

Directives techniques		
Chapitre :	4. GEOMETRIE DE LA VOIE	
Section :		
Article :		Version : 2022

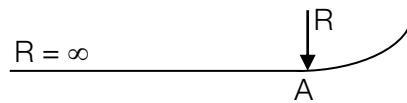
Table des matières du chapitre

	sections / pages
4.1 Géométrie en plan	
4.1.1 Notions fondamentales	4.1 / 1 à 2
4.1.2 Rayons limites	4.1 / 3
4.1.3 Appareils de voie	4.1 / 4 à 8
4.1.4 Clothoïde de raccordement	4.1 / 9
4.1.5 Condition de confort des usagers	4.1 / 10
4.1.6 Gauchissement = N en ‰	4.1 / 11 à 12
4.1.7 Calcul approché de la clothoïde	4.1 / 13
4.1.8 Tracés particuliers	4.1 / 14 à 15
4.1.9 Marche à suivre résumée et récapitulation des formules	4.1 / 16 à 18
4.1.10 Organigramme	4.1 / 19
4.2 Géométrie en élévation	
4.2.1 Déclivité maximale	4.2 / 1
4.2.2 Raccordements verticaux	4.2 / 2
- concaves	
- convexes	
4.3 Implantations	
4.3.1 Notions fondamentales	4.3 / 1 à 2
4.3.2 Tolérances de pose	4.3 / 3

Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.1 / 1
Section : 4.1	GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.1	Notions fondamentales	

Le tracé en plan d'une voie ferrée est constitué d'alignements et de courbes raccordés le plus souvent entre eux par des éléments de transition. L'écartement entre les rails étant actuellement de 100 cm, les rayons des courbes se mesurent à l'axe de la voie.

La discontinuité de courbure au point de contact entre un alignement et un arc de cercle provoque l'apparition instantanée d'une accélération transversale $\Delta a_r = \frac{V^2}{R}$



Situation



Diagramme de courbure



Diagramme de l'accélération transversale

- Il en résulte :
- une instabilité transversale du véhicule au point A
 - une situation inconfortable pour les passagers.

Remarque : L'introduction d'un dévers partiellement dans l'alignement et partiellement dans la courbe provoque une instabilité supplémentaire intolérable dans les aménagements ferroviaires pour des raisons de sécurité.

Parmi les courbes mathématiques qui satisfont à la condition souhaitée d'une variation continue de la courbure, les TPG ont choisi la clothoïde définie par :

$$k = \frac{1}{R} = C \cdot Lk$$

Lk = Longueur de la clothoïde

C = Constante de la clothoïde

c'est-à-dire que la courbure est proportionnelle à la longueur de l'abscisse curviligne (longueur de l'arc parcourue) mesurée depuis le point d'inflexion.

Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.1 / 2
Section : 4.1	GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.1	Notions fondamentales	

L'expression mathématique de la clothoïde est, en choisissant pour des raisons d'homogénéité, $\frac{1}{C} = a^2$

$$Lk \cdot R = a^2$$

Lk = Longueur de la clothoïde calculée à partir de son origine (m)

R = Rayon du cercle à l'abscisse curviligne L (m)

a = Paramètre de la clothoïde définissant une certaine clothoïde

Le choix du paramètre de la clothoïde devra être effectué de telle sorte que les conditions suivantes soient remplies :

- Condition de gauchissement :
La transition du dévers doit pouvoir se réaliser de façon progressive le long de cette courbe
- Condition de confort :
La variation de l'accélération transversale doit rester dans les limites admissibles
- Condition d'optique :
Le tracé doit être satisfaisant du point de vue optique et esthétique.

Résumé de la méthode:

- 1) Etablir une géométrie en plan en tenant compte des contraintes de la voirie.
- 2) Calculer le dévers en fonction de la vitesse admise et du rayon minimum (voir 3.1.4.).
- 3) Répartir le dévers de 0 à d linéairement le long de la clothoïde.
- 4) Si la longueur d'introduction du dévers Ld est plus grande que Lk, le dévers peut débuter sur l'alignement précédent le début de la clothoïde (voir 4.1.6. gauchissement).

Remarque: Les conditions locales ne permettent pas toujours de respecter ces principes de base; dans ce cas des compromis sont à négocier avec les TPG.

Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.1 / 3
Section : 4.1	GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.2	Rayons limites	

Rayons [m]	recommandé	minimum
En ligne	150	80
Zone des arrêts	50	20 *
Zone des carrefours	—	20
Boucle	—	20
Centre de maintenance et voies de service	—	18

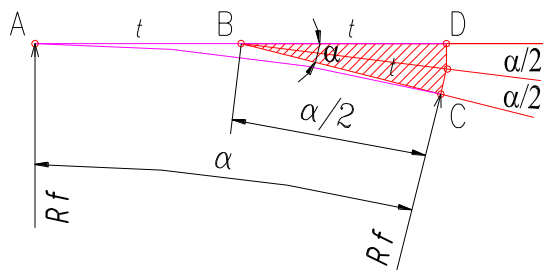
Pour les vitesses autorisées, voir 3.4.

* courbe à gauche : perte de visibilité sur les portes de droite (voir 8.7).

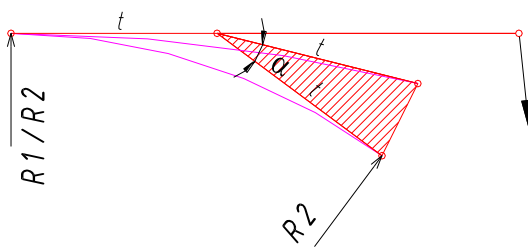
Directives techniques	section n° / page n°
Chapitre : 4. Géométrie de la voie	4.1 / 4
Section : 4.1 GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.3 Appareils de voie	

Pour passer d'une voie à l'autre, il faut implanter des branchements à commande électrique ou manuelle ; ils sont caractérisés par leur angle de déviation au cœur. Ne pouvant pas être posés en dévers et aucune courbe de raccordement n'étant possible pour la voie déviée, leur rayon minimum doit être déterminé en fonction de la vitesse souhaitée.

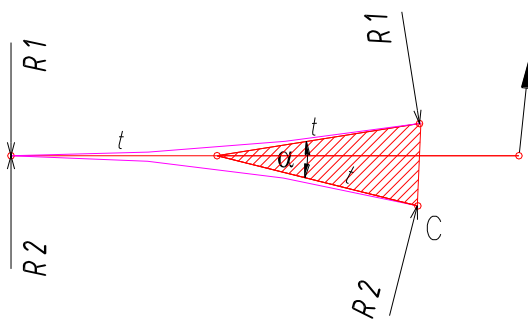
Schémas de piquetage de principe



Fondamental
de référence
 $AB = BD = BC = t$



Cintré convergent
$$R_2 = \frac{R_f \cdot R_1 - \ell^2}{R_f + R_1}$$

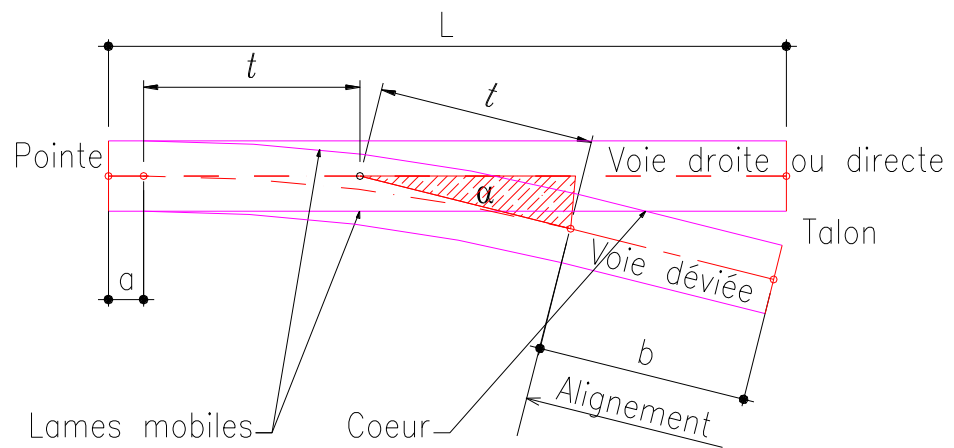


Cintré divergent
$$R_2 = \frac{R_f \cdot R_1 + \ell^2}{R_f - R_1} \quad R_1 = \frac{R_f \cdot R_2 - \ell^2}{R_f + R_2}$$

Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4. Géométrie de la voie		4.1 / 5
Section : 4.1 GEOMETRIE EN PLAN		
Article : 4.1.3 Appareils de voie		Version : 2022

Branchements simples fondamentaux à gauche ou à droite

- Sur les branchements de rayon inférieur à 50 m, le tram doit rouler sur les boudins des roues à vitesse réduite pour traverser le coeur.
- Pour les rayons supérieurs à 50 m, la gorge profonde permet de réduire le bruit et le balancement des véhicules.



DIMENSIONS PRINCIPALES						
R = (m)	tg α	a (mm)	b (mm)	t (mm)	L (mm)	
20	1:2,455	500	–	3'917	8'325	coeur cintré
25	1:4	500	2'984	3'078	9'640	–
50	1:4,290	350	–	5'751	11'500	coeur cintré
50	1:6	350	4'096	4'138	12'372	–
100	1:7	350	2'225	7'107	16'439	–
150	1:9	350	3'149	8'308	19'765	–

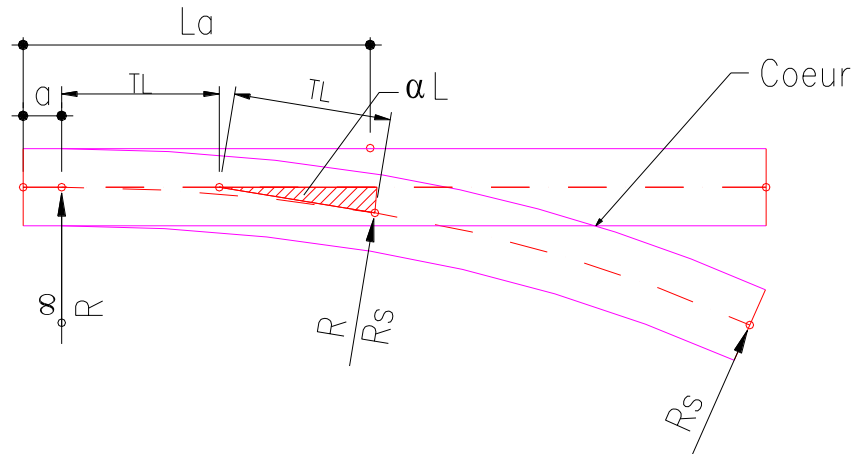
Remarques :

- Dans la mesure du possible les branchements devraient être situés en site propre et hors des carrefours.
- Ils ne devraient pas être implantés dans des raccordements verticaux.

Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.1 / 6
Section : 4.1	GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.3	Appareils de voie	

Branchements à double courbure

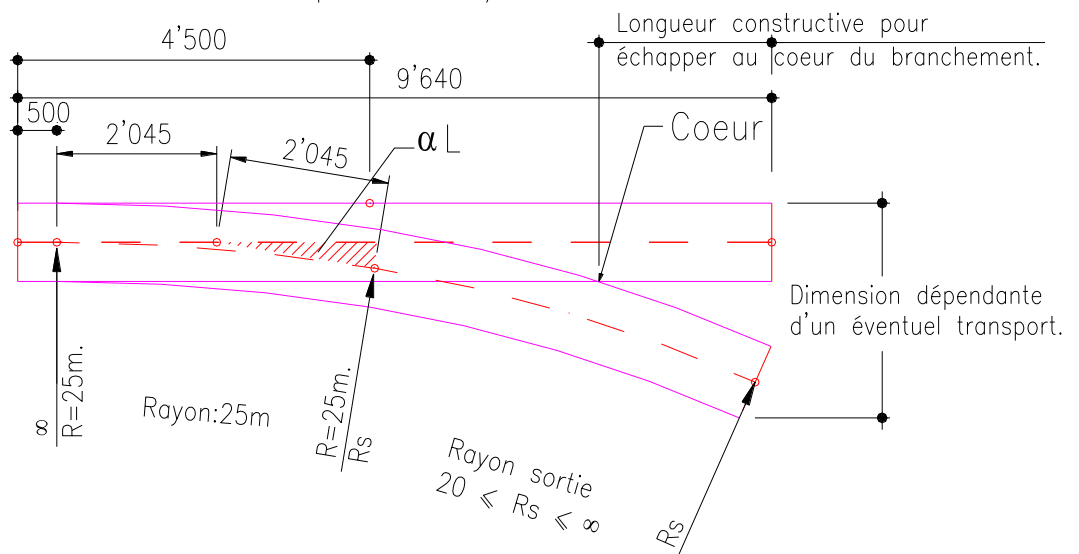
Ils introduisent deux discontinuités de guidage des véhicules et apportent un inconfort supplémentaire.



DIMENSIONS PRICIPALES				
R [m]	La [mm]	a [mm]	TL [mm]	αL [grad]
25 m	4'500	500	2'045	10,3938
50 m	5'000	350	2'527	6,4305
100 m	7'000	350	3'519	4,4787
150 m	8'500	350	4'265	3,6196

La vitesse de franchissement du branchement est dictée par le plus petit des deux rayons, afin de garantir une accélération transversale non compensée Δa_r comprise entre 0.65 - 0.8 m/sec² avec dévers $d = 0$ (voir 3.1.4 p.2)

Exemple: $R=25/R_s$

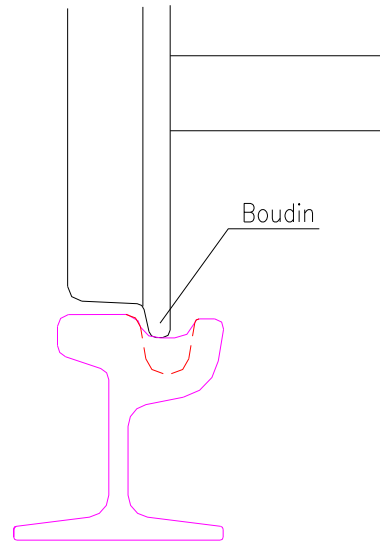


Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4. Géométrie de la voie		4.1 / 7
Section : 4.1 GEOMETRIE EN PLAN		
Article : 4.1.3 Appareils de voie		Version : 2022

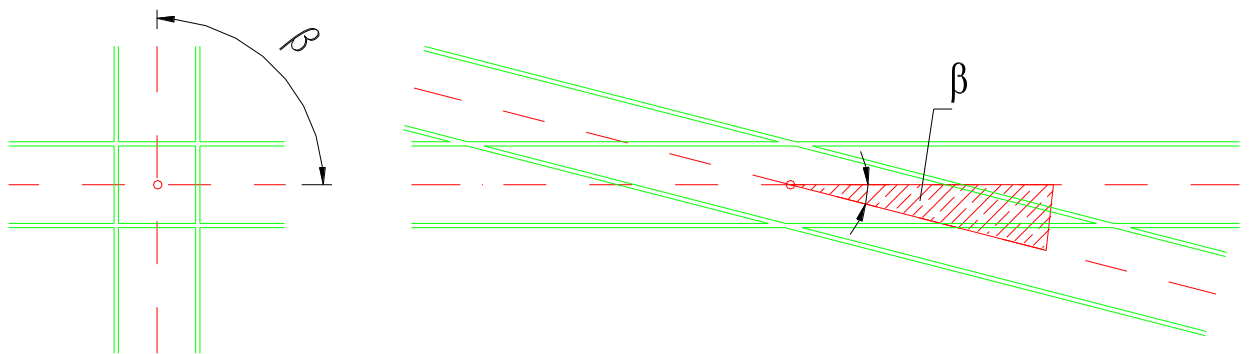
Traversées

Les traversées permettent de croiser une autre voie.

- Sur les coeurs de traversée, le tram doit rouler sur les boudins des roues à vitesse réduite.



- Il faut éviter que les 2 roues d'un même essieu se trouvent simultanément à une intersection des rails (mauvais guidage).



Valeur limite inférieure $\beta \geq 16$ grad.

$\beta = 100$ grad. : possible, mais à déconseiller : risque de déraillement.

Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.1 / 8
Section : 4.1	GEOMETRIE EN PLAN	
Article : 4.1.3	Appareils de voie	Version : 2022

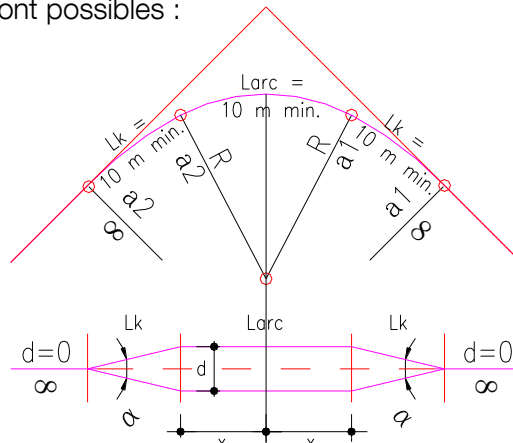


LIGNE 13 : exemple d'aiguillage cintré divergeant

Directives techniques	section n° / page n°
Chapitre : 4. Géométrie de la voie	4.1 / 9
Section : 4.1 GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.4 Clothoïde de raccordement	

Elle est adoptée par les TPG pour toutes les constructions nouvelles. Elle doit être suffisamment longue pour garantir une transition progressive du dévers (voir **gauchissement**, chapitre 4.1.6.) entre l'alignement ($d = 0$) et le rayon à raccorder ($d = d$) ainsi que pour garantir le confort aux usagers. Les cas suivant sont possibles :

Raccordement de deux alignements et d'un arc de cercle

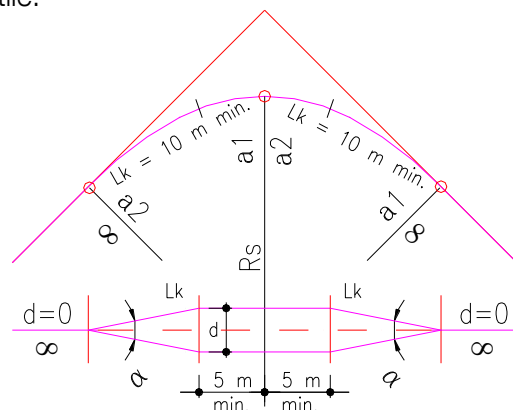


$$\frac{2}{3} < \frac{a_1}{a_2} \leq \frac{3}{2}$$

variation du dévers (non représenté en longueur développée)

Pour éviter une oscillation transversale des véhicules la longueur de l'arc de cercle résiduel doit être d'au moins 10 m. Compte tenu de la disposition des bogies, une longueur de courbe de raccordement. $Lk < 10$ m n'est pas utile.

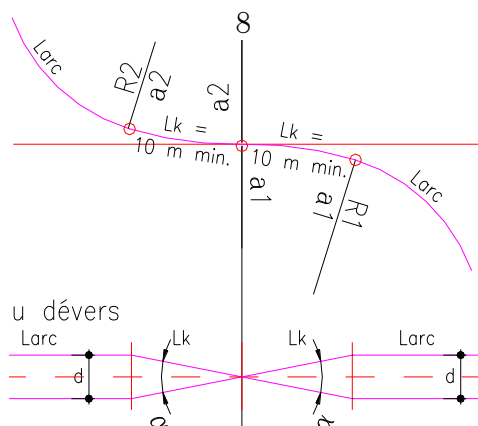
Raccordement de deux alignements à l'aide de courbes de raccordement (clothoïde au sommet)



$$a_1 \cong a_2$$

variation du dévers (non représenté en longueur développée)

Raccordement de deux arcs de cercle de sens inverse (courbe en S)



$$\frac{2}{3} \leq \frac{a_1}{a_2} \leq \frac{3}{2}$$

Directives techniques	section n° / page n°
Chapitre : 4. Géométrie de la voie	4.1 / 10
Section : 4.1 GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.5 Condition de confort des usagers	

Variation de l'accélération transversale non compensée = Ψ

Δa_r = accélération transversale non compensée

t = temps

$$\Psi = \frac{\Delta a_r}{t}$$

$$L_c = \frac{\Delta a_r \times V}{\Psi}$$

$$\Psi \text{ maximum} = 0,50 \text{ m/sec}^3$$

Longueur de la transition de dévers nécessaire = L_c

$$\begin{aligned} L_c \text{ recommandé} &= \frac{\Delta a_r \cdot V}{0,85} \\ L_c \text{ minimum} &= \frac{\Delta a_r \cdot V}{2,41} \end{aligned}$$

L_c (m)

Δa_r [m/sec²]

V [km/h]

$L_k \text{ min.} \geq L_{arc}, L_c, L_d$ (voir 4.1.6)

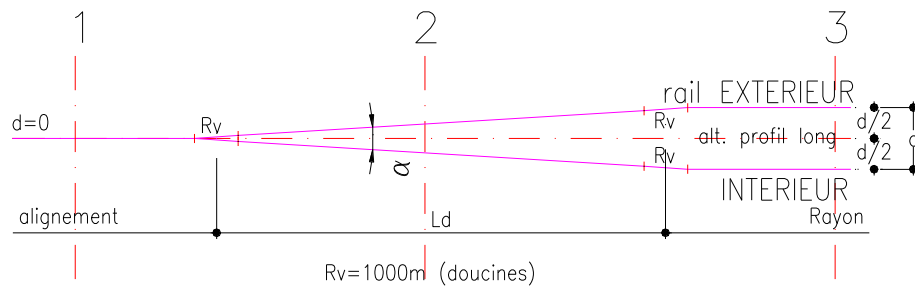
Remarque :

Si la géométrie locale ne permet pas de satisfaire cette inéquation, il y a alors lieu de réduire la vitesse.

Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.1 / 11
Section : 4.1	GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.6	Gauchissement = N en ‰	

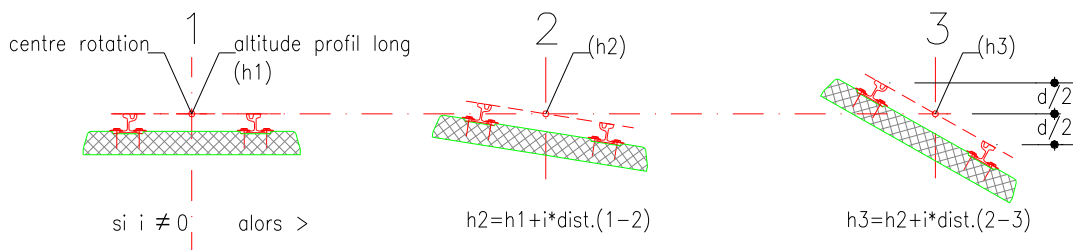
Pour limiter des charges différentielles sur les diverses roues des convois, il est nécessaire de limiter la variation du dévers (gauchissement).

Profil en long (exemple avec $i = 0$)
 i est compris entre 0 et $50‰ \pm$



Profils en travers

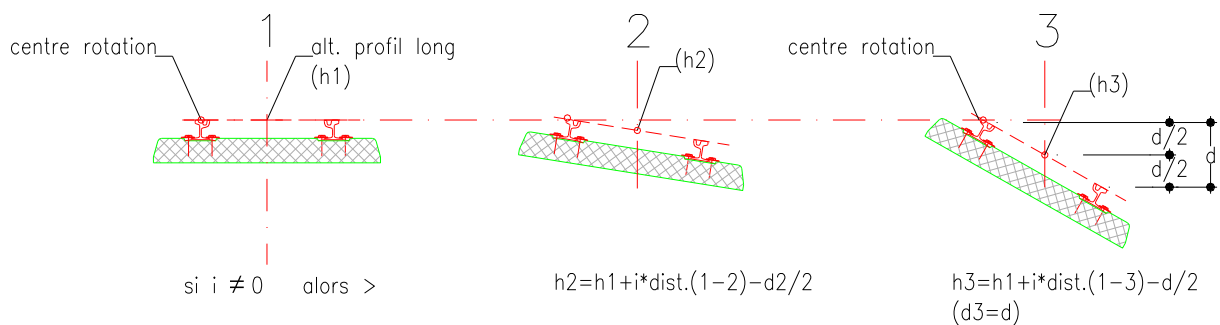
avec centre de rotation autour de l'axe du profil en l



Le centre de rotation du plan de la voie peut aussi se situer sur l'un des rails (intérieur ou extérieur suivant le profil en travers de la chaussée empruntée).

Profils en travers

avec centre de rotation sur le rail (extérieur)



Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.1 / 12
Section : 4.1	GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.6	Gauchissement = N en ‰ (suite)	

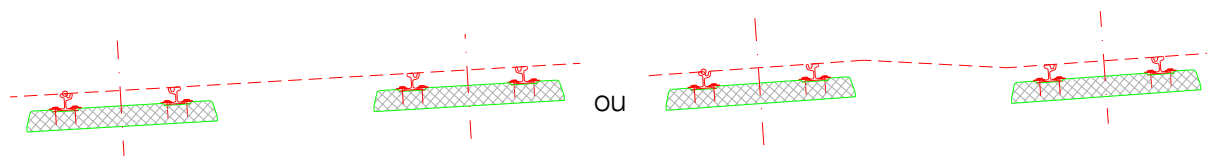
Longueur de la rampe de raccordement (Ld) minimum nécessaire pour permettre la variation du dévers :

<u>Gauchissement</u>		<u>Longueur de la rampe de dévers</u>	
N	recommandé 2,5 ‰	Ld	recommandé = 0,4 d
N	maximum 3,3 ‰	Ld	minimum = 0,3 d

avec d = dévers [mm] Ld [m]

Remarques :

- La longueur de la courbe de raccordement (Lk) devrait être suffisante pour permettre l'introduction du dévers calculé. Toutefois si ce n'est pas le cas, il est nécessaire de limiter la valeur du dévers d.
Il en résulte alors une réduction de vitesse (voir "vitesse en fonction de la géométrie en plan et des dévers", voir 3.1.4).
- Lorsque la rampe de dévers Ld est plus longue que la courbe de raccordement, il est possible de commencer à introduire le dévers quelques mètres avant le début de la courbe de raccordement.
- Aucun gauchissement n'est toléré dans les appareils de voie; ces derniers doivent se situer dans un même plan.
- **Dévers avec double voie (en courbe)**



Sur pente unique de la chaussée.
Vérifier également la distance aux obstacles.

Avec pentes parallèles (défavorable si des véhicules sur pneus croisent la double voie).

Pour les études d'avant-projet, les formules suivantes suffisent pour implanter l'axe d'une voie :

Unités : R [m]
Lk [m]
E [m]
X [m]
Y [m]
d [mm]

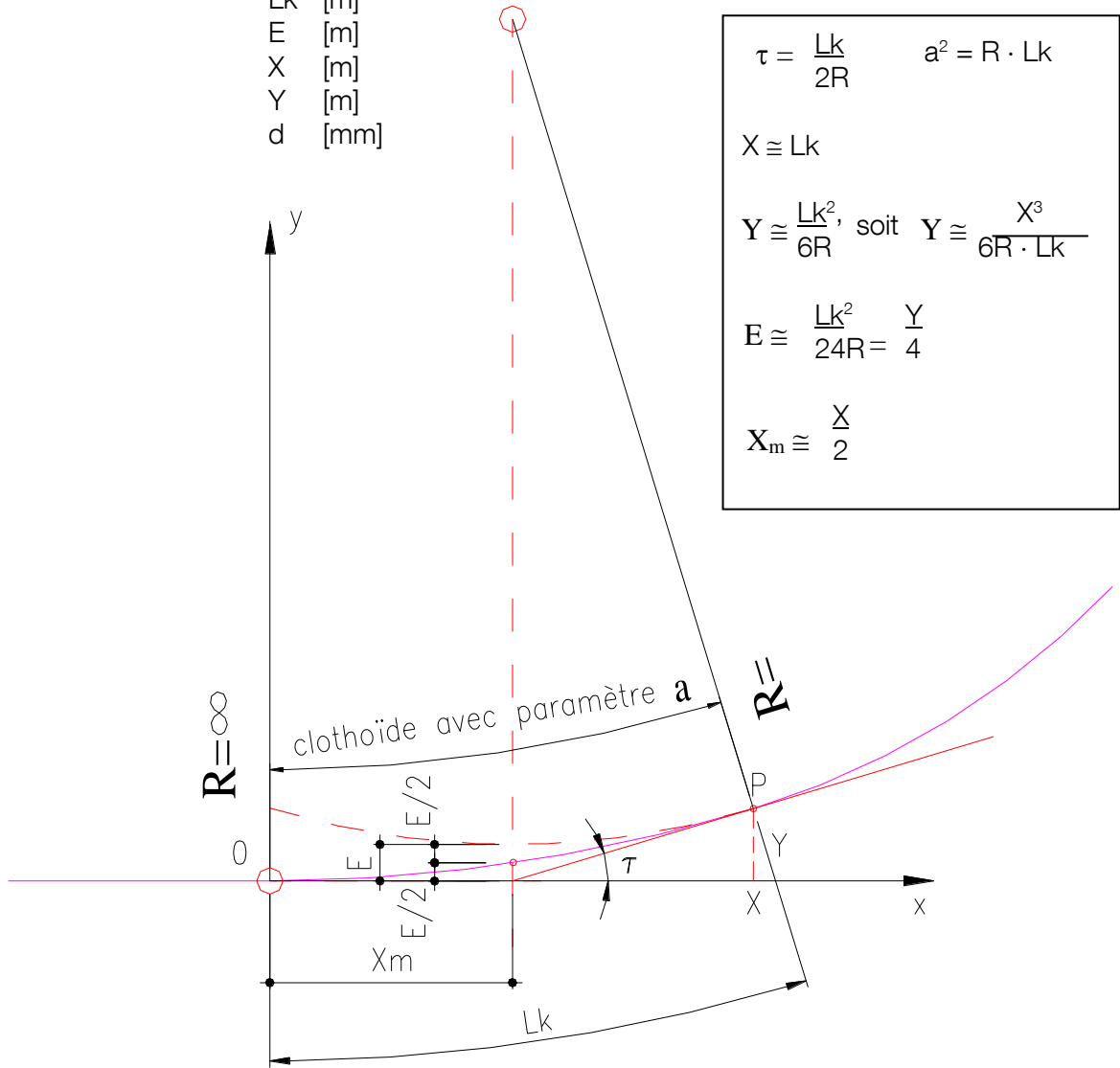
$$\tau = \frac{Lk}{2R} \quad a^2 = R \cdot Lk$$

$$X \cong Lk$$

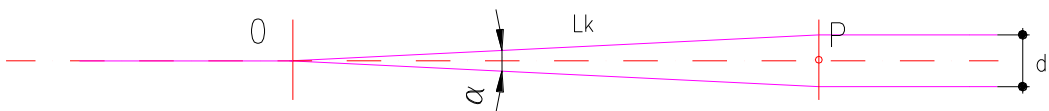
$$Y \cong \frac{Lk^2}{6R}, \text{ soit } Y \cong \frac{X^3}{6R \cdot Lk}$$

$$E \cong \frac{Lk^2}{24R} = \frac{Y}{4}$$

$$X_m \cong \frac{X}{2}$$



Variation du dévers le long de Lk.



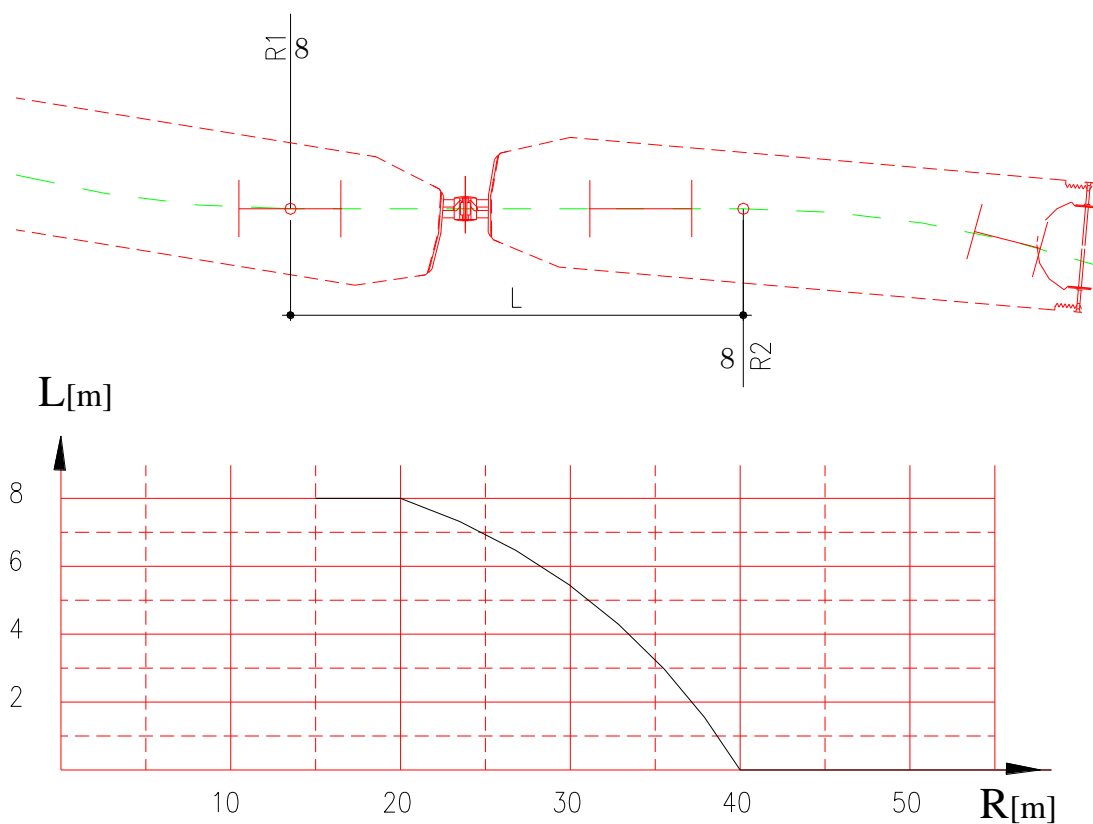
Calcul du dévers voir 3.1.4.

Directives techniques	section n° / page n°
Chapitre : 4. Géométrie de la voie	4.1 / 14
Section : 4.1 GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.8 Tracés particuliers	

Courbe et contre-courbe

Dans les voies de service et les centres de maintenance, où la vitesse de circulation est faible, on peut renoncer à introduire des courbes de raccordement.

Un alignement minimum doit cependant être introduit en deux courbes de sens contraire de faibles rayons.



Remarques :

- L = longueur minimum de l'alignement entre une courbe et une contre-courbe.
- Si $R_1 \neq R_2$, le R_{\min} est déterminant.
- Sur les voies principales, un alignement de stabilisation correspondant à un trajet d'une durée de 0,7 à 1,5 secondes doit être intercalé entre deux modifications de la courbure de la voie.

Exemple : 30 km/h. \cong 8,33 m/sec.

$$8,33 \times 0,7 = 5,83 \cong 6,0 \text{ m.}$$

$$8,33 \times 1,5 = 12,49 \cong 12,5 \text{ m.}$$

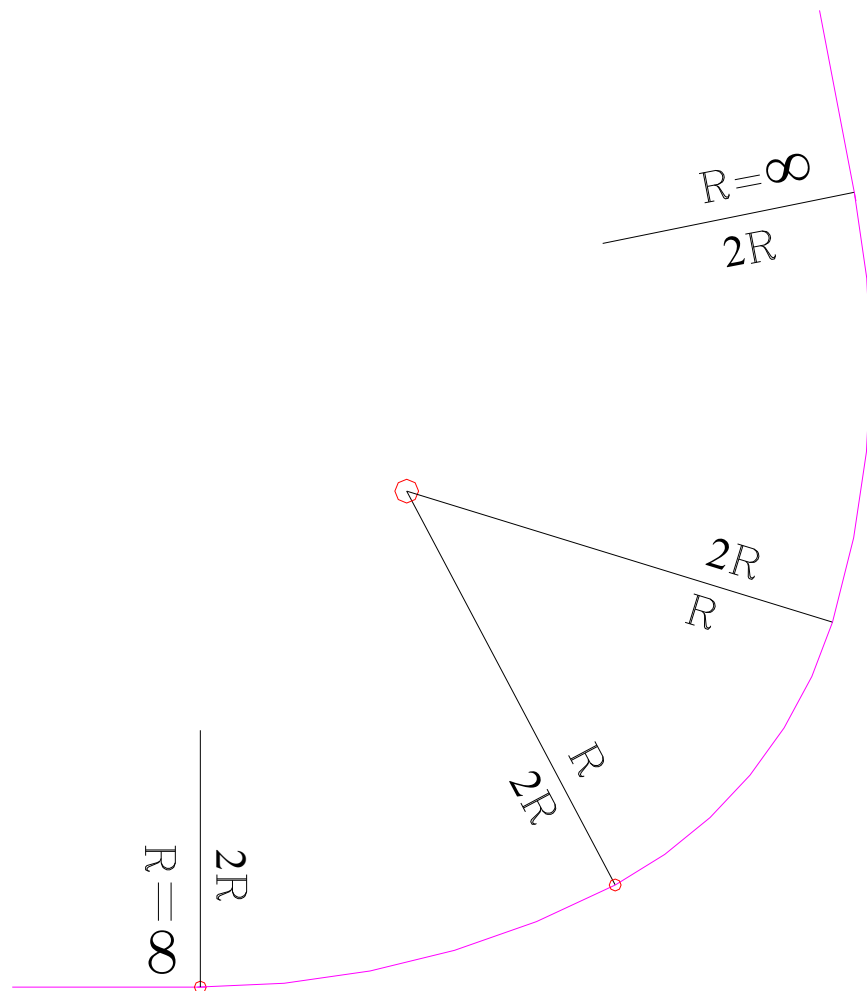
Longueur choisie = 10 m.

Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.1 / 15
Section : 4.1	GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.8	Tracés particuliers (suite)	

Anse de panier

Sur les voies existantes et les voies de service on peut trouver un raccordement en anse de panier.

∞	\rightarrow	2	R	\rightarrow	R
∞	\rightarrow	3	R	\rightarrow	2R \rightarrow R



Remarque :

Cette courbe atténuée, mais ne supprime pas les variations brusques d'accélération transversale.

Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.1 / 16
Section : 4.1	GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.9	Marche à suivre résumée et récapitulation des formules	

Unités :	d	[mm]	L	[m]
	R	[m]	Ld	[m]
	V	[km/h]	Lc	[m]
	Δa_r	[m/sec ²]	Lk	[m]

- Déterminer la vitesse maximum souhaitée en fonction du site et de la déclivité (voir 3.2 accélération et 3.3 décélération).

$V_{\max} = 65 \text{ km/h}$ site propre $= 50 \text{ km/h}$ site banalisé

- Calculer le rayon minimum nécessaire avec un dévers nul puis avec le dévers maximum.

$d_{\min} = 0 \text{ mm}$ $d_{\max} = 70 \text{ mm}$

	Avec dévers $d = 0$	Avec dévers d_{\max}
Rayon recommandé	$R_{\text{rec}} = \frac{V^2}{7,903}$	$R_{\text{rec}} = \frac{V^2}{0,127 d + 7,903}$
Rayon minimum en site banalisé	$R_{\text{min}} = \frac{V^2}{9,072}$	$R_{\text{min}} = \frac{V^2}{0,127 d + 9,072}$
Rayon minimum en site propre	$R_{\text{min}} = \frac{V^2}{10,368}$	$R_{\text{min}} = \frac{V^2}{0,127 d + 10,368}$

- Choisir la géométrie correspondant au plan de situation en contrôlant que le rayon est compris dans les fourchettes déterminées ci-dessus.

Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.1 / 17
Section : 4.1	GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.9	Marche à suivre résumée et récapitulation des formules (suite)	

- 4 Calculer le dévers exigé en introduisant les valeurs de l'accélération transversale non compensée Δa_r [m/sec²] selon 3.4.1 et 3.4.2.

$$d = 102,04 \left[\frac{V^2}{12,96 R} - \Delta a_r \right]$$

Vérifier que le dévers obtenu est compatible avec le profil en travers de la chaussée.

Si pas OK, réduire la vitesse choisie initialement et refaire les calculs.

Après les itérations nécessaires, **le rayon, la vitesse et le dévers sont fixés.**

- 5 Calculer la longueur de la rampe de dévers (L_d) sur la base du gauchissement autorisé (voir 4.1.6)

$$\begin{aligned} L_d \text{ recommandé} &= 0,4 d \\ L_d \text{ minimum} &= 0,3 d \end{aligned}$$

- 6 Calculer la longueur de transition de dévers L_c nécessaire pour garantir la condition de confort (voir 4.1.5).

$$\begin{aligned} L_c \text{ recommandé} &= 1,177 \Delta a_r \cdot V \\ L_c \text{ minimum} &= 0,415 \Delta a_r \cdot V \end{aligned}$$

Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.1 / 18
Section : 4.1	GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.9	Marche à suivre résumée et récapitulation des formules (suite)	

7 Calculer les caractéristiques de la clothoïde selon 4.1.7

$$L_k = \frac{a^2}{R} = X$$

$$E = \frac{Lk^2}{24R}$$

$$Y = \frac{Lk^2}{6R}$$

$$Lk \geq 7m$$

$$Lk \geq Ld \text{ et } Lc$$

Unités : voir 4.1.7

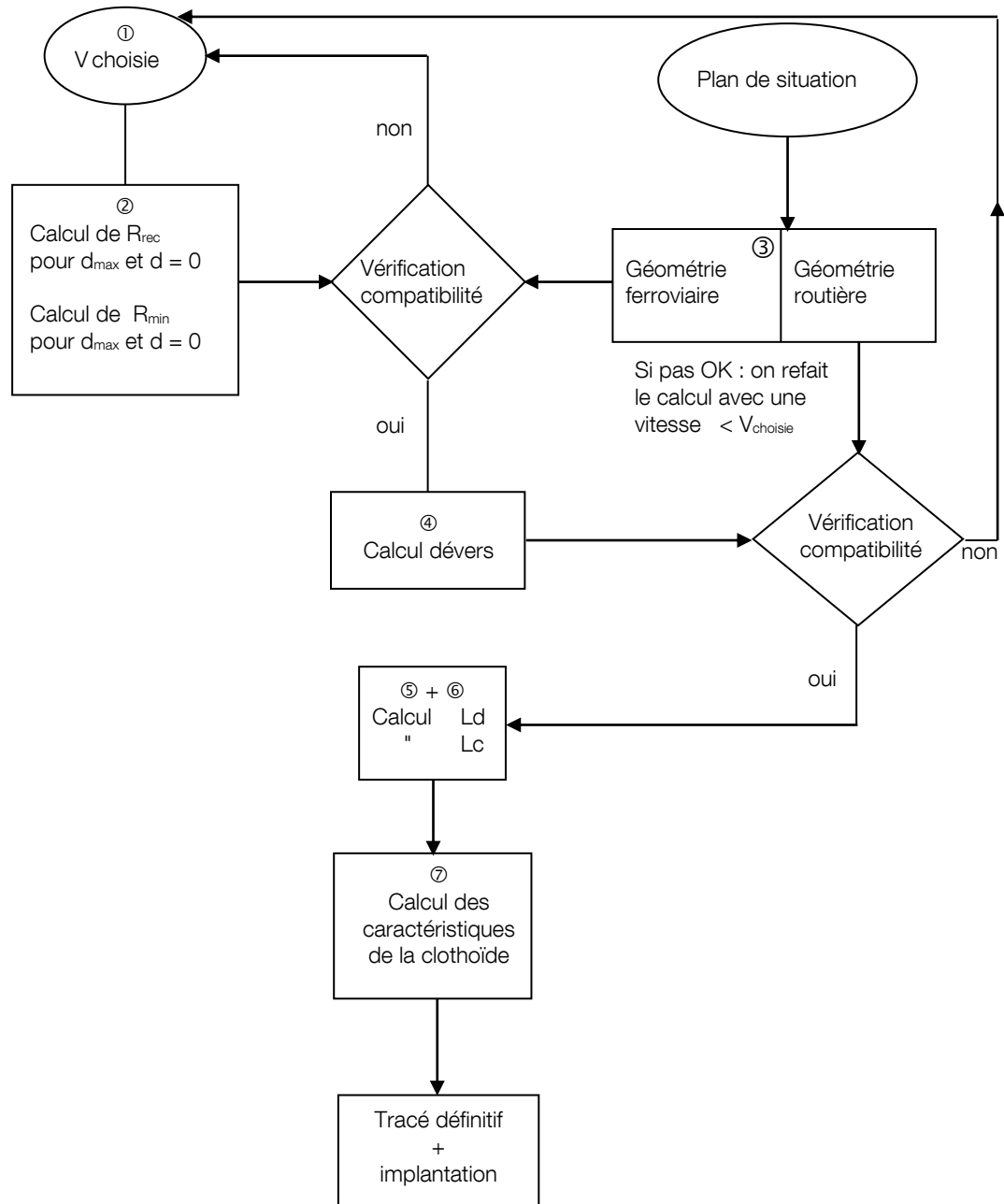
Si $Lk = \frac{a^2}{R} = X \geq Ld \text{ et } Lc$, alors calculer les éléments approximatifs du piquetage de la clothoïde E, X et Y.

La clothoïde peut également se calculer avec les tables de Klaus éditées par la VSS.

Voir organigramme page suivante

Directives techniques	section n° / page n°
Chapitre : 4. Géométrie de la voie	4.1 / 19
Section : 4.1 GEOMETRIE EN PLAN	Version : 2022
Article : 4.1.10 Organigramme	

Débuter le calcul avec la vitesse maximum souhaitée en fonction du site et de la déclivité



Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.2 / 1
Section : 4.2	GEOMETRIE EN ELEVATION	Version : 2022
Article : 4.2.1	Déclivité maximale	

Dans un projet ferroviaire, les déclivités (rampe = montée et pente = descente), déterminées dans le sens du kilométrage croissant, sont exprimées en ‰.

Déclivité [‰]	recommandée	maximale
Site propre ou banalisé	30	40 *
Accès au centre de maintenance et voies de service	36	50
Zone d'arrêt prolongé (véhicule en stationnement)	0	2

* Pour s'adapter au profil en long d'une route en site banalisé, cette valeur peut être dépassée.

Des déclivités > 50 ‰ (**maximum 60 ‰**) peuvent être tolérées sur de courtes distances; par exemple en rampe avant un arrêt pour favoriser le freinage ou en pente après un arrêt pour favoriser l'accélération.

Les exceptions doivent être examinées au cas par cas avec les services techniques des TPG.

De telles déclivités doivent être évitées dans des zones où le tram est appelé à devoir s'arrêter ou ralentir du fait de la configuration locale (carrefours, courbes, visibilité restreinte, etc).

La longueur de la rampe entre les rayons verticaux devra toutefois être inférieure à deux fois la composition d'un convoi (2 motrices articulées S 03), soit **L = max. 80 m**, pour autant qu'il n'y ait pas de démarrages régulés par des feux de signalisation.

Remarque : (voir aussi 3.1 à 3.3)

Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.2 / 2
Section : 4.2	GEOMETRIE EN ELEVATION	Version : 2022
Article : 4.2.2	Raccordements verticaux (Rayons verticaux R_v)	

Les changements de déclivité sont raccordés par des arcs de cercle sans courbe de raccordement.

Ils doivent être choisis aussi grands que possible pour satisfaire aux conditions suivantes :

R _v [m]	Rayon concave		Rayon convexe	
	recommandé	exceptionnel	recommandé	exceptionnel
En ligne	1000	$(0,25 \div 0,17)V_{\max}^2 \geq 300$ [750]*	1500	$(0,4 \div 0,25)V_{\max}^2 \geq 300$ [400]*
Zone des arrêts Zone des carrefours Boucle	∞	2000 (min. 1000) [min. 1125]*	∞	5000
Rampe de dévers	à éviter	3000	à éviter	3000
Centre de maintenance et voies de service	–	700 [1125]*	–	700 [750]*

V_{\max} = vitesse maximum autorisée sur le tronçon considéré (en km/h)

Remarques :

- Il faut éviter de mettre un rayon vertical dans une courbe de raccordement.
- Le profil en long doit être déterminé pour les lignes nouvelles de façon à minimiser les frais d'exploitation (usure des freins, consommation d'énergie). Dans ce but on préférera dans la mesure du possible des rampes **avant un arrêt** et des **pentés après**.

* Rayons limites pour les véhicules des séries 03 et 04. (voir section 2.1)

Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.3 / 1
Section : 4.3	IMPLANTATIONS	Version : 2022
Article : 4.3.1	Notions fondamentales	

L'implantation d'une nouvelle ligne de tram implique la mise à disposition de :

1.1 Réseau de points fixes

- La matérialisation d'un réseau de points fixes réutilisant un maximum de points de polygonale existants.
- La mesure d'une polygonale de précision pour déterminer les coordonnées planimétriques des points nouveaux.
- Le nivellement de précision des nouveaux points rattachés au réseau de nivellement cantonal (RNC).

On obtient ainsi un réseau de **points fixes homogènes** sur l'ensemble du tracé.

1.2 Relevé de l'état des lieux (EDL)

- Contrôle de la base de données cadastrales.
- Relevé en situation et altimétrie de tous les éléments nécessaires à l'établissement des plans d'exécution.
- Levé en situation et altimétrie des voies de tram existantes dans les zones de raccordement avec le projet à étudier.
- Relevé de profils en travers tous les 25 m ou, selon demande, levé d'un semi de points denses pour l'établissement d'un modèle numérique de terrain (MNT).

1.3 Avant-projet

Sur les bases précédemment citées, et en tenant compte des présentes directives, l'ingénieur civil établira un avant-projet en situation (établissement du profil en long d'après le MNT).

1.4 Projet définitif

- Sur la base de l'avant-projet, l'ingénieur civil établira **le projet définitif**, en concertation avec toutes les instances concernées.
- Calcul de l'axe tridimensionnel du projet définitif sur la base du relevé EDL ou MNT, des présentes directives et en respectant un accroissement de 1 m (soit un point tous les mètres à l'axe de la voie).
- Calcul du profil en long du projet définitif.

Directives techniques		section n° / page n°
Chapitre : 4.	Géométrie de la voie	4.3 / 2
Section : 4.3	IMPLANTATIONS	Version : 2022
Article : 4.3.1	Notions fondamentales (suite)	

1.5 Mise en soumission des travaux

Le cahier des charges, qui sera remis aux entreprises soumissionnaires, mentionnera que les éléments suivants leur seront fournis par un géomètre mandaté par le maître d'ouvrage:

- La pose le long du tracé de **niveaux de références** de cotes rondes (rattachés au nivellement cantonal), équidistants d'environ 100,0 m.
- L'implantation définitive de **l'axe des voies** sur le béton d'infrastructure ou de propreté, soit: 1 point tous les 6,0 m en alignement, 1 point tous les 4,0 m pour les courbes avec des rayons supérieures à 100,0 m, et 1 point tous les 3,0 m dans les rayons inférieurs.
- Les points caractéristiques de la géométrie en plan et en élévation.
- Les points géométriques des appareils de voies (aiguillages, croisements, appareils de dilatation, ...).

Toutes ces implantations seront matérialisées sur le chantier par des clous dans le béton (ou autre support) et de la peinture, puis numérotées selon le sens du kilométrage (P.K.). Ces clous seront nivelés et la différence à appliquer pour la pose des rails ainsi que le dévers dans les courbes seront indiqués à la peinture à côté du clou.

Un dossier complet des plans d'implantation, régulièrement mis à jour, sera remis aux entreprises adjudicataires.

Selon les spécificités du chantier, des implantations d'ouvrages et d'aménagement de voirie peuvent être prévues dans le cahier des charges.

La conservation des points implantés est de la responsabilité de l'entreprise et leurs rétablissements éventuels lui seront facturés, de même que toutes les implantations supplémentaires.


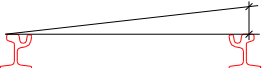
1.6 Exécution des travaux

En plus des implantations mentionnées dans le cahier des charges (4.3 1.5), le géomètre pourrait être chargé des travaux suivants:

- Le contrôle de la géométrie des appareils de voie, sur le lieu de livraison, à raison d'environ 7 points par appareil.
- La cadastration complète de l'ouvrage en fin de travaux.
- L'établissement des tableaux de mutation pour les emprises éventuelles, selon les directives du cadastre et du registre foncier.
- Le levé en situation et en altimétrie de toutes les cheminées après exécution, pour l'établissement du cadastre des égouts avec les fiches signalétiques.

Remarque: Les fiches signalétiques peuvent être réalisées par l'ingénieur civil.

Directives techniques	section n° / page n°
Chapitre : 4. Géométrie de la voie	4.3 / 3
Section : 4.3 IMPLANTATIONS	Version : 2022
Article : 4.3.2 Tolérances de pose	

	Distance entre les points de mesure	Tolérances
Profil vertical	6m / en courbe : 3m	+/- 2mm pour toutes les valeurs mesurées.
	Mesuré par rapport au niveau théorique.	+/- 1mm pour le 95% des valeurs mesurées sur un tronçon de 50m.
Profil horizontal	6m / en courbe : 3m	+/- 2mm pour toutes les valeurs mesurées.
	Mesuré par rapport à l'axe théorique.	+/- 1mm pour le 95% des valeurs mesurées sur un tronçon de 50m.
Ecartement 	6m / en courbe : 3m	+1/- 2mm
Gauchissement 	3m	+/- 1mm