisé le plus possible les courbes ;
- définir une vitesse d'exploitation :

Pour train voyageurs « rapide » : vitesse de référence = 125km/h pour R = 1000 et 2000m

vitesse de référence = 145km/h pour R = 3000m

Pour train de marchandise :

vitesse limite = 80km/h pour R = 3000m

vitesse limite = 60km/h pour R = 1000m et 2000m

1.1 Les éléments de trace en plan

L'axe du tracé en plan est constitué d'une succession des alignements, des liaisons et des arcs de cercles comme il est schématisé ci-dessous :

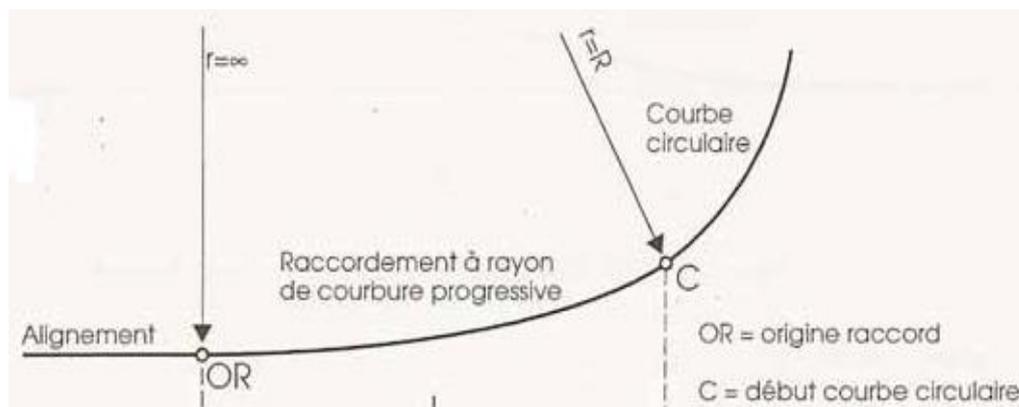


Schéma de raccordement de progressif

1.2 Conditions de raccordement

Le raccordement progressif doit vérifier les conditions suivantes :

Condition de gauchissement :

Elle a pour objet d'assurer à la voie un aspect satisfaisant en particulier dans les zones de variation du dévers, cette condition s'explique dans la limitation de la pente relative en profil en long du bord de la plateforme déversée par rapport à son axe :

$$L = \Delta d \cdot l \cdot d_p$$

- ❖ d_p : Longueur de la voie
- ❖ Δd : Variation du dévers.
- ❖ V_r : vitesse de référence

Condition du confort optique :

C'est pour assurer une vue satisfaisante au conducteur de la voie en limitant le changement de direction.

Condition du confort dynamique :

Cette condition consiste à limiter pendant le temps de parcours du raccordement, la variation, par unité de temps, de l'accélération transversale.

1.3 Comportement d'un véhicule en courbe – Dévers

D'après les lois de la mécanique classique un point matériel qui se déplace dans une courbe subit une force centrifuge qui a tendance à le renverser à l'extérieur du virage. Cette force peut conduire au déraillement du train et à la fatigue de la voie et des roulants, pour annuler ou modérer cette force, on surélève le rail ou la file extérieure de la voie, cette différence de niveau dans une courbe est appelée dévers.

1.4 Dévers théorique d_{th}

Pour une vitesse V du train on établit le dévers nécessaire qui sert à annuler la force centrifuge et la force latérale et assurer la stabilité sur la voie et le confort des voyageurs. La résultante doit être mécaniquement perpendiculaire au milieu de l'écartement. Considérons un véhicule qui circule avec une vitesse uniforme V dans une courbe circulaire de rayon R . Un élément matériel de masse m est donc soumis en plus de son poids à la force centrifuge. Cette force vaut :

$$F = m \cdot a ; F = m \times V^2/R$$

Le poids du véhicule est donné par la relation : $P = mg$, Avec :

- a : accélération centrifuge.
- g : accélération verticale due à la pesanteur.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{F}{P} = \frac{V^2}{R * g}$$

$$\sin \alpha = d/L$$

$$\text{On a : } d = L \cdot \sin(\alpha)$$

Avec :

- L : l'écartement des deux fils de rail.
- α : Angle de dévers, entre la résultante P et la force verticale G.

Pour α petite $\sin \alpha \approx \tan \alpha$.

$$F = mV^2/R ; p = mg$$

$$\text{Admettons : } m=p/g \quad \text{Donc } F = \frac{p \times v^2}{R \times g}$$

$$\text{Donc : } \tan \alpha = \frac{F}{p} = \frac{V^2}{R \times g} = \frac{d}{L}$$

$$d = L \times \tan \alpha = L \times \frac{v^2}{R \times g} \quad \text{avec } v \text{ en (m/s).}$$

$$\text{Pour : } L = 1.5\text{m, } g = 9.81\text{m/s}^2 \text{ et } V \text{ (m/s)} = (1/3.6) \cdot V \text{ (km/h)}$$

$$\text{D'où : } d_{th} = 0.0118 \frac{V^2}{R} \quad \text{avec } R \text{ en (m), } d \text{ en (m) et } V \text{ en (km/h).}$$

$$\text{Ou bien : } d = 11.8 \frac{V^2}{R} \quad \text{avec : } d \text{ en (mm).}$$

1.5 Dévers pratique (normal) (d_p)

Toutefois, le dévers réel est normalement limité à une valeur inférieure à la valeur théorique ce qui donne une insuffisance de dévers pour les trains les plus rapides, et un excès de dévers pour les trains lents.

C'est pour cela que l'on prévoit un dévers moyen (dévers normal) ; qui tient compte aussi bien des grandes vitesses que des vitesses réduites. Sa valeur est comprise entre celle des trains rapides et celle des trains lents.

Afin de conserver l'homogénéité du confort sur la ligne, le dévers pratique appliqué à la voie est donné par la formule : **d_p = 1000 × C/R**

Avec :

- C : coefficient du dévers

Pour la SNCF le dévers pratique, est de 70% du dévers théorique tout en respectant le max de 160mm (exception 180mm).

$$d_p = 0.70 \times d_{th}$$

$$d_p = 0,7 \times (11.8 \times V^2/R) \leq 160 \text{ mm}$$

1.6 L'insuffisance et l'excès de dévers

Les trains de voyageurs nécessitent des dévers plus importants que celle des trains de marchandises. Pour une vitesse V_R des trains rapides, un dévers rend difficile sinon impossible, pour le démarrage des trains de marchandise à cause de la traction,

de plus, les surcharges entraînent l'écartement des champignons et la formation des bavures.

Pour un dévers d_L correspond à une vitesse V_L des trains de marchandises, le voyageur ressent un confort marqué, un chan de freinage de la file supérieure et la fatigue de ses attaches.

1.7 L'insuffisance de dévers

C'est la différence entre le dévers théorique des trains rapides et le dévers normal (pratique).

$$I = d_{th} - d_p$$

- d_{th} : dévers théorique des trains rapides

Pour les valeurs de R et d fixées, l'insuffisance de dévers détermine la vitesse maximale en pleine courbe, de telle manière que :

$$I = 11.80 \times \frac{V^2}{R} - d \leq I_{rec} \text{ (mm)}$$

1.8 L'excès de dévers

C'est la différence entre le dévers théorique des trains lents et le dévers normal.

- E_{max} : L'excès maximum du dévers

$$E = d_p - d_m$$

- d_m : dévers théorique des trains lents

Les valeurs limites pour l'excès de dévers dépendent de l'intensité du trafic quotidien des trains marchandises et elles sont déterminées de la manière suivante :

Excès de dévers maximal en fonction de tonnage journalier

Tonnage journalier	E_{max} (mm)
Volume \leq 45000 T/J	70
25000 < volume < 45000	80
10000 < volume < 25000	90
Volume \leq 10000	100

1.9 Calcul de coefficient de dévers « C »

Pour le calcul de coefficient de dévers « C » on peut utiliser les formules suivantes :

$$d(R_{\min}) = \frac{V_{\max}^2 \cdot E_{\max} + V_{\min}^2 \cdot I_{\max}}{V_{\max}^2 - V_{\min}^2} \leq 160 \text{ mm}$$

$$C = \frac{R_{\min} \cdot d(R_{\min})}{1000}$$

$$d = 1000 \cdot \frac{C}{R} = \frac{R_{\min} \cdot d(R_{\min})}{R}$$

Avec :

- $d_{R_{\min}}$: Dévers pour le rayon minimum.
- V_{\max} : vitesse maximum des trains voyageurs.
- V_{\min} : vitesse des trains marchandise(Km/h).
- E_{\max} : Valeur admissible d'excès de dévers.
- I_{\max} : Valeur admissible d'insuffisance de dévers.
- R_{\min} : Rayon minimum pour la vitesse maximum.
- C : coefficient de dévers.
- d : Dévers normal.
- : Rayon

2. Profil en long

C'est la projection de l'axe longitudinale de la voie sur le plan vertical. Il faut préciser comme matière de profil en long, la cote de projet d'une ligne de chemin de fer matérialise le niveau de plateforme. En matière d'exigence technique le profil en long doit être constitué par un minimum de rampe et pente. Donc il doit être aussi plat que possible, ceci peut avoir un effet direct sur l'usure de matériels de traction.

2.1 Contrainte de tracé en plan

- Rayon minimal : $R_{\min} = 600 \text{ m}$
- Dévers maximal : $D_{\max} = 160 \text{ mm}$
 $D_{\max} = 180 \text{ mm}$ (exceptionnellement)
- la longueur d'alignement entre courbe est au minimum 50m
- la pente ascendante d'un profil en long d'une ligne de chemin de fer ne doit pas dépasser 1,5% ($P < 1,5\%$)

2.2 Trace de la ligne rouge ou ligne du projet

On appelle le niveau de roulement la ligne rouge, elle doit reprendre à plusieurs conditions concernant le confort, la sécurité, l'évacuation des eaux pluviales et l'économie et pour cela il faut respecter les règles suivantes :

- ❖ Le rayon minimum en profil en long est de $R_{V,\min} = 0.35 V^2$ et cela pour limiter l'accélération verticale (**Pour notre projet $R_{V,\min} = 6860 \text{ m}$**).

- ❖ La déclivité maximale est de 16‰ (exceptionnelle 18‰). Au niveau des gares elle est de 0 ‰
- ❖ Assurer si possible un palier de **350 à 400m** de part et d'autre de la gare, avec une certaine pente pour un redémarrage facile des trains en cas d'arrêt au voisinage de cette gare.
- ❖ Pour assurer un bon écoulement des eaux, on placera les zones de dévers nuls dans une pente du profil en long et on évitera les angles rentrants en déblai
- ❖ Minimiser les quantités de déblai et de remblai
- ❖ Eviter une hauteur excessive en remblai.
- ❖ Pour une bonne coordination entre le tracé en plan et le profil en long, ne pas placé une courbe verticale sur une autre horizontale
- La distance minimale entre deux points de changement de déclivité doit être de 800m.

3.Profil en Travers

C'est la projection de la voie sur un plan transversal perpendiculaire au plan de tracer. Le profil en travers définit ce qu'on appelle l'ouvrage en terre entre autre sa forme dépend essentiellement de type de profil en travers adopté. Comme pour les routes le profil en travers peut être en remblai, en déblai ou mixte.

3.1 Les éléments du profil en travers

Emprise

C'est la surface du terrain naturel affectée à la voie limitée par le domaine public.

Assiette

C'est la surface de la voie délimitée par les terrassements.

Plateforme

Elle se situe entre les fossés ou crêtes de talus de remblais comprenant la voie et les accotements.

La voie

C'est la partie de la voie ferrée affectée à la circulation des trains

La berme

Elle supporte les équipements (barrières de sécurité, signalisations..). Sa largeur dépend de l'espace nécessaire au fonctionnement du type de barrière de sécurité à mettre en place.

Le fossé

C'est un ouvrage hydraulique destiné à recevoir les eaux de ruissellement provenant de la voie et talus et les eaux de pluie.

3.2 Etablissement du profil en travers type

En chemin de fer, le profil en travers type doit indiquer les éléments suivants :

3.2.1 Eléments de l'infrastructure

On mentionne :

- La dénomination et l'épaisseur de chaque couche.
- La pente transversale de chaque couche
- La pente latérale de la plateforme.

3.2.2 Eléments de la superstructure

- Le type de rail utilisé et la valeur de l'écartement de chaque voie.
- Le type de traverse utilisé.
- L'épaisseur de la couche de ballast.
- La valeur du dévers maximum en courbe.
- La longueur des butées du ballast.

3.2.3 Eléments du talus

- La pente de chaque talus.
- Les ouvrages de consolidation éventuels.

3.2.4 Eléments d'assainissement

On indique

- Le type et dimension du fossé ou des drains.

Remarque

Un profil de voie ferrée comporte le dessin ou un grand nombre de profil en travers. Pour éviter de reporter sur chacun d'eux les dimensions générales qui se répète-t-on établit en général un profil unique appelé "**profil en travers type**".

Le profil en travers se rapporte à un point bien défini du tracé et contient les informations spécifiques à ce point de distance et varie selon la nature du terrain.

4. Ouvrage en Terre

Les exigences techniques d'un tel ouvrage se réduisent en trois points :

- il doit être solide, stable, fiable et durable ;
- doit être obligatoirement muni d'un moyen d'assainissement efficace pour permettre une évacuation rapide des eaux ;
- la structure de l'ouvrage en terre doit garantir une durée d'exploitation assez raisonnable et son entretien doit rester faisable et économique.

L'ouvrage en terre est constitué à son tour par la plateforme, le remblai et la fondation qui fait partie de l'assise. Le choix de dimension de l'ouvrage en terre dépend principalement de tonnage de ligne de chemin de fer.

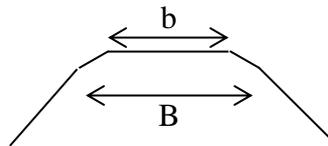
5. Tonnage

Les lignes de chemin de fer sont placées en fonction directe de leurs tonnages qui est définie comme le nombre de tonnes de marchandise acheminée par cette ligne par kilomètre pendant une année.

Les dimensions standard (à titre indicatif) sont comme suit :

B : 5,2 m à 7m Ligne à voie unique

b : 2,3m



Ligne a double voie

