

7. TRACE DE ROUTE, PROFILS ET CUBATURES

7.1. TERMINOLOGIE ROUTIERE

Il convient de définir un certain nombre de termes techniques propre aux travaux routiers.

7.1.1 Assiette : Champ du terrain occupée par la chaussée, elle comprend les accotements ; les fossés et l'encombrement total des ouvrages.

7.1.2 Emprise : Partie du terrain appartenant à la collectivité, affectée à la route et à ses dépendances, qui coïncide avec le domaine public.

7.1.3 Chaussée : Surface de la route aménagée pour la circulation des véhicules. Au sens structural c'est l'ensemble des couches de matériaux qui supportent le passage des véhicules.

7.1.4 Plate forme : Constituée par une partie de l'assiette, elle se compose d'une ou deux chaussées, éventuellement du terre-plein des accotements ou des trottoirs. On distingue deux cas :

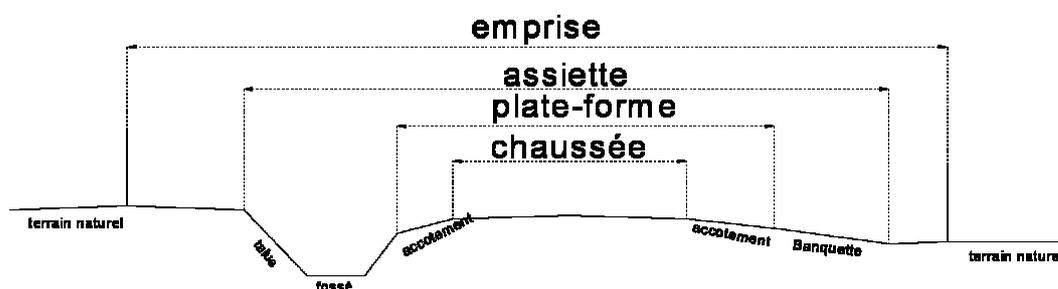
Route en remblai : La plate-forme s'étend jusqu'à la crête des remblais.

Route en déblai : La plate-forme s'étend jusqu'à la crête du fossé côté route s'il n'y a pas de fossé, elle s'étend jusqu'au pied du talus de déblai.

7.1.5 Accotements : Zones latérales qui bordent extérieurement la chaussée. Les accotements sont « dérasés » s'ils sont au même niveau que la chaussée. Ils sont « surélevés » dans le cas contraire.

7.1.6 Banquette : Parapet de terre établi le long d'une route.

7.1.7 Caniveau : Bordure extérieure de la chaussée aménagée pour l'écoulement de l'eau.



7.2 PHASES SUCCESSIVES DE L'ETUDE D'UN TRACE DE ROUTE

7.2.1 Reconnaissance du terrain

A l'aide des cartes et des photos aériennes existantes. Les cartes (1/25 000, 1/10 000, 1/5 000) font apparaître la surface du terrain avec les détails planimétriques essentiels, et son relief est exprimé par des courbes de niveau.

L'exploitation des cartes et photos aériennes permet une étude préalable du tracé de route. A ce stade exploratoire des profils en long sont dessinés en utilisant les courbes de niveau et en suivant plusieurs itinéraires. Les profils en long sont étudiés sommairement et comparés entre eux, on indique sur chacun des profils les points essentiels du terrain ayant de l'importance pour le choix du tracé (routes, canaux, rivières, ravins, voies ferrées, etc... rencontrés ou traversés).

- Le dessin sommaire du projet avec l'indication des pentes et rampes principales, hauteurs des principaux déblais.
- L'indication des ouvrages nécessaires et leur importance.

7.2.2 Profil en long de la solution de base préconisée

La comparaison des divers profils en long permet la mise au point de base établi en général à 10/5 000 pour les distances et 1/500 pour les hauteurs. Ce profil découlera d'un choix établi d'après divers critères de comparaison concernant chaque solution envisagée.

Ces critères comprennent la longueur totale, la déclivité maximale et sa longueur, longueur totale des parties courbes et leur rayon minimum, l'importance relative de déblais et remblais, la surface des

ouvrages d'art. On tient compte à la fois de l'économie du projet (construction, entretien, circulation), des points obligés de passage (considérations d'ordre politique ou économique), ainsi que des facilités de parcours.

7.2.3 Avant-projet sommaire (A.P.S.)

Le profil en long provisoire établi sera vérifié et complété sur place. Le dessein schématique des ouvrages d'art, l'indication des points kilométriques à partir d'une origine accompagneront le profil en long.

7.2.4 Avant projet détaillé (A.P.D.)

On procède au piquetage sur le terrain d'une ligne polygonale, dite base d'opération, suivant de très près les ponts de passage de la future route.

On procède ensuite au lever à grande échelle (1/1 000 ou 1/500) d'une bande d'étude de part et d'autre de la polygonale. La largeur de cette bande est variable avec le terrain, elle est en moyenne de 200 m.

Suivant l'importance du projet le lever pourra être topographique (tachéométrie) ou photogrammétrique (photos aériennes, stéréopréparation au sol et restitution).

Sur le nouveau fond de plan comprenant des courbes de niveau à équidistance de 1 m ou 0,50 m on relève graphiquement un nouveau profil en long comportant les mêmes indications qu'au stage précédent, mais avec une précision plus grande.

On reporte également à l'échelle tous les ouvrages prévus, et les hauteurs de déblai et de remblai.

7.2.5 Projet d'exécution

On procède au piquetage sur le terrain de l'axe de la voie (sommets d'alignements droits) en prenant graphiquement sur le plan les éléments nécessaires, en utilisant des repères naturels tel que des angles de constructions, bornes, etc...

Le profil en long définitif est levé sur le terrain après le piquetage de l'axe. Les cotes de nivellement et les distances indiquées sont donc exactes et ne résultent plus d'interpolation. Les profils en travers sont également levés. Les cotes du projet sont calculées au cm près à partir d'éléments exacts, et les profils peuvent être dessinés de façon précise. On mesure ensuite sur le terrain les angles formés par les alignements. Ces angles précis permettent d'étudier les courbes de raccordement des alignements, de fixer les points de tangence des courbes, leur rayon si elles sont circulaires et de calculer l'angle au centre. Ces données permettent de calculer ensuite les éléments nécessaires à leur tracé sur le terrain.

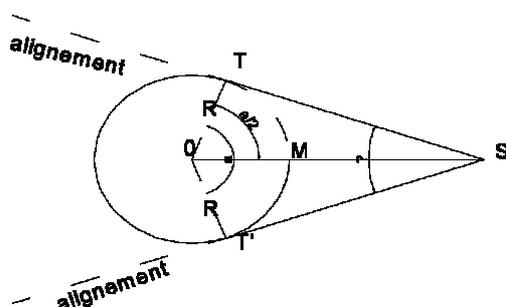
Les paragraphes suivants traitent les divers procédés d'implantation des courbes circulaires.

7.3 IMPLANTATION DES COURBES

On sait que le tracé d'une route, comme de toutes les voies de communication se compose d'alignement droits raccordés par des courbes circulaires ou progressives en tenant compte des points de passage obligés, du relief du terrain, des obstacles rencontrés...

Pour implanter un alignement droit, deux points principaux suffisent, entre lesquels il est facile de mettre en place des points intermédiaires ou secondaires. Par contre pour implanter une courbe on a besoin d'un certain nombre de points, les points de tangentes droits et leur point d'intersection ; le rayon...

7.3.1 Rappels mathématiques



- Angle au sommet S des alignements droits = θ

- Angle au centre de l'arc circulaire = α
 $TSO = OST' = \alpha / 2$

Calcul des longueurs ST, SO et SM connaissant le rayon R et l'angle θ .

$$ST = ST' = R \operatorname{tg} \alpha / 2$$

$$SO = R / (\sin \theta / 2) = \sqrt{(R \operatorname{tg} \alpha / 2)^2 + R^2}$$

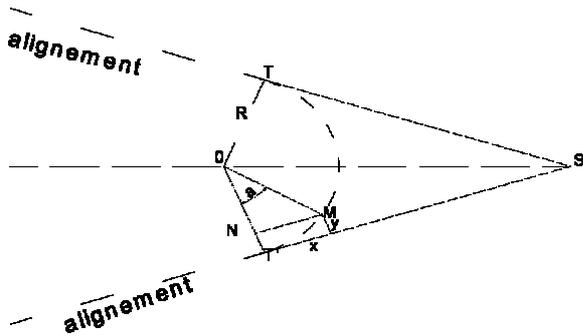
$$= \sqrt{R^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha / 2)}$$

$$SM = SO - R = R / (\sin \theta / 2) - R$$

7.3.2 Raccordement circulaire simples

Il existe plusieurs procédés d'implantation, dont voici les plus courants :

7.3.2.1 Tracé par abscisse et ordonnée sur la tangente



Données : alignements droits
points de tangentes T et T'

On a: $x = MN = R \cdot \sin\beta$

$$Y = NT = R - R \cdot \cos\beta = R (1 - \cos\beta)$$

Mode opératoire

Pour implanter les points de la courbe M, M', M''... par abscisse et ordonnées sur la droite TS (prolongement de l'alignement droit PT), il est nécessaire de calculer les coordonnées x et y des points de courbes, l'alignement TS étant considéré comme axe des x. Pour implanter les points de la courbe M, M', M''... on adoptera successivement pour l'angle β une valeur ronde et ses multiples (10gr, 20gr, 30gr,...). Sur le terrain il suffit donc de prolonger l'alignement PT avec un théodolite et d'implanter M, M', M'' par abscisse et ordonnées.

Application

R = 450m coordonnées de M. on choisit $\beta = 30\text{gr}$

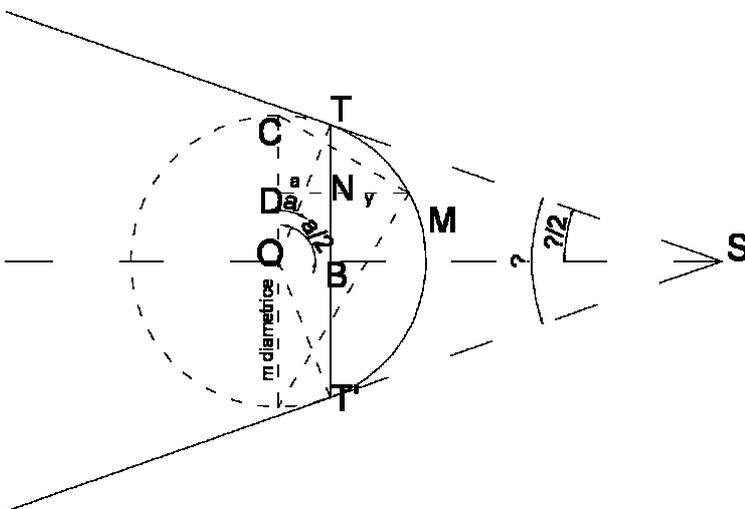
$$X = 450 \sin 60\text{gr} =$$

$$Y = 450(1 - \cos 60\text{gr}) =$$

Après avoir implanté M, M', M''... sur la tangente TS, on repère symétriquement sur la droite T'S

β	$x = R \cdot \sin \beta$	$y = R \cdot (1 - \cos\beta)$
10		
20		
30		
40		

7.3.2.2 Tracé par ordonnées sur la corde



Calcul des éléments d'implantation

$$(\alpha / 2) = 100\text{gr} - \theta/2 ; TB = R \cdot \sin (\alpha / 2)$$

$$DN = BO = a = \sqrt{R^2 - TB^2}$$

Dans un triangle rectangle CME la hauteur DM est la moyenne proportionnelle entre les segments qu'elle détermine sur l'hypoténuse:

D'où $CD \cdot DE = DM^2$ or on peut écrire $CD \cdot DE = (R - x)(R + x) = R^2 - x^2$ d'où

$$DM^2 = \sqrt{R^2 - x^2}$$

$$DM^2 = \sqrt{R^2 - x^2}$$

$$y = (\sqrt{R^2 - x^2}) - (\sqrt{R^2 - (R \sin\theta / 2)^2})$$

Mode opératoire

Mettre en place le point B au milieu de TT'.

- Adopter différentes valeurs de x (10m, 20m, 30m, 40m...) et calculer la valeur correspondantes à y
- Implanter par abscisse et ordonnées sur BT à partir de B, les points de la courbes M, M', M''...
- Effectuer l'implantation supplémentaire sur BT'.

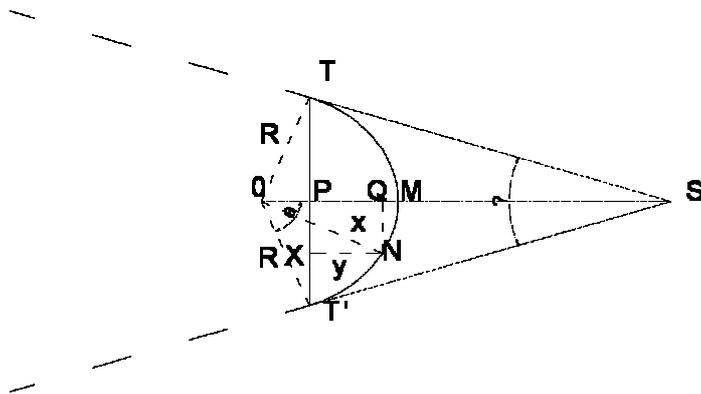
Application :

Considérons une valeur de longueur 30m adoptée pour x. R=450m, $\alpha/2 = 30\text{gr}$

$$y = (\sqrt{450^2 - 30^2} - \sqrt{450^2 - (450 \cdot \sin 30)^2})$$

$$x = 20\text{m}$$

7.3.2.3 Tracé par coordonnées rectangulaire sur la corde



Données : angle θ et R ; points de tangence T et T'

Calcul des éléments d'implantation

$$\alpha = 100\text{gr} - \theta/2$$

Abscisse ou x du point N de la courbe =

$$PX = QN \quad x = QN = R \sin \beta$$

Ordonnée ou y du point P de la courbe =

$$XN = QP = OQ - OP ;$$

$$OQ - OP = R \cos \beta - R \cos \alpha =$$

$$R (\cos \beta - \cos \alpha) = y$$

Mode opératoire

Mettre en place le point P au milieu de TT'.

- Adopter différentes valeurs de β (10gr, 20gr, 30gr, 40gr...) et calculer les coordonnées x et y des points de la courbes N, N', N''
- Implanter les points de la courbe par abscisse et ordonnées sur PT' à partir de P.
- Effectuer l'implantation symétrique sur PT à partir de P.

Application :

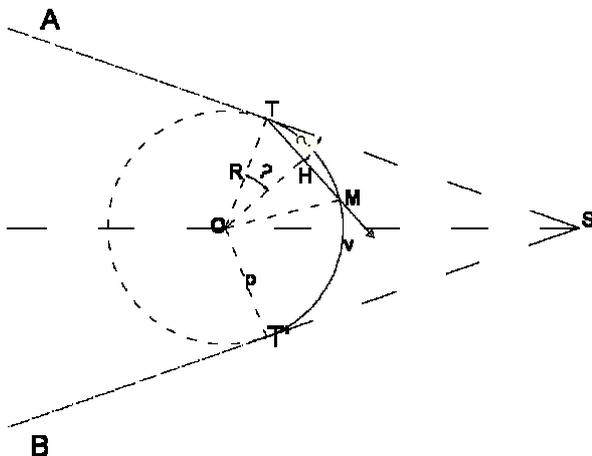
Considérons une valeur angulaire de $\beta = 60\text{gr}$. R = 450m, $\alpha = 100\text{gr} - \theta/2$ et $\theta = 30\text{gr}$

$\alpha = 100\text{gr} - 30/2$: coordonnées de N sur la corde

$$x = R \sin \beta = 450 \cdot \sin 60\text{gr}$$

$$y = R (\cos \beta - \cos \alpha)$$

7.3.2.4 Tracé par coordonnées polaires



Données : alignement droit AT et BT' rayon R ;

Dans le triangle isocèle OTM, la hauteur OH coupe la corde TM en son milieu. L'angle TOH et l'angle TOH et l'angle STM, dont les cotés sont perpendiculaires, sont égaux :

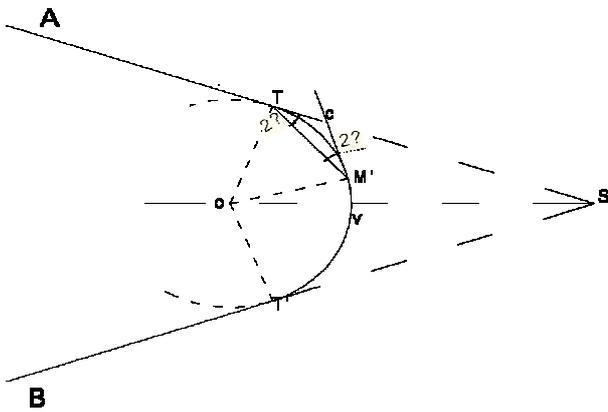
$STM = TOH = \gamma$. En plus $TH = HM = l/2 =$

$$R \cdot \sin \gamma \quad l = TM = 2R \sin \gamma$$

Mode opératoire

Suivant la densité des points à obtenir sur la courbe on choisit un angle arbitraire γ et ses multiples 2γ , 3γ , ...

- On calcule les longueurs l , l' , l'' des cordes successivement considérées à partir de T. par exemple : $l = TM = 2R \sin \gamma$ $l' = TM' = 2R \sin 2\gamma$
- Avec le théodolite centré sur T et la référence prise sur A, on ouvre l'angle $200\text{gr} + \gamma$. Sur cette direction on mesure l et on obtient le point M sur la courbe.
- Toujours en station en T on ouvre un angle 2γ et sur cette direction on mesure l' et on obtient M' et ainsi de suite.
- Si la visibilité ou le terrain ne permet pas d'implanter tous les points à partir de la station T, on peut stationner l'un des points de la courbe et on refait à partir de ce point, le même travail qui a été accompli à partir de T pour la suite de la courbe.



Le point délicat consiste à bien rétablir le nouvel angle en M' . Du point T on a implanté M' par exemple 2γ dans ce cas on a : $\angle STM' = 2\gamma$. Pour établir la tangente en M' , on observe dans le point T et on implante le point suivant M'' en ouvrant un angle égal à $200\text{gr} + 2\gamma + \gamma = 200\text{gr} + 3\gamma$. $M'T$ sera la base de départ de la suite des implantations

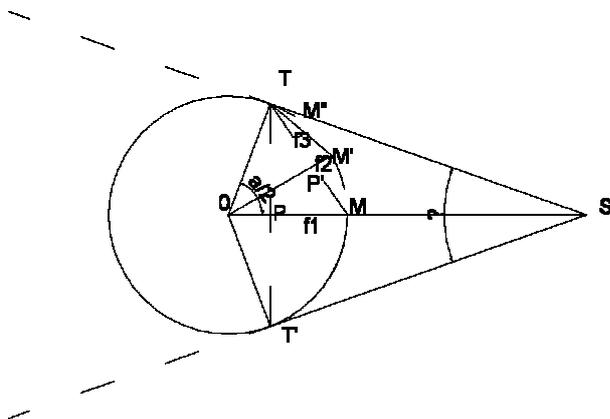
Application :

Considérons une valeur angulaire $\gamma = 10\text{gr}$ $R = 200\text{m}$, $\alpha = 100\text{gr} - \theta / 2$ $\theta = 30\text{gr}$

$$l = 2 * 200 * \sin 10\text{gr} =$$

7.3.2.5 Tracé approché par cordes et flèches ou méthode des quarts

Données : points de tangence T et T', angle θ et R ; angle au centre $\alpha = (200 - \theta) / 2$



Données : alignement droit AT et BT'

Mode opératoire

Le procédé repose sur la propriété suivante : arc du segment capable de l'angle $\angle TMT' = \angle ATT'$. Tous les points de la courbe font avec les points de tangence TT' le même angle $\angle ATT' = \alpha$

Considérons la propriété suivante, relative aux flèches f_1, f_2, f_3, \dots on a :

$$f_1 = R - R \cos \alpha = R (1 - \cos \alpha)$$

$$f_2 = R - R \cos \alpha / 2 = R (1 - \cos \alpha / 2)$$

Or le rapport de ces deux longueurs de flèches est sensiblement de 1 à 4 quand on passe d'un arc α à un arc $\alpha / 2$

Considérons $\alpha = 20\text{gr}$ et $R = 100\text{m}$,

$$f_1 = R - R \cos \alpha = R (1 - \cos \alpha)$$

$$f_1 = 100 (1 - \cos 20) =$$

$$f_2 = R - R \cos \alpha / 2 = R (1 - \cos \alpha / 2)$$

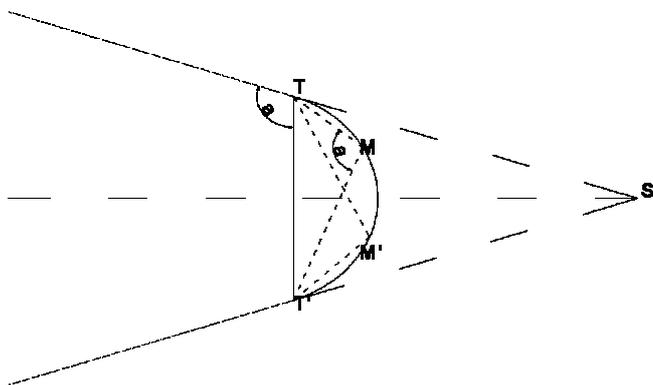
$$f_2 = 100(1 - \cos 20 / 2) =$$

Or en divisant par $f_1 / 4$ on obtient f_2 soit un écart de 3cm pour un rayon de 100m et un angle $\alpha = 30$ gr. Cette propriété, pour une implantation approchée à quelques centimètres près, permet d'utiliser le mode opératoire suivant :

- Calculer une seule flèche f_1
- Planter P au milieu de la corde TT' . Tracer une perpendiculaire à TT' et ensuite M sur la courbe en mesurant f_1 sur la perpendiculaire
- Placer P' au milieu de la corde MT et ensuite M' sur la perpendiculaire à MT et à une distance
- Placer ensuite M'' en utilisant la corde MT et une flèche $f_3 = f_2 / 4$, et ainsi de suite,

On contrôle l'équidistance des points de la courbe ce procédé approcher permet l'implantation de points de courbe par mesures linéaires et sans mesure d'angle.

7.3.2.6 Tracé approché avec une équerre de raccordement



Données : alignements droits AT et BT'

Mode opératoire

$$ATT' = TMT' = \alpha \text{ et } \alpha + MTT' + \beta = 200\text{gr}$$

Or dans le triangle TMT' nous avons α

$$+MTT' + TT'M = 200\text{gr d'où}$$

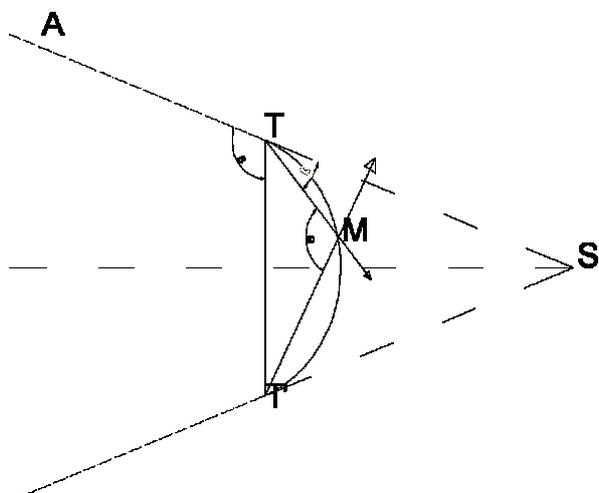
$$STM = TT'M = \beta.$$

Mode opératoire

Avec une équerre de raccordement ou curvigraph, on se place en T à l'intérieur de la courbe, et on fait pivoter jusqu'à ce que l'image verticale du jalon T' soit visible au milieu du miroir inférieur.

- On fait tourner le miroir supérieur mobile afin d'aligner du jalon placé en A sur celle du jalon T'. A ce moment des deux miroirs forment un angle égal à ATT'
- Se déplacer ensuite sur le tracé présumé de la courbe de manière que les images des jalons placés en T et T' demeurent en coïncidence sur les miroirs.
- A l'aplomb de la l'équerre (fil à plomb, canne de centrage) se trouve un point M de l'arc de raccordement recherché (précision de l'ordre de quelques centimètres).

7.3.2.7 Tracé avec deux instruments



Données : alignements droits AT et BT',

Le procédé est basé sur la propriété exposée au paragraphe 7.3.2.5

$$ATT' = TMT' = \alpha \text{ avec } \alpha + MTT' + \beta = 200\text{gr}$$

or dans le triangle TMT'

$$\text{Nous avons } \alpha + MTT' + TT'M = 200\text{gr}$$

$$\text{d'où } STM = TT'M = \beta$$

Mode opératoire

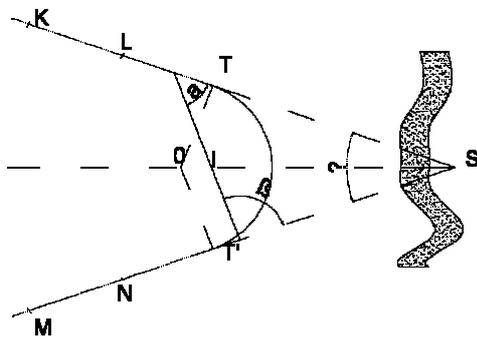
On procède donc de la manière suivante, les deux opérateurs stationnent au théodolite les points de tangence T et T'. Il convient d'ouvrir ensemble le même angle β par exemple de 2 en 2 gr à partir de leur référence respective soit $200\text{gr} + \beta$ pour l'opérateur dont la référence est TA, et β pour l'opérateur dont la référence est T'T.

Les points M, M', M''... sont définis à chaque fois par l'intersection des deux visées.

Ce procédé est très rigoureux, rapide, ne nécessite aucun calcul, mais repose sur l'emploi simultané de deux opérateurs et de deux instruments ce qui est difficile à réaliser.

7.3.2.8 Implantations des points de tangence avec l'intersection des alignements droits étant inaccessibles.

Données : alignement droit AT et BT'



Mode opératoire

On place, le plus près possible des points de tangences présumés et sur les alignements droits, les points A et B. avec un théodolite on mesure les angles LAB et NBA dont on déduit les angles α et β .

On mesure la distance AB (ruban ou stadia) = l

On a : $\theta = 200\text{gr} - (\alpha + \beta)$ et $\sin [200 - (\alpha + \beta)] =$

$\sin (\alpha + \beta)$

D'autre part dans le triangle ABS :

$[AB / \sin\theta] = [BS / \sin\alpha] = [AS / \sin\beta]$

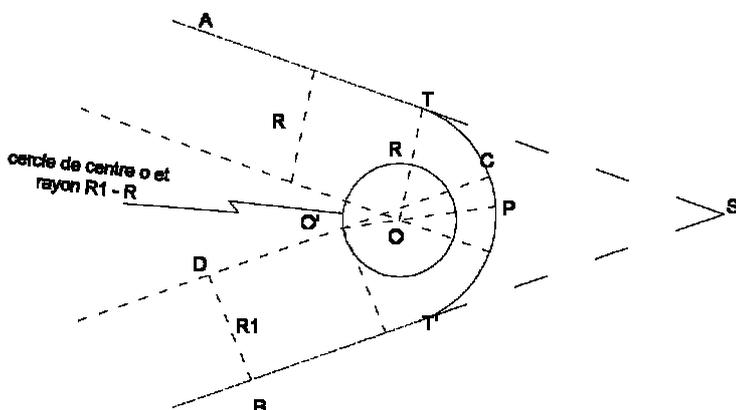
$AS = [(AB * \sin\beta) / \sin\theta] = [(l * \sin\beta) / \sin\theta]$

Et $TS = R * \cotg (\theta / 2)$ d'où $AT = AS - TS = [(l * \sin\beta) / \sin\theta] - R * \cotg (\theta / 2)$ on a de même

$BS = [(l * \sin\alpha) / \sin\theta]$ d'où $BT' = ST' - BS = [R * \cotg (\theta / 2)] - [(l * \sin\alpha) / \sin\theta]$ on implante alors T et T' à partir respectivement de A et B par chaînage des longueurs AT et BT'.

7.3.2.9 raccords de deux alignements droits par deux courbes circulaires de rayons différents.

Données : point de tangence T, alignement droit AT et BT' les rayons R et R1,



Soit SA et SB, deux alignements droits à raccorder par deux courbes circulaires de rayon R et R1.

Le point O est situé sur la parallèle à SA, à une distance R,

Le point O' est situé sur la parallèle à SB, à une distance R1

Mode opératoire

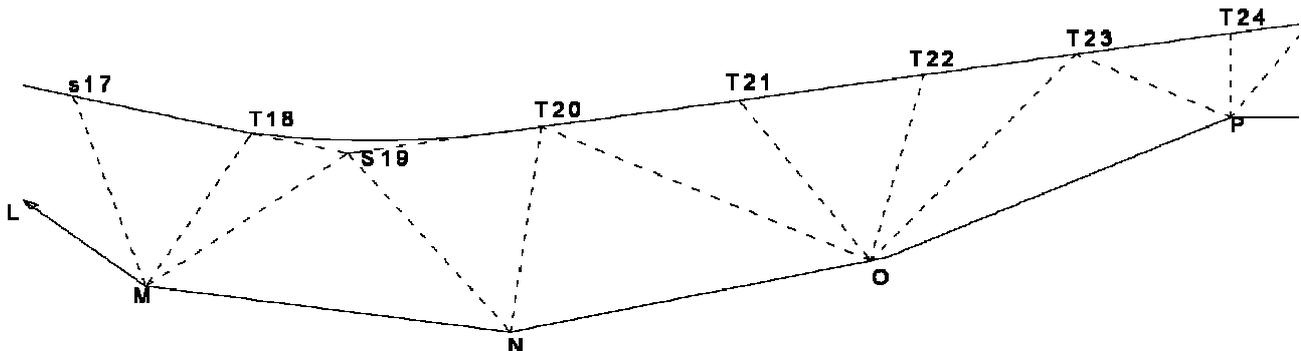
- Du point T élever une perpendiculaire à l'alignement TA,
- Sur cette perpendiculaire portée la distance R, on obtient le centre O
- La distance OO' entre les deux centres est égale à $R_1 - R$. implanter O' qui se trouve à l'intersection de la parallèle à l'alignement BS tracée à une distance R_1 et d'un arc de rayon $R_1 - R$ tracé depuis le centre O.
- élever une perpendiculaire en O' à la parallèle DO' et implanter T' à une distance R_1 .
- le prolongement de la droite OO' détermine la limite P entre les deux courbes.
- Les points complémentaires sur ces deux courbes seront implantés en utilisant l'un des deux procédés précédents connaissant les points de tangences, corde et rayon.

Il existe également une solution mathématique du problème par calcul des coordonnées des points de courbes, et en opérant ensuite comme il est indiqué au paragraphe suivant.

7.3.2.10 Piquage de courbes par coordonnées calculées.

Si les points d'axes sont calculés en coordonnées ainsi que les repères du canevas de base (triangulation ou polygonation) il est facile de calculer les gisements et les distances de chacun des canevas aux points d'axes les plus proches (alignements droits et courbes). Il est nécessaire de connaître parfaitement le terrain pour choisir judicieusement les repères d'où on plante par rayonnement (coordonnées polaires), ou par double rayonnement (coordonnées bipolaires).

On peut vérifier les implantations en mesurant les distances entre les points proches.



Il est nécessaire d'établir pour chaque station une fiche avec les gisements et des distances entre le repère et chaque point d'axe ainsi qu'un croquis, et les distances de contrôle entre les points implantés.

7.4 RACCORDEMENTS A COURBURE PROGRESSIVE (CLOTHOIDE)

7.4.1 GENERALITE