

Objectifs pédagogiques

- Phasage de conception d'un projet routier;
- Terminologie routière ;
- Ouvrages d'assainissement et dispositifs de drainage;
- Paramètres fondamentaux des projets routiers.

Prérequis

- Topographie ;
- Calcul de structures de chaussées (Géotechnique, Mécanique des sols);
- Matériaux et procédés de construction.

Contenu de la matière

- Tracé en plan;
- Profil en long;
- Profil en travers;
- Normes routières

Contenu du module

Volume horaire:

Éléments du module	Volumes horaires (heures)					
	Cours	TD	TP	Projet	Examen	Total matière
Matière	8	8	6	6	4	32

Evaluation:

Élément	CC	TP	Examen	Total matière
Matière	50 %		50 %	100 %

Terminologie routière

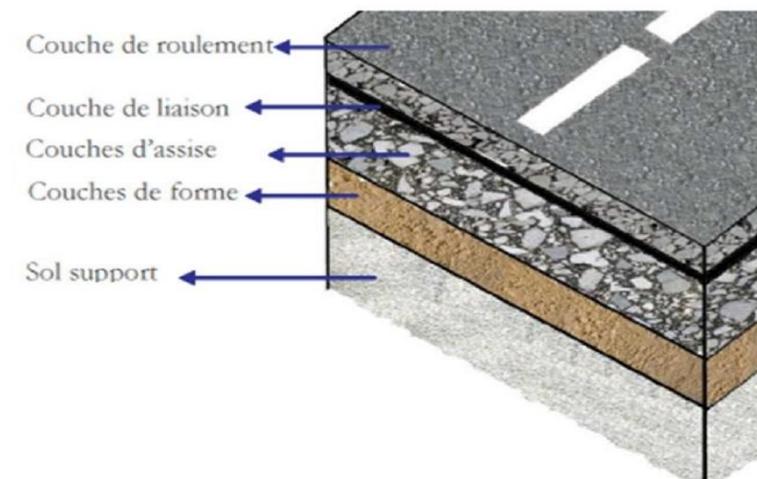
C'est la surface revêtue de la route sur laquelle circulent les véhicules. (Ensemble des couches de matériaux rapportées sur un terrain naturel pour permettre la circulation de véhicules).

On distingue:

- Route urbaine / Route rurale / Voirie ?
- Autoroute / Voie rapide / Voie express ?
- Route nationale (RN) / Route régionale (RR) / Route provinciale (RP) / Route locale ?

En règle générale, une chaussée comporte 04 couches:

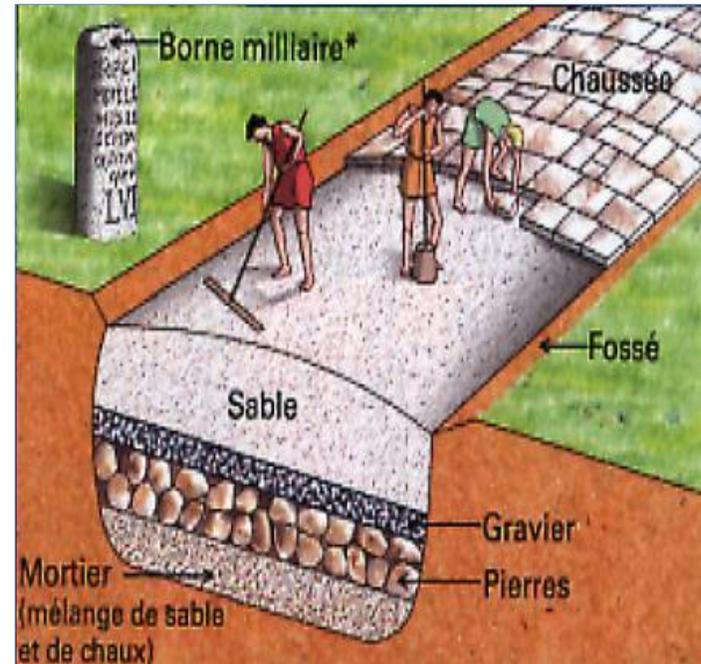
- Couche de roulement;
- Couche de base;
- Couche de fondation;
- Couche de forme.



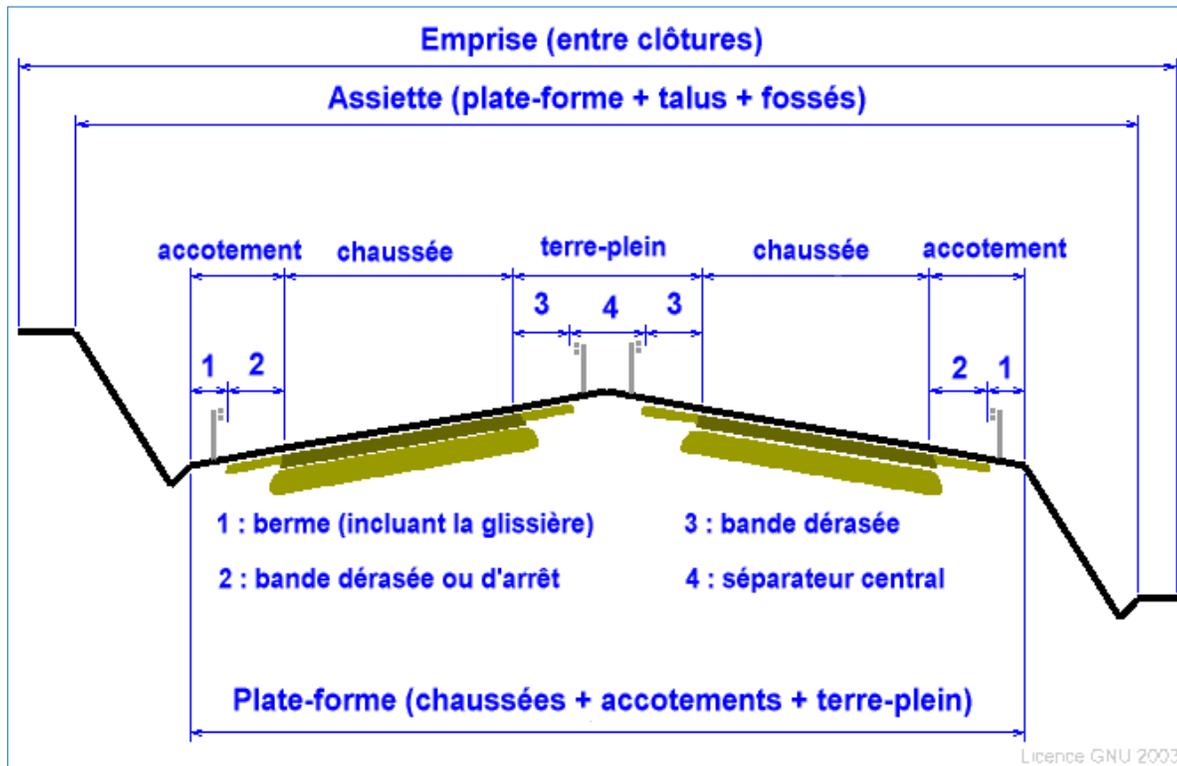
Terminologie routière

Anciennes routes:

L'idée du **matelas** de pierres a duré de nombreux siècles. Elle s'est développée à l'époque des **Romains** pour donner naissance à la « chaussée romaine » : le dallage. Plus tard, la route empierrée « macadam » a fait son apparition et avec elle, les premières spécifications pour l'exécution d'une bonne route.



Terminologie routière



Accotement : zone latérales de plate forme qui bordes latéralement

Assiette: surface du terrain réellement occupée par la route;

Chaussée: Surface aménagée de la route sur laquelle circule les véhicules;

Fossés: Pour évacuer les eaux drainées par la chaussée et les accotements;

Emprise: Partie du terrain affecté à la route ainsi qu'à ses dépendances;

Plate forme: Surface de la route qui comprend la chaussée et les accotements;

$$PLATE-FORME = (CHAUSSÉES + ACCOTEMENTS + TPC) < ASSIETTE < EMPRISE$$

Terminologie routière



TPC



Chaussée

Épaulement

Accotement

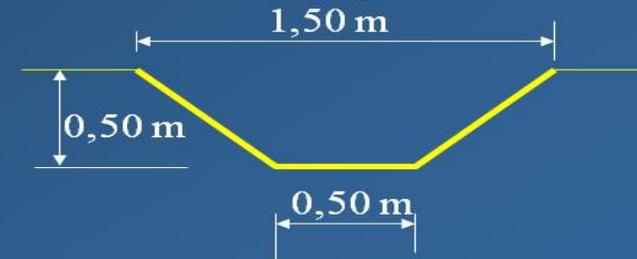
Terminologie routière



Fossé Triangulaire



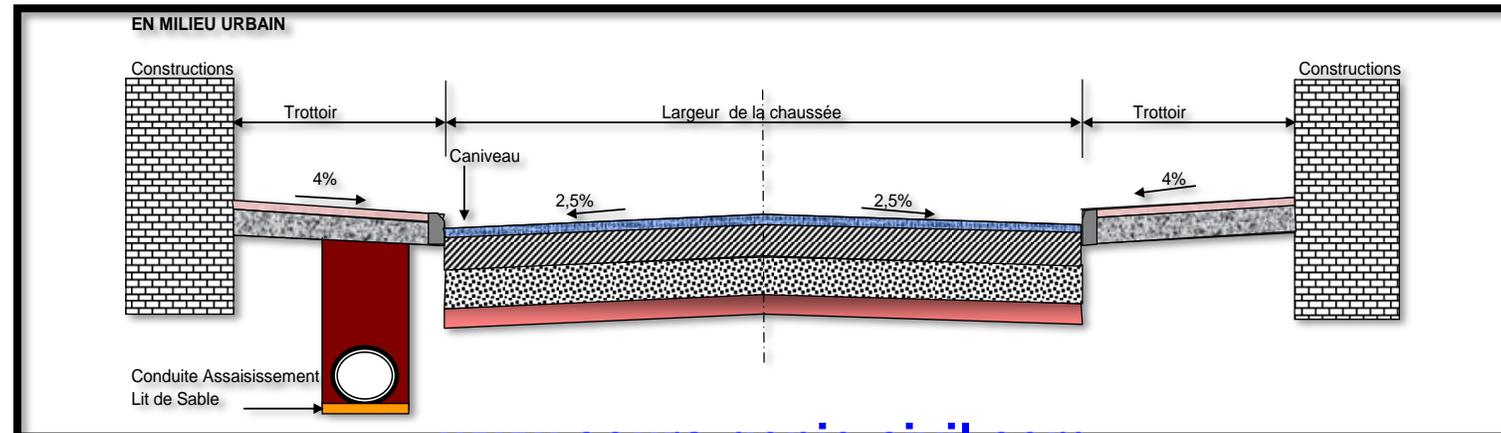
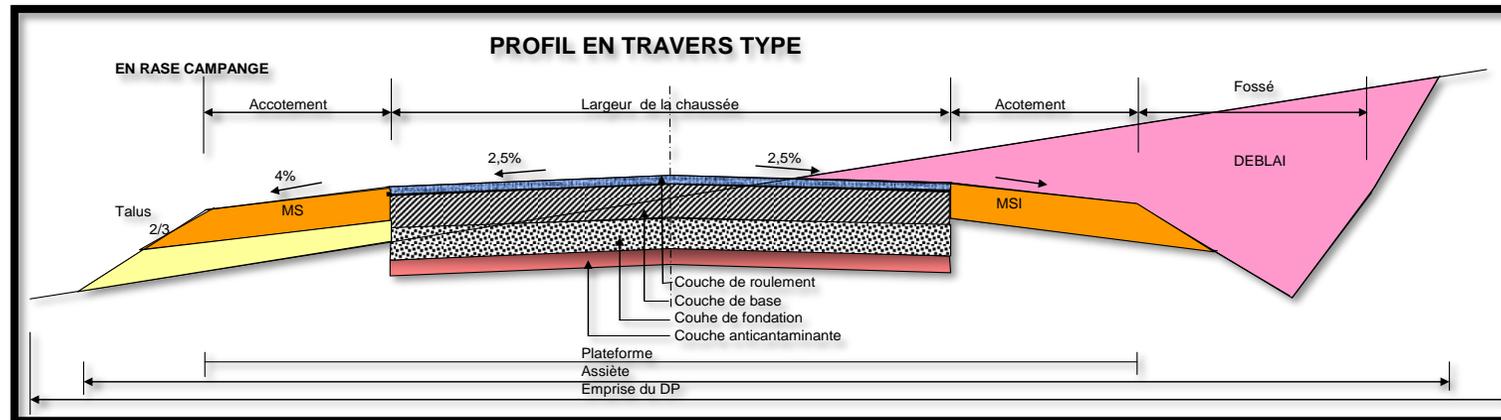
Fossé Trapézoïdal



Terminologie routière : Ouvrages hydrauliques



Terminologie routière : Profil en Travers



Terminologie routière

MATERIAUX DE CHAUSSEES:

- Revêtement:

RS : Revêtement Superficiel. • ECF : Enrobé Coulé à Froid. • EF : Enrobé à Froid. • EB (BB) : Enrobé (Béton) Bitumineux.
• BBME : Béton Bitumineux à Module Elevé. • BBTM : Béton Bitumineux Très Mince. • BBDr : Béton Bitumineux Drainant.

- Couche de base: GNF1, GNF2, GNF3 (non traités), GBB, EME (hydro-carbonés), GVC, GAC (traités au ciment)....

- Couche de fondation : GNA, GNB, GNC, GND (non traités), GBF, GE (hydro-carbonés), GC (traités au ciment)....

- Couche de forme: réutilisation, amélioration ou traitement du sol.

Infrastructures urbaines au Maroc

=> Voirie urbaine:

- Autoroutes urbaines;
- Voie express ou Voie rapide;
- Boulevard; -Avenue; -Rue; -Ruelle etc...

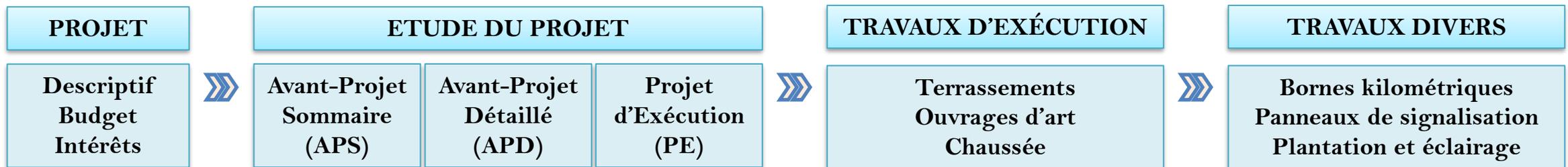
=> Réseau routier en rase campagne:

- Auto - routes de liaison;
- Rocade (voie de contournement);
- Route Nationale (RN) (relie deux pôles économiques);
- Route Régionale (RR) (relie les routes nationales, et lie entre les régions);
- Route Provinciale (RP)(assure les liaisons entre les communes);
- Piste Communale (à l'intérieur des communes);
- Piste Forestière (à l'intérieur des forêts);
- Polygone Bétravier (dans les zones agricoles remembrées);
- Routes ou pistes privées.

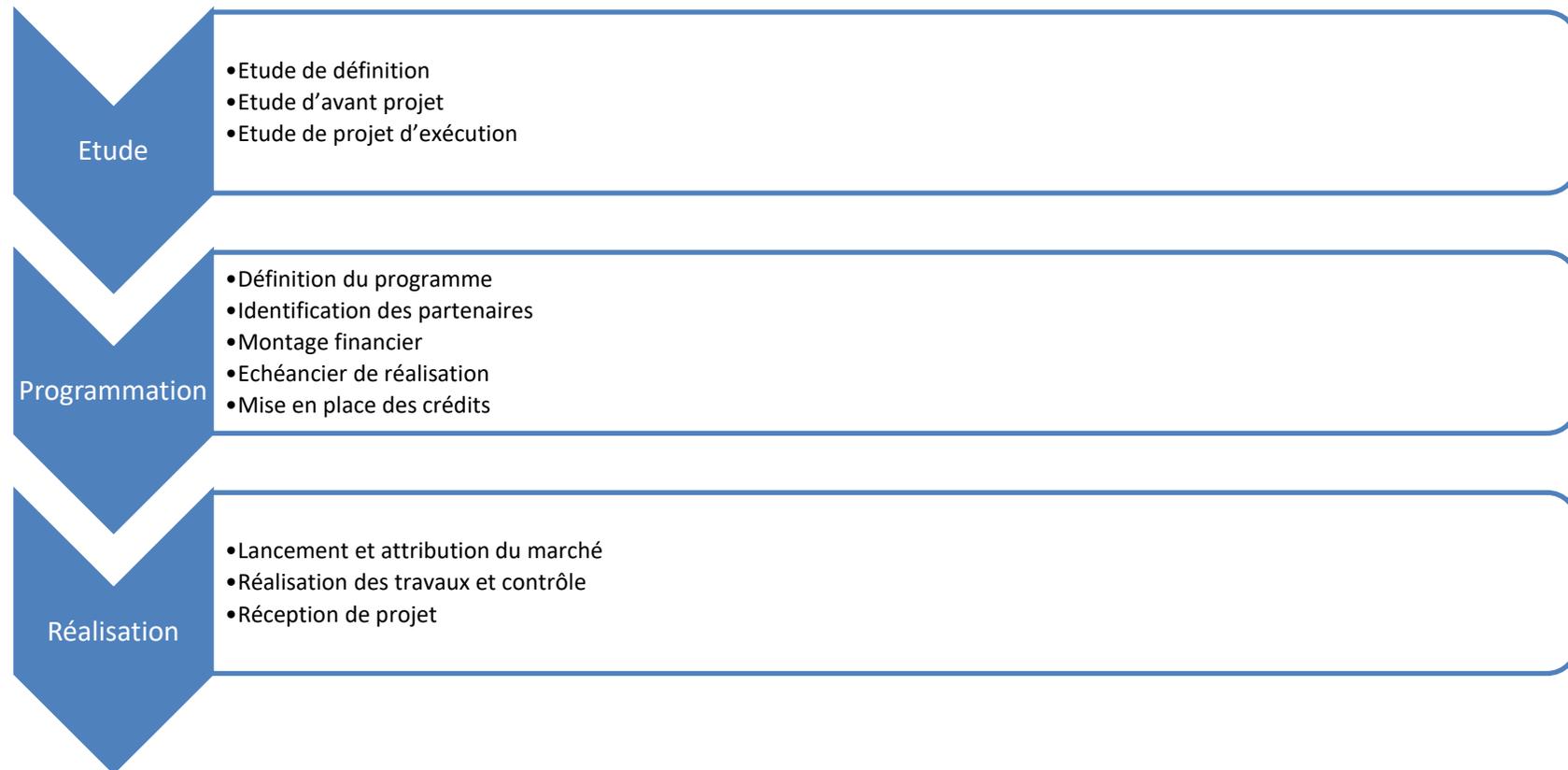
Gestion des réseaux routiers

- **Les collectivités locales** → (Voirie urbaine et routes communales);
- **Le Ministère de l'Équipement et des Transports** → (Réseau classé RN ,RR et RP);
- **Les Autoroutes du Maroc (ADM)** → (les autoroutes à péage);
- **Les Eaux et forêts** → (pistes forestières);
- **Le Ministère de l'Agriculture** → (Polygone Bétravier).

Phasage de conception



Déroulement d'un projet routier



Déroulement d'un projet routier

ETUDE DU PROJET

Avant-Projet Sommaire

- Plan de situation (ECH. 1/200 000)
- Variantes de tracés (ECH. 1/10 000)
- Profils en long simplifiés
- Profil en travers type
- Estimation sommaire
- Rapport justificatif

Avant-Projet Détaillée

- Plan de situation (ECH. 1/100 000)
- Tracé en plan détaillé (ECH. 1/2 000)
- Profil en long définitif
- Profil en travers type (ECH. 1/100)
- Métré des terrassements
- Tableau des mouvements des terres
- Cahiers de reconnaissance des sols
- Plan d'ensemble des ouvrages d'art
- Devis estimatif des acquisitions immobilières
- Mémoire de l'avant-projet sommaire
- Etude détaillée de rentabilité
- L'avant-projet géométrique

Projet d'Exécution

- Bordereau 00 : pièces générales**
- Conditions d'appel à la concurrence
 - Règlement particulier de l'AO
- Bordereau 01 : pièces du marché**
- AE (Acte d'Engagement), CCAP, CCTP
 - Plans d'exécution
 - Cadre de bordereau des prix
 - Cadre du détail estimatif
- Bordereau 02 : pièces utiles**
- Plan de situation
 - Sondages de reconnaissance des sols
 - Avant-métré, etc.

Paramètres fondamentaux des projets routiers

ils sont :

- ▶ Vitesse de base;
- ▶ Distance de freinage;
- ▶ Distance d'arrêt ;
- ▶ Distance de sécurité entre 2 véhicules;
- ▶ Distance de dépassement;
- ▶ Distance de visibilité de dépassement;

Vitesse de base (vitesse de référence)

▪ Vitesse de référence :

Vitesse pouvant être pratiquée en tout point du tronçon routier considéré :

- Imposée par les contraintes topographiques des sites ;
- Permet de définir les caractéristiques minimales d'aménagement.

▪ Vitesse réglementaire :

Vitesses limites fixées, dans un but de sécurité, selon :

- Les types de voies ;
- Leurs caractéristiques géométriques ;
- Leur environnement (urbain, périurbain, rase campagne)
- Les conditions météorologiques, etc.

▪ Vitesse pratiquée :

Les vitesses pratiquées sont souvent supérieures à la vitesse de référence.

Vitesses de base

Selon la vitesse de référence, on définit 5 catégories :

Catégorie	Exceptionnelle	1 ^{ère} Catégorie	2 ^{ème} Catégorie	3 ^{ème} Catégorie	Hors Catégorie
Vb (Km/h)	120	100	80	60	40

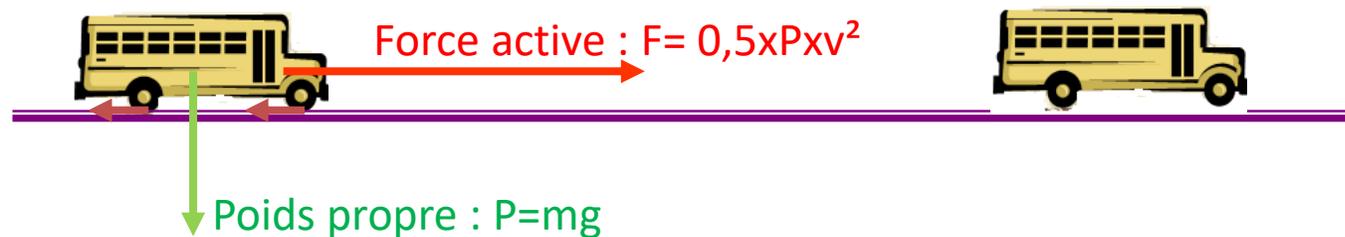
Aussi, il faut la pratiquer pendant au moins de 5 min, soit:

Vitesse (Km/h)	Distance parcouru pendant 5 min
40	3.33 Km
60	5.00 Km
80	6.67 Km
100	8.33 Km
120	10.00 Km

Distance de freinage (d_f)

C'est la distance parcourue par le véhicule pendant l'action effective de freinage, elle dépend de la vitesse et de la nature de chaussée (f : coefficient de frottement = 0.4);

$$d_f = V^2 / (25 * f * g) \approx V^2 / 100$$



Catégorie	Exceptionnelle	1 ^{ère} Catégorie	2 ^{ème} Catégorie	3 ^{ème} Catégorie	Hors Catégorie
V_b (km/h)	120	100	80	60	40
d_f (m)	144	100	64	36	16

Distance d'arrêt

Distance d'arrêt = Distance de freinage + distance de réaction

1- La distance d'arrêt en ligne droite est donnée par la formule :

$$d1(m) = 0.004 \cdot V^2/f + 0.55 V \text{ [Km/h]} \quad V < 100 \text{ km/h}$$

$$d1(m) = 0.004 \cdot V^2/f + 0.50 V \text{ [Km/h]} \quad V > 100 \text{ km/h}$$

2- La distance d'arrêt en courbe est donnée

$$d2(m) = 0.005 \cdot V^2/f + 0.55 V \text{ [Km/h]} \quad V < 100 \text{ km/h}$$

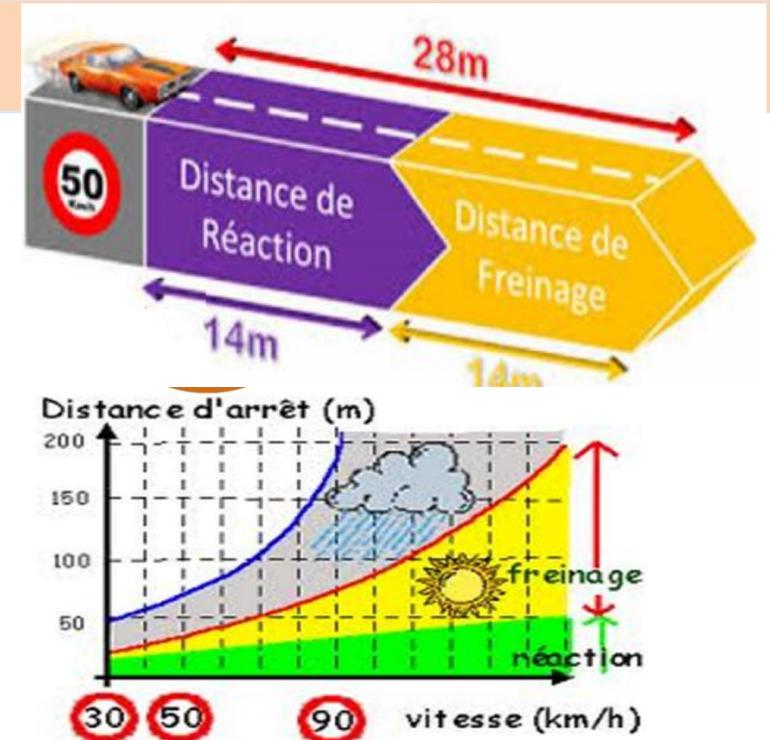
Avec:

Le premier terme est la longueur de freinage.

0.55 le temps de perception – réaction du conducteur.

f : le coefficient de frottement, ce coefficient diminue lorsque la vitesse augmente

V : la vitesse du véhicule.



Exemples de calcul de distance d'arrêt

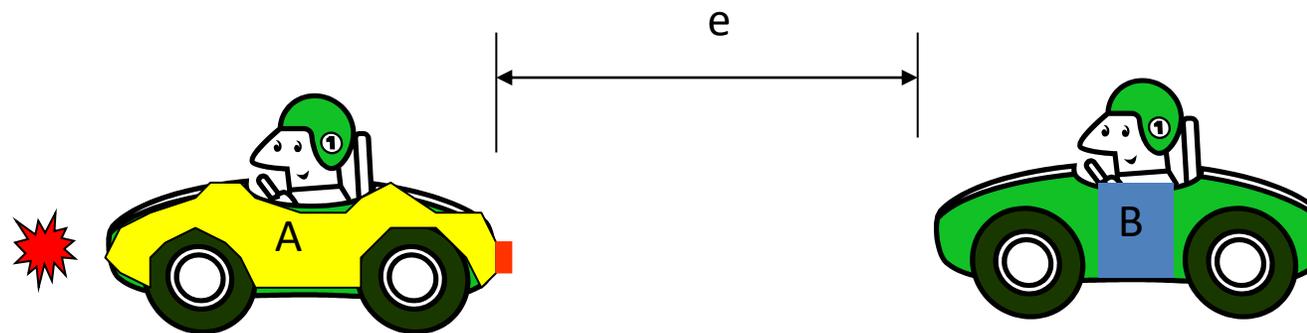
Vitesse (Km/h)	Coefficient de frottement	En ligne droite		En Courbe	
		V < 100	V > 100	V < 100	V > 100
120	0,34		229,41		271,76
40	0,46	35,91		39,39	

En pratique, la distance d'arrêt est donnée comme suit:

V(Km/h)	40	60	80	100	120	130	140
f	0,46	0,44	0,42	0,38	0,34	0,32	0,30
d1(m)	40	70	105	160	230	280	330
d2(m)	45	80	120	180	275	330	390

Distance de sécurité entre 2 véhicules

L'espacement entre les deux véhicules sera simplement parcouru durant le temps de réaction



$$e = V/5 + L \text{ avec : } L = \text{Longueur du véhicule } L=8\text{m}$$

En pratique, il faut ajouter un terme qui reflète l'hésitation de freinage au maximum de B.

$$E = e + V^2/335 = V/5 + L + V^2/335$$

Exemples de calcul de sécurité

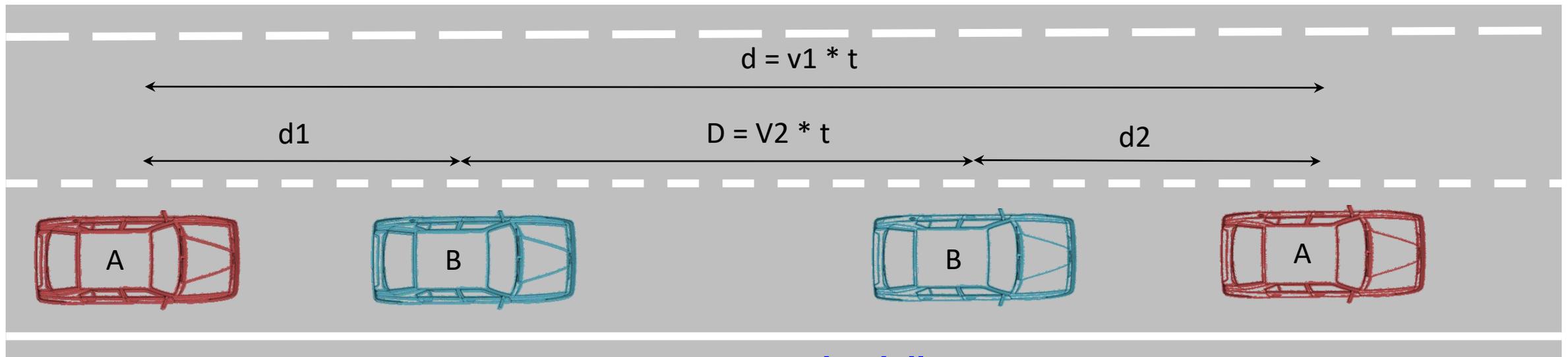
En pratique, la distance de sécurité est donnée comme suit:

V(Km/h)	40	60	80	100	120	130	140
Distance de sécurité	25	35	45	60	75	85	95

Distance de dépassement

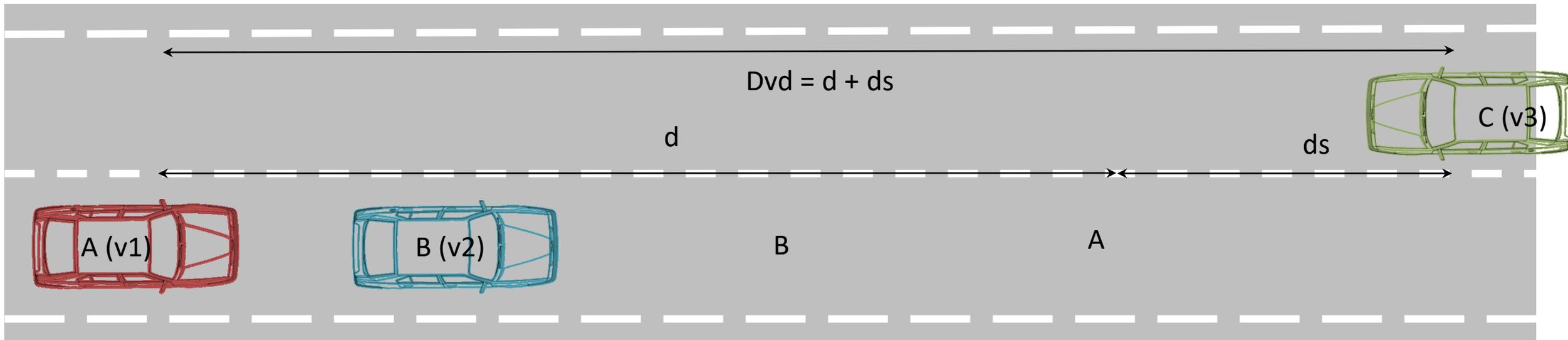
$$d = \frac{v_1(d_1 + d_2)}{v_1 - v_2}$$

$$d = \frac{2v_1(0.2v_1 + 8)}{v_1 - v_2}$$



Distance de visibilité de dépassement

$$D_{vd} = \frac{v_1(d_1+d_2)}{v_1-v_2} + \frac{V_3(d_1+d_2)}{v_1-v_2}$$



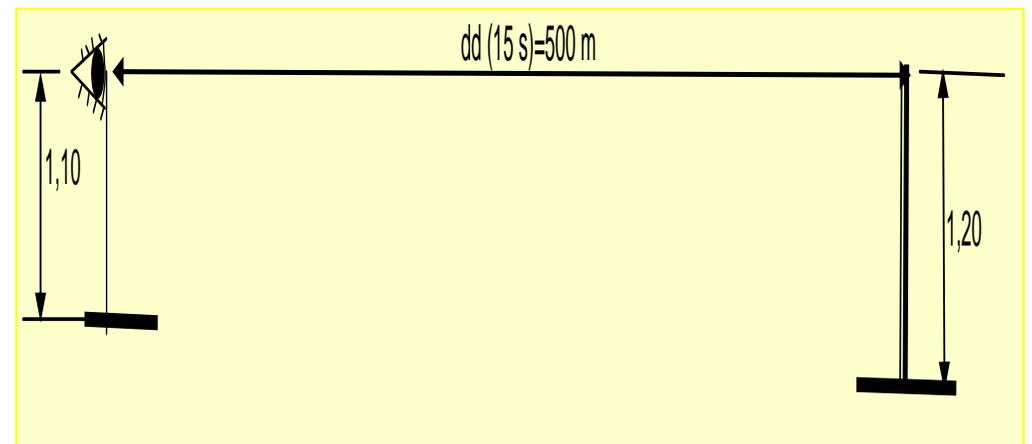
Distance de visibilité (en pratique)

Distance maximale, pour tout point du tracé, **telle** qu'un observateur, placé en ce point à 1.10 m du sol, puisse voir un objet placé à toute distance inférieure.

Distance qui permet sur une route bidirectionnelle de terminer le dépassement sans obliger le véhicule arrivant en sens inverse à ralentir. La hauteur conventionnelle du véhicule adverse étant de 1,20 m.(soit une durée de dépassement de 7 à 8 s comme valeur minimale et de 11 à 12 s comme valeur normale).

$dd(m) = 4.V (Km/h)$: Valeur minimale

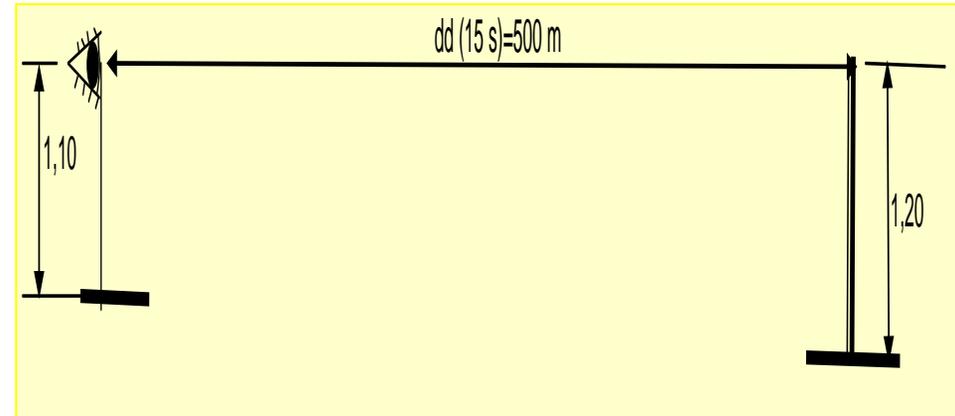
$dD (m) = 6.V (Km/h)$: Valeur normale



Distance de visibilité (en pratique)

$d(m) = 4.V \text{ (Km/h)}$: Valeur minimale

$dD(m) = 6.V \text{ (Km/h)}$: Valeur normale



Valeur	Vitesse (Km/h)	Distance de visibilité de dépassement (en m)
dd (minimale)	80	320
dD(normale)	80	480

- **Obligations** : - permettre à l'usager la visibilité à la distance d'arrêt ;
: - permettre à l'usager la visibilité à la distance de dépassement.

Notions et paramètres de base

- **Caractéristiques à déterminer :**
 - **Tracé en plan** : Alignements; rayon de courbure en plan, clothoïde.... ;
 - **Profil en long** : Déclivités maximales et rayons de raccordement saillant et rentrant ;
 - **Profil en travers** : Largeur de la chaussée, largeur de la plateforme, Devers et Pente des talus ;
 - **L'assainissement et drainage** : Buses, dalots, radiers, Ouvrages d'art, Tranchées drainantes, Tapis drainants, etc.

Notions et paramètres de base

- **La catégorie d'un tronçon** de route n'a de sens que si ce dernier correspond à au moins de 5 minutes de parcours à **la vitesse de base** considérée;
- En courbe avec un rayon en plan R (m) est inférieur à $5V_b$ (Km/h), la distance d'arrêt prise en compte est obtenue en majorant la distance de freinage de 25 %.
- Dans certains références le temps de perception-réaction **tp** est prise égale à 2 secondes;

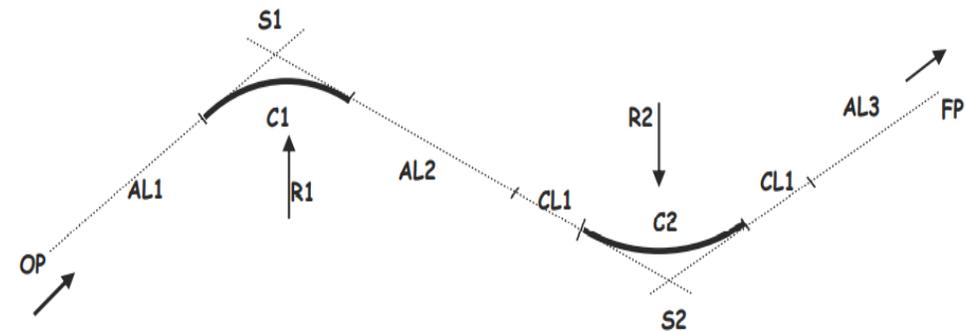
Vitesse (Km/h)	Distance parcouru pendant 5 min
40	3.33 Km
60	5.00 Km
80	6.67 Km
100	8.33 Km
120	10.00 Km

Notions et paramètres de base

Types de tracé en plan:

Un TP est composé de :

- Alignements droits,
- Arcs de cercle,
- Courbes à courbures progressives (clothoïde) .



Éléments du raccordement

OP : origine du projet
FP : Fin projet
AL : Alignement droit
C : Courbe circulaire
CL : Clothoïde
R : Rayon de courbure
S : Sommet des alignements

$$L_{\text{tot}} = AL_1 + C_1 + AL_2 + CL_1 + C_2 + CL_1 + AL_3$$



Notions et paramètres de base

Application

Pour la deuxième catégorie, calculer les paramètres cinématiques suivants :

- La distance de freinage en alignement droit ;
- Rayon de courbure en plan limite en dessous duquel la distance de freinage doit être majorée ;
- La distance de freinage en courbe avec un rayon en plan $R(m) \leq 5 V_b (Km/h)$;
- La distance d'arrêt en alignement droit et en courbe ;
- La distance de dépassement en alignement droit et en courbe avec $\Delta V = 50 Km/h$;
- La distance de visibilité de dépassement en alignement droit et en courbe avec delta $\Delta V = 50 Km/h$;

1- Normes géométriques

- ICTAAL
- ICTAVRU
- ICGRRC
- ❖ REFT

ICTAAL: (Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison)

ICTAVRU: (Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines)

ICGRRC :(Instruction sur les caractéristiques géométriques des routes en rase campagne)

REFT: (Routes économiques à faible trafic)

2- Caractéristiques de base

Profil en travers

Largeur de la chaussée, largeur de la plate-forme et pente des talus.

Profil en long

Déclivités maximales;
Rayons de raccordement saillant et rentrant.

Tracé en plan

Rayons de courbure en plan.

Ouvrages d'assainissement et dispositifs de drainage

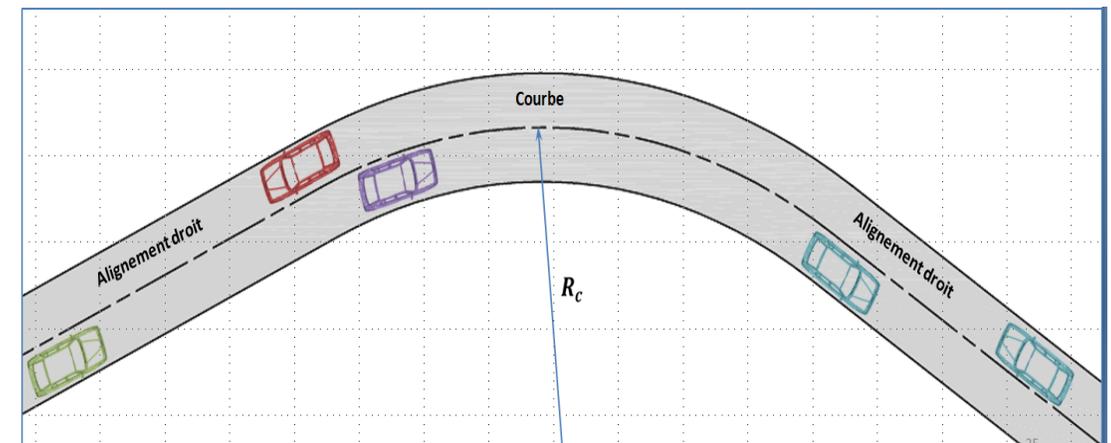
buses, dalots, radiers, O.A ; Tranchées drainantes,

Structure de chaussée.

Nature du sol,
Trafic,
Climat de la zone,
Matériaux disponibles dans la région .

3- Tracé en plan

Le tracé en plan est constitué d'alignements droits et de courbes.

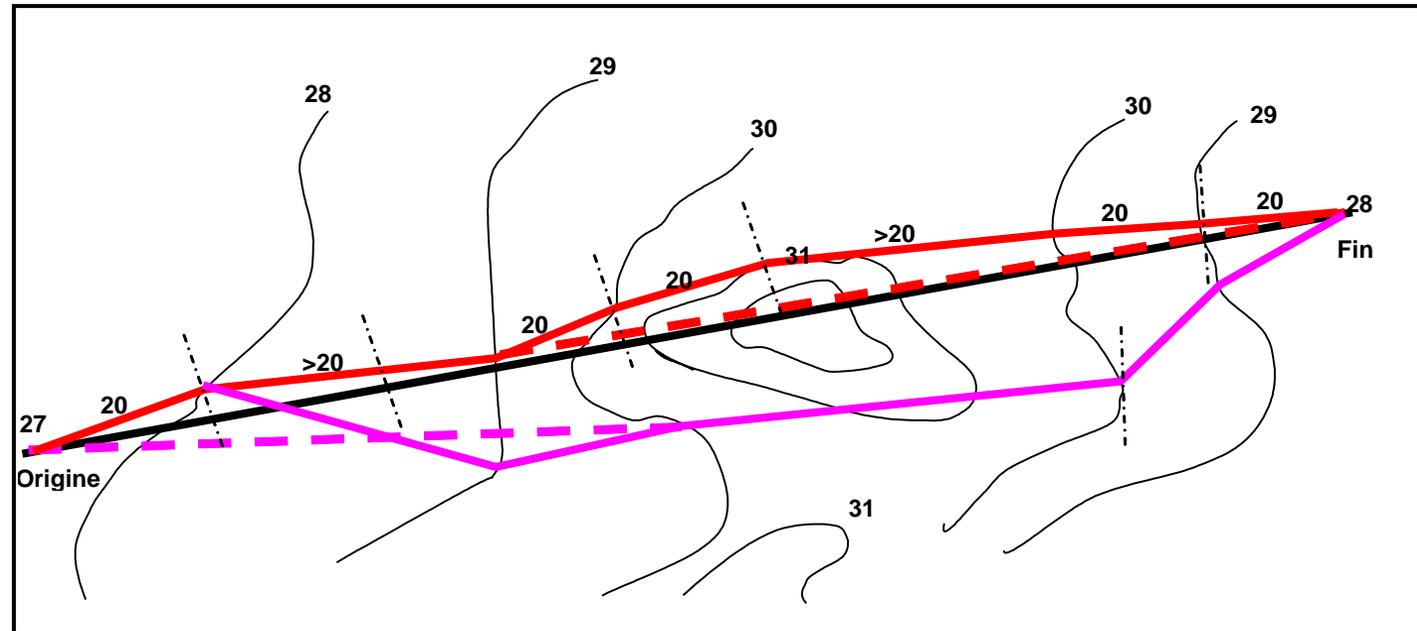


Choix d'un tracé en plan

Exemple de recherche de tracé:

1. Echelle 1/1000: équidistance des lignes de niveaux : 1m
2. Pente maximum (5%) : 0.05 m/m

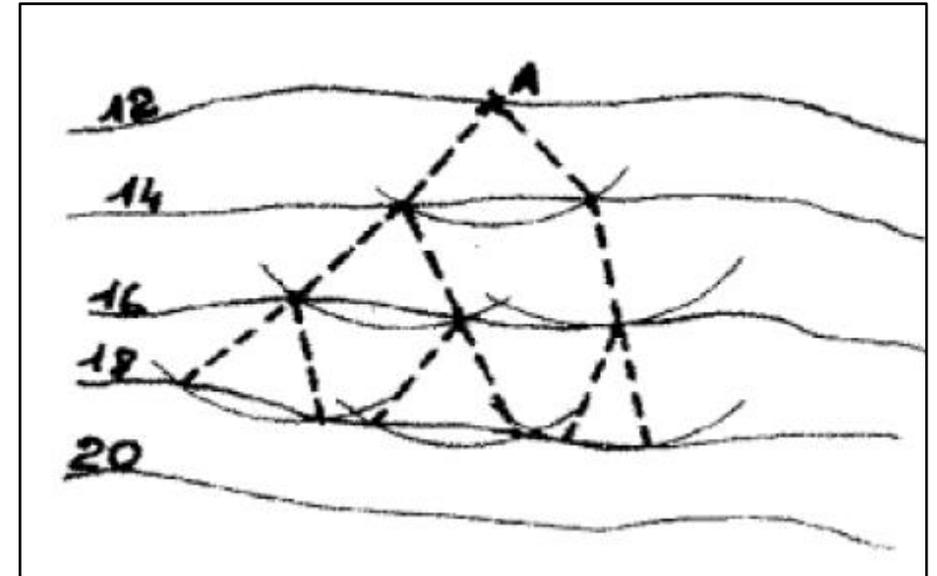
La longueur horizontale entre chaque courbe qui permet de respecter cette pente sera :
= 20 m soit 0.02 m à l'échelle



Choix d'un tracé en plan

A partir du point A, on trace des arcs de 2 cm à l'échelle 1/2000 qui coupe la ligne de niveau 14 m en 2 points, ensuite on procède de la même manière jusqu'au point d'arrivée. Parmi les solutions trouvées, on opte pour celle :

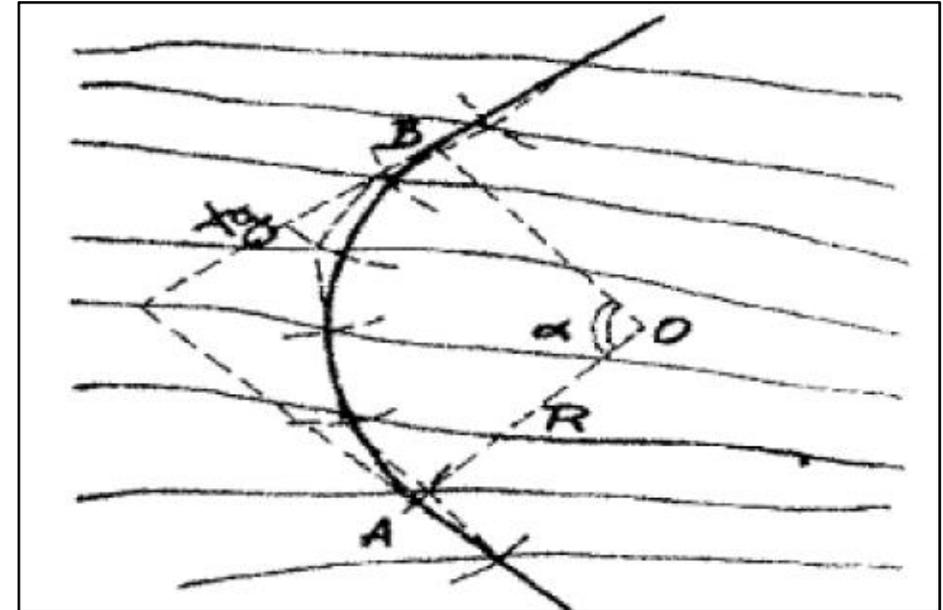
- Eviter trop de tracés en zig zag;
- Eviter une longueur trop importante



Choix d'un tracé en plan

Pratiquement, la ligne théorique déjà trouvée est une ligne brisée qu'il faut le remplacer par des éléments rectilignes et d'autres courbés:

- Éléments droits;
- Raccordement courbé (circulaire ou clothoïde).

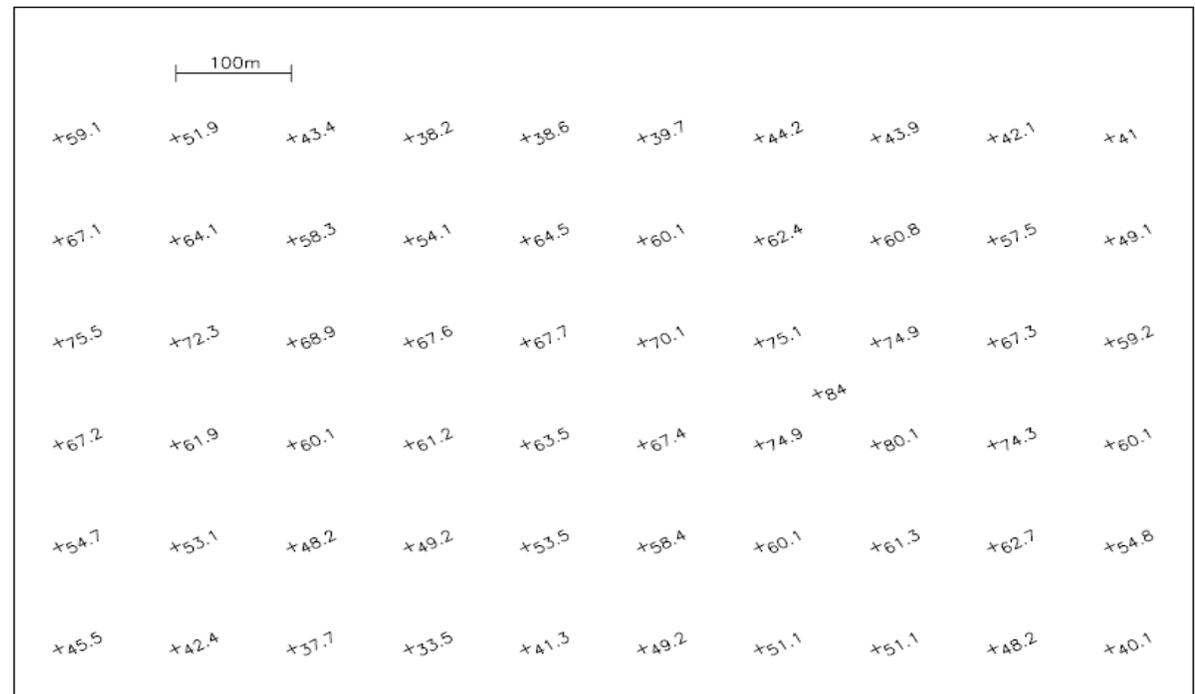


Choix d'un tracé en plan

Application :

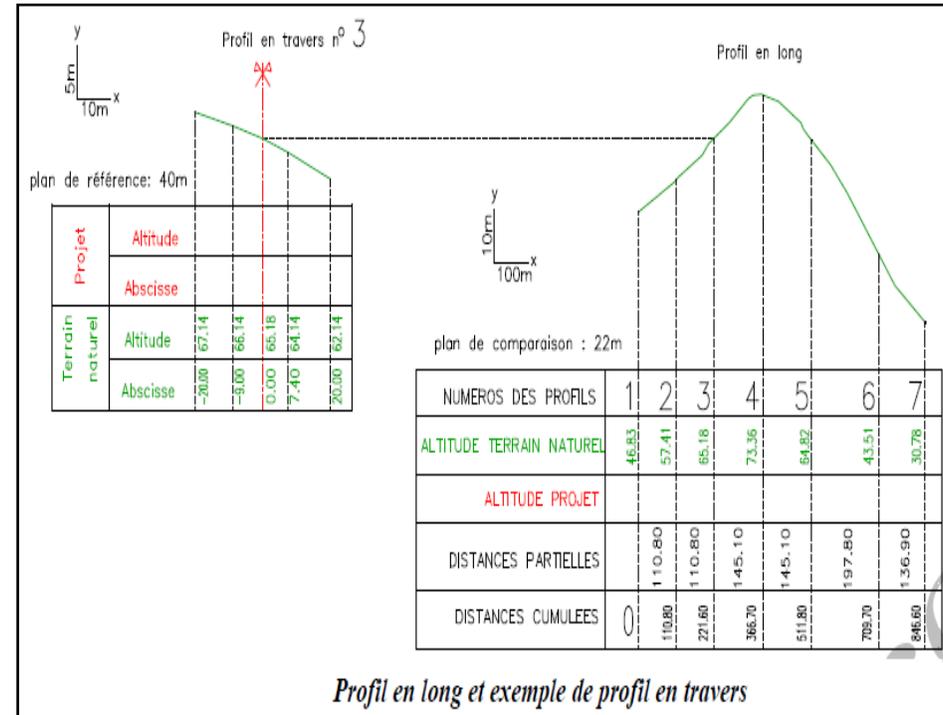
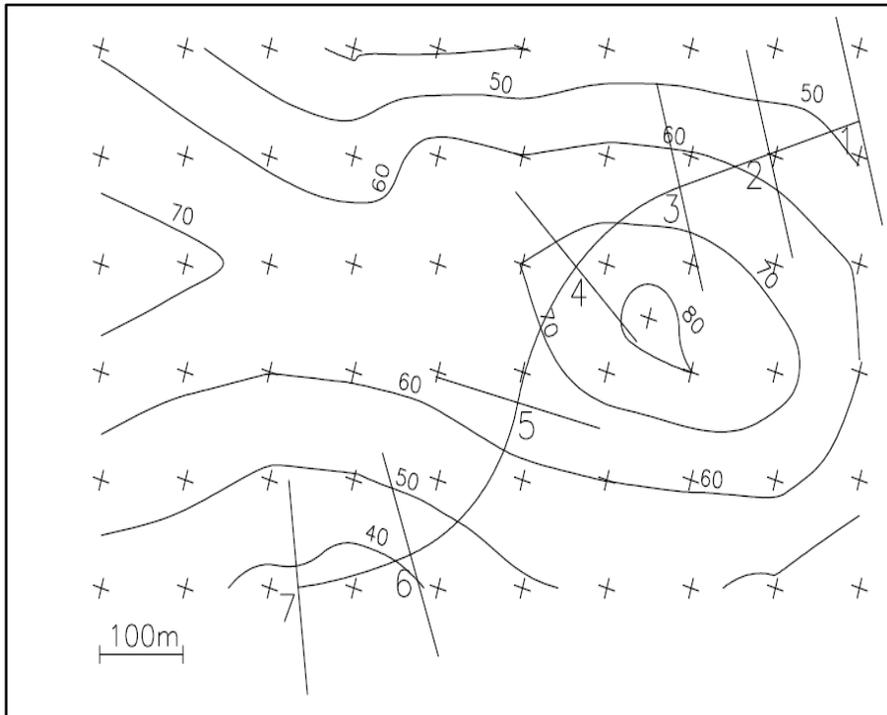
Exemple de projet routier:

1. Levé altimétrique du terrain (quadrillage uniforme);
2. Tracer les courbes de niveau;
3. TP en minimisant les pentes de TN;
4. Tabulation (profil en travers) ;



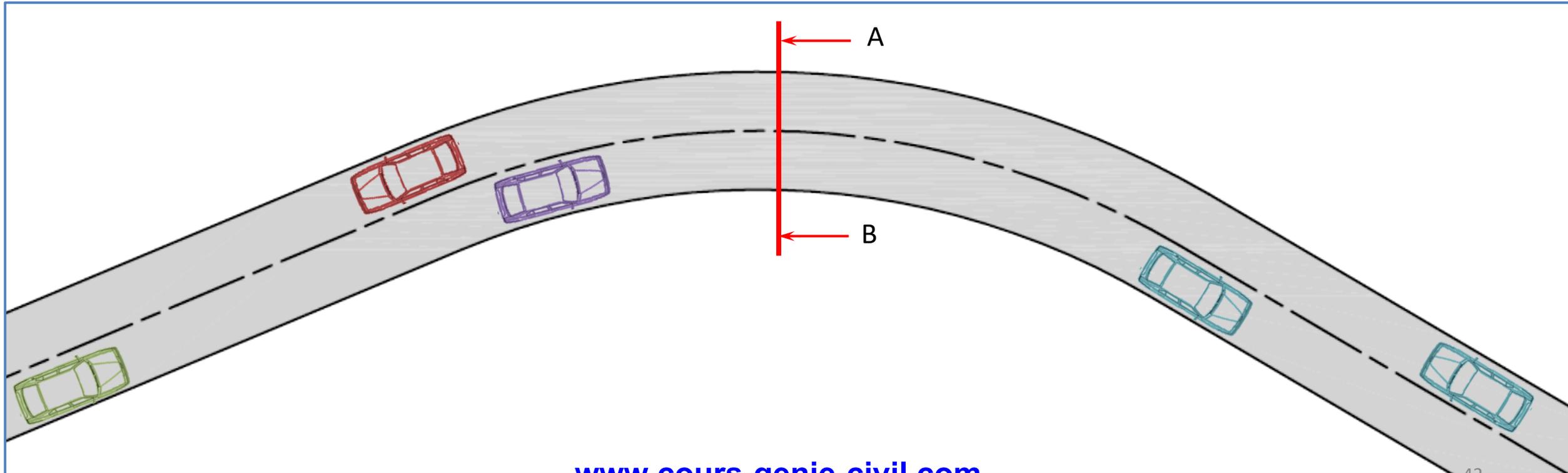
Choix d'un tracé en plan

Application :



Rayon de courbure (virage)

Rayon de courbure en plan : R_c



Rayon de courbure (virage)

Le rayon de cercle et leur dévers doivent permettre au minimum à un véhicule roulant à la vitesse de référence Vr de ne pas dériver.

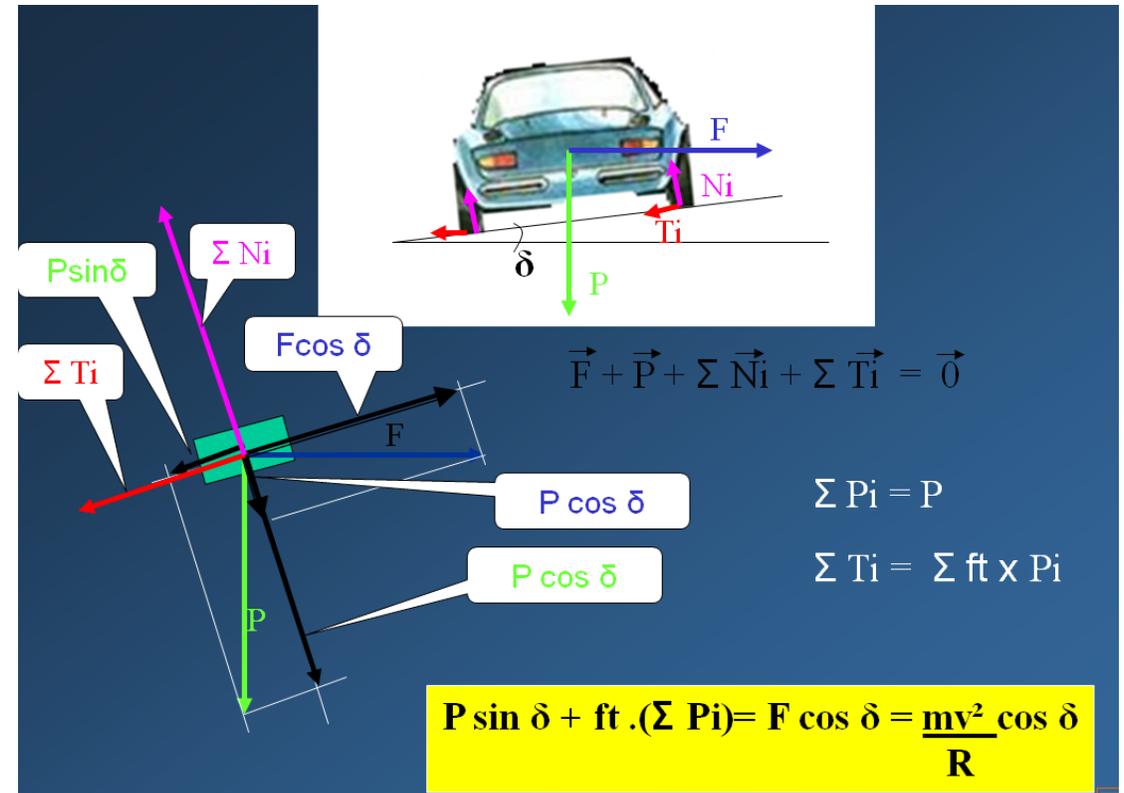
$$P \sin \delta + f_t \cdot (\sum P_i) = \frac{mv^2}{R} \cos \delta$$

$$m \frac{v^2}{R} = < mg(ft+\delta) \quad \text{d'où} \quad R \geq \frac{v^2}{g(ft+\delta)}$$

R :le rayon en plan (en m)
 v :la vitesse (en m/s)
 ft :coefficient de frottement
 δ :le devers en (%)

d'où
$$R \geq \frac{V^2}{127(ft+\delta)}$$

V :la vitesse (en km/h)



Rayon de courbure en plan

Le coefficient de frottement transversal f_t est fonction de la vitesse:

Catégorie	Exceptionnelle	1 ^{ère} Catégorie	2 ^{ème} Catégorie	3 ^{ème} Catégorie	Hors Catégorie
Vitesse (km/h)	120	100	80	60	40
Coefficient f_t	0,10	0,11	0,13	0,16	0,25

- RMN : Rayon minimum normal qui assure la stabilité d'un véhicule dans une courbe déversée à 4%;
- RMA : Rayon minimum absolue qui assure la stabilité d'un véhicule dans une courbe déversée à 7%;
- RML : Rayon minimum libre qui assure la stabilité en absence de dévers.

Rayon de courbure (selon les normes)

ICTAAL		
Types	L1	L2
Vitesses	130	110
Rm	600	400
Rnd	1000	650

ICTAVRU				
Types	A 80	A 100	U 60	U 80
Rnd (d= -2,5%)	400	800	200	400
Rmn (d=2,5%)	300	500		
Rm (d=5%)	240	425	120	240

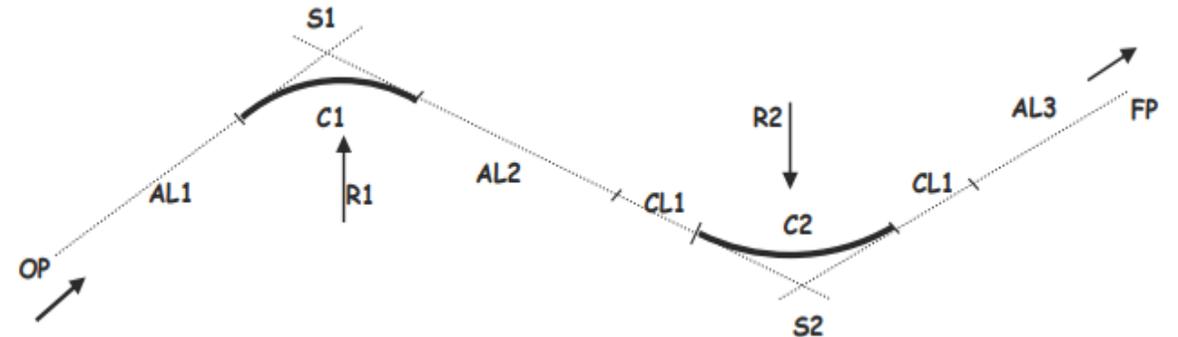
ICGRRC	Exp	1er C	2ème C	3ème C	H.C
RMN (d=4%)	1 000	500	250	125	30
RMA (d=7%)	700	350	175	75	15

REFT	
Rayon	
Rml	75
Rmn	30
Rma	15

Tracé en plan

Il met en évidence les longueurs des sections rectilignes, arquées et la valeur des rayons de courbure dans les virages. Le tracé en plan est composé de :

- Alignements droits,
- Arcs de cercle,
- Courbes à courbures progressives (clothoïde) .

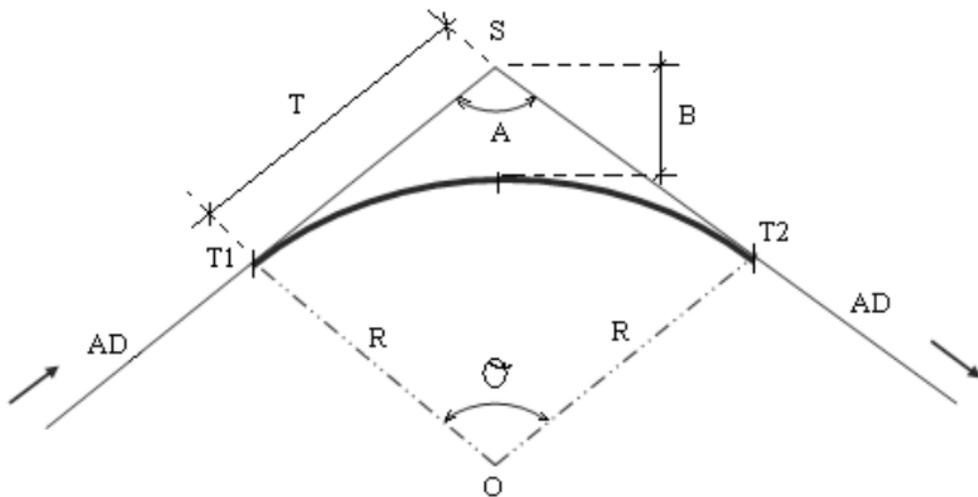


=> Eléments du raccordement **OP** : origine du projet, **FP** : Fin projet, **AL** : Alignement droit, **C** : Courbe circulaire, **CL** : Clothoïde, **R** : Rayon de courbure, **S** : Sommet des alignements

$$L_{\text{totale}} = AL1 + C1 + AL2 + CL1 + C2 + AL1 + AL3$$

Type de tracé

Raccordement circulaire simple

**Les ARTBD**

A = Angle au sommet

R = Rayon

T = tangente

B = Bissectrice

D = Développement

 θ = angle au centre

$$T = R/\tan(A/2)$$

$$B = R \cdot [(1/\sin(A/2)) - 1]$$

$$D = ((200-A) \cdot \pi \cdot R) / 200$$

Tracé en plan

Calcul des éléments d'une courbe circulaire

R : Rayon de courbure ;

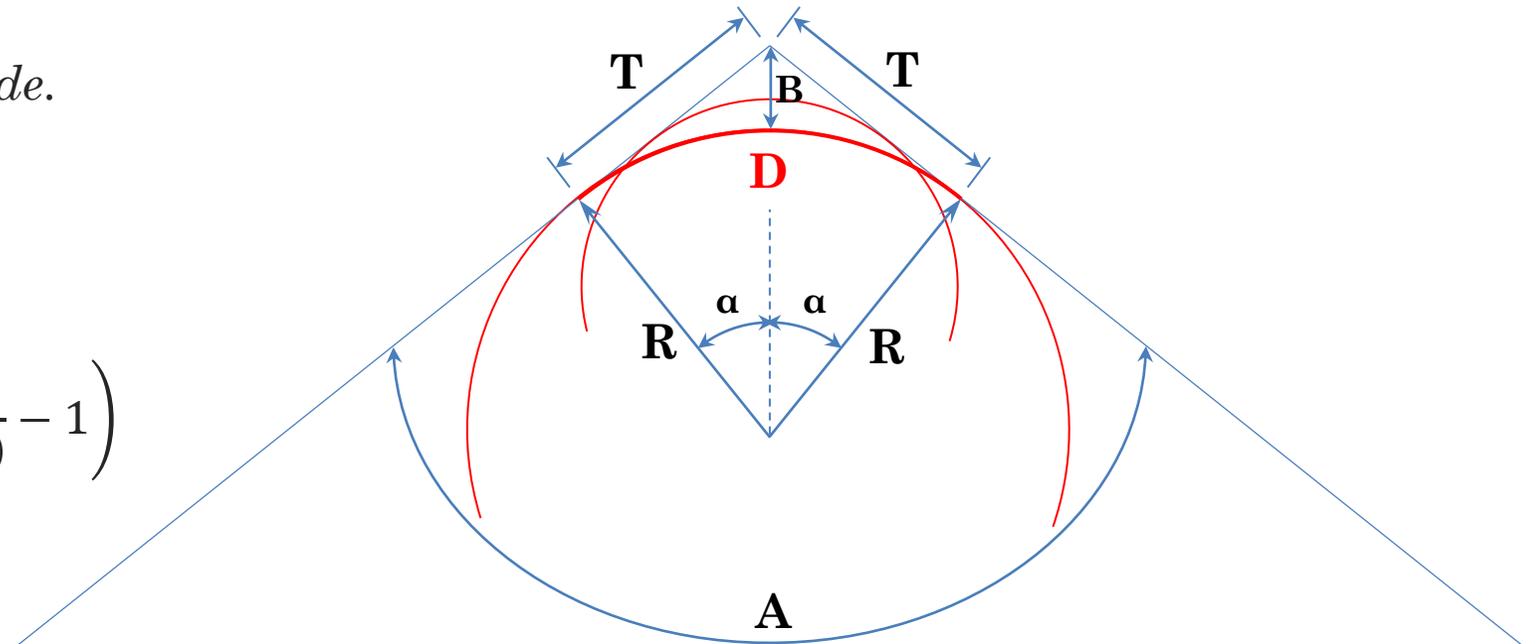
A : Angle au sommet en grade.

$$\alpha = \frac{200 - A}{2}$$

$$T = \tan(\alpha) \cdot R$$

$$B = \sqrt{T^2 + R^2} - R = R \cdot \left(\frac{1}{\cos(\alpha)} - 1 \right)$$

$$D = \frac{\pi \cdot \alpha}{100} \cdot R$$



Type de tracé

Exemple de calcul des ARTBD

Exemple 1 : Connaissant R et A

Rayon de courbure R : 250 m, angle A : 180 grades

→ $\alpha = 10 \text{ grd}$, T= 39,60 m, B=3,12 m, D= 78,54 m.

Exemple 2 : Connaissant R et les Gisements

Rayon de courbure R : 215 m, G1 : 89 grades, G2 : 157 grades

→ $\alpha = 34 \text{ grd}$, T=127,15 m, B=34,78m , D=229,65m.

Exemple 3 : Connaissant R et les coordonnées de Lambert P,Q,S

Rayon de courbure R : 72 m, P(100,100) Q(200,200) S(300,100)

→ $\alpha = 50,03 \text{ grd}$, T=72,06 m, B= 29,86m , D= 113,16m.

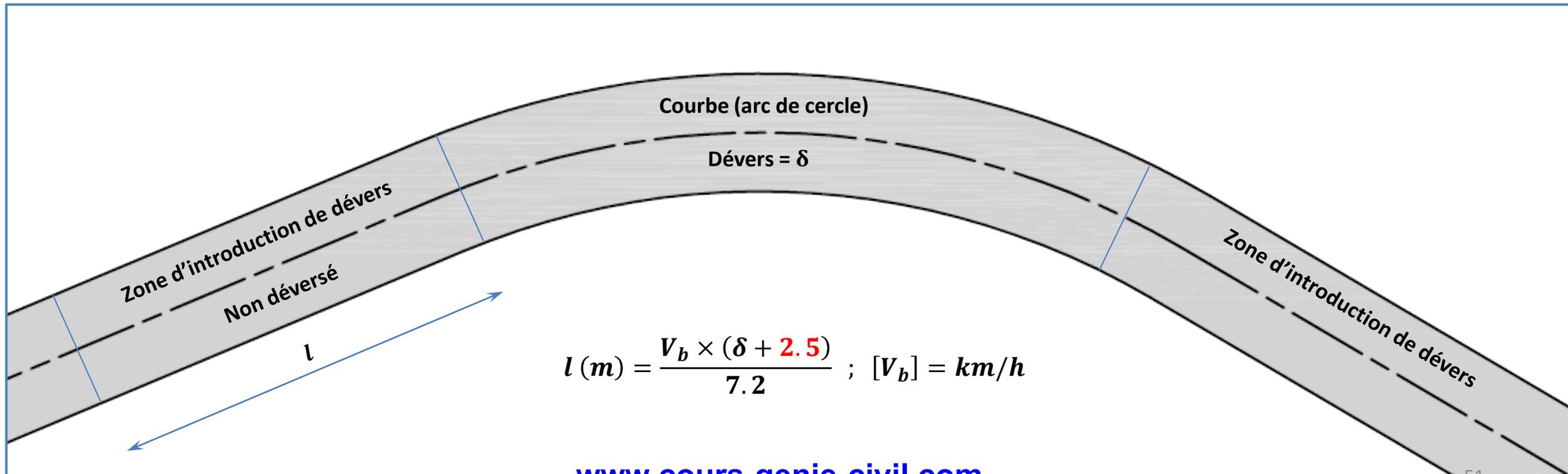
Tracé en plan

Raccordements et dévers

- ❖ Les tracés routiers se composent en première approximation d'alignements droits et de courbes circulaires ;
- ❖ En principe, deux courbes de même sens ou de sens contraire étant séparées par un alignement droit tangent aux deux courbes avec longueur appropriée ;
- ❖ Si les contraintes liées au site ne permettent pas de prévoir un tel alignement, le raccordement est effectué en courbe (clothoïde).
- ❖ Pour des raisons de sécurité et de confort, la norme prévoit de respecter les conditions suivantes :
 - Lisibilité de la route : changement de direction $\geq 3^\circ$;
 - Braquage progressif : changement de l'accélération normale $\leq g/50$ par seconde ;
 - Introduction progressive du dévers : changement du dévers $\leq 2\%$ (**4 % si 3° C ou H C**) par seconde.

Tracé en plan

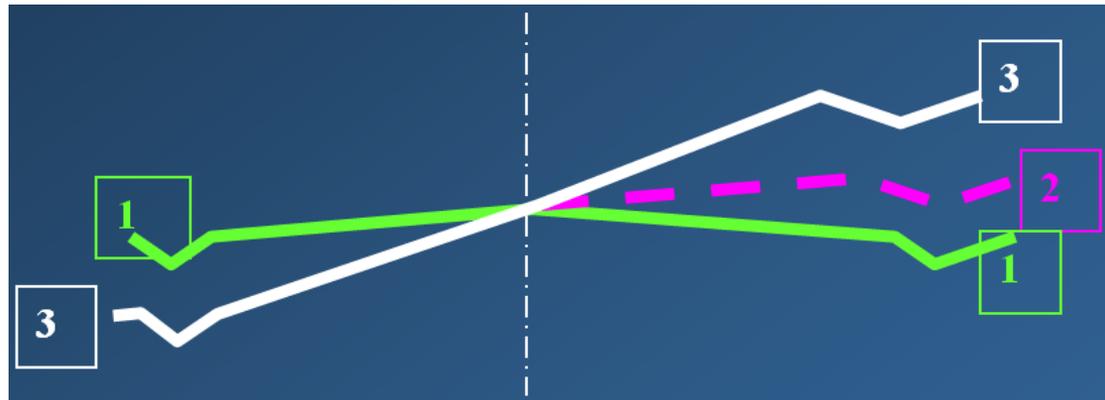
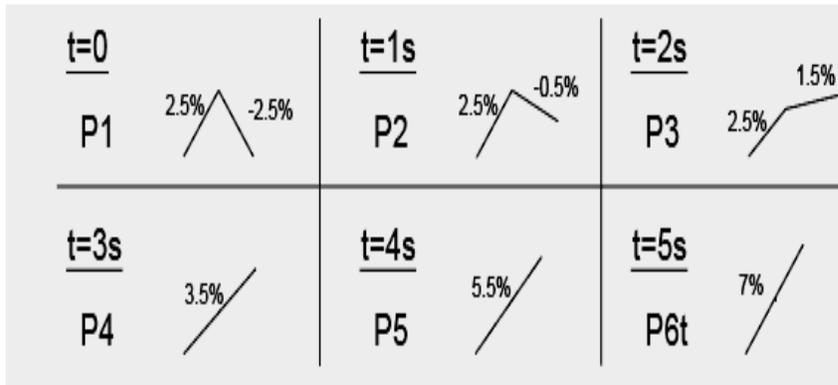
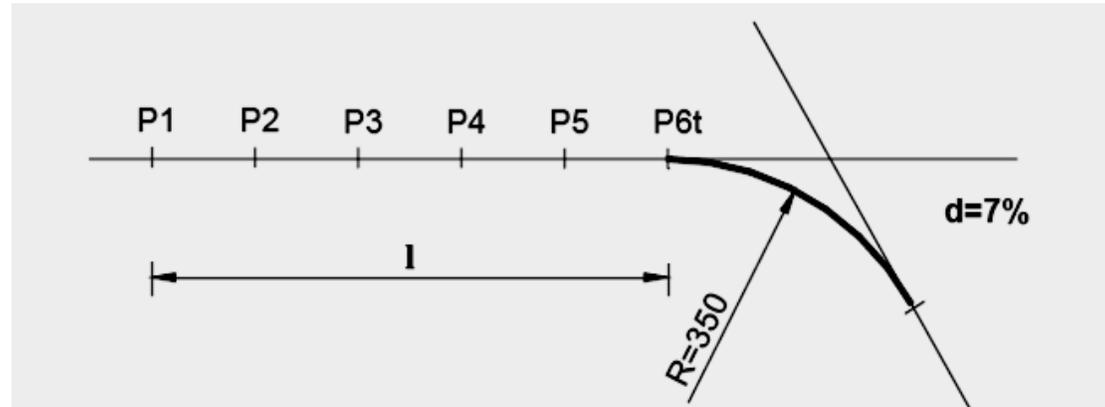
Introduction du dévers sur alignement droit



Introduction du dévers sur alignement droit

→ Passage d'un profil normal -2,5% et 2,5% à un profil déversé 7%;

→ Avec un taux de 2%/s ou 4%/s (3C, HC et REFT).



Introduction du dévers sur alignement droit

- Le raccordement hors courbe circulaire en alignement droit ou clothoïde;
- Le dévers est constant en courbe circulaire;

$$1s \longrightarrow 2\%$$

$$t \longrightarrow (\delta + 2,5)\%$$

$$t = \frac{(d + 2,5)}{2}$$

$$L = V \cdot t = \frac{V \cdot (d + 2,5)}{3,6 \cdot 2}$$

$$L = \frac{V \cdot (\delta + 2,5)}{3,6 \times 2}$$

Tracé en plan

Introduction du dévers sur alignement droit

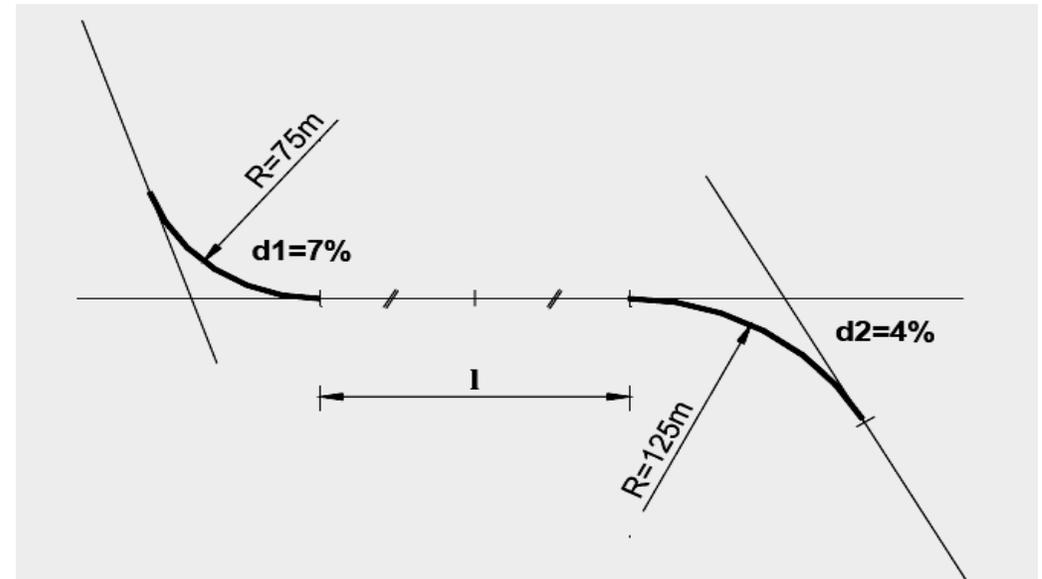
Déterminer la longueur du dévers 3ème catégorie , introduction de devers de 4%/s

$$d_1 = 7\% \quad \text{et} \quad d_2 = 4\%$$

$$L_1 = \frac{V \times d_1}{3,6 \times 4} \quad ; \quad L_2 = \frac{V \times d_2}{3,6 \times 4}$$

$$\rightarrow L = L_1 + L_2$$

$$\rightarrow L = \frac{V \cdot (d_1 + d_2)}{3,6 \cdot 4}$$



Tracé en plan

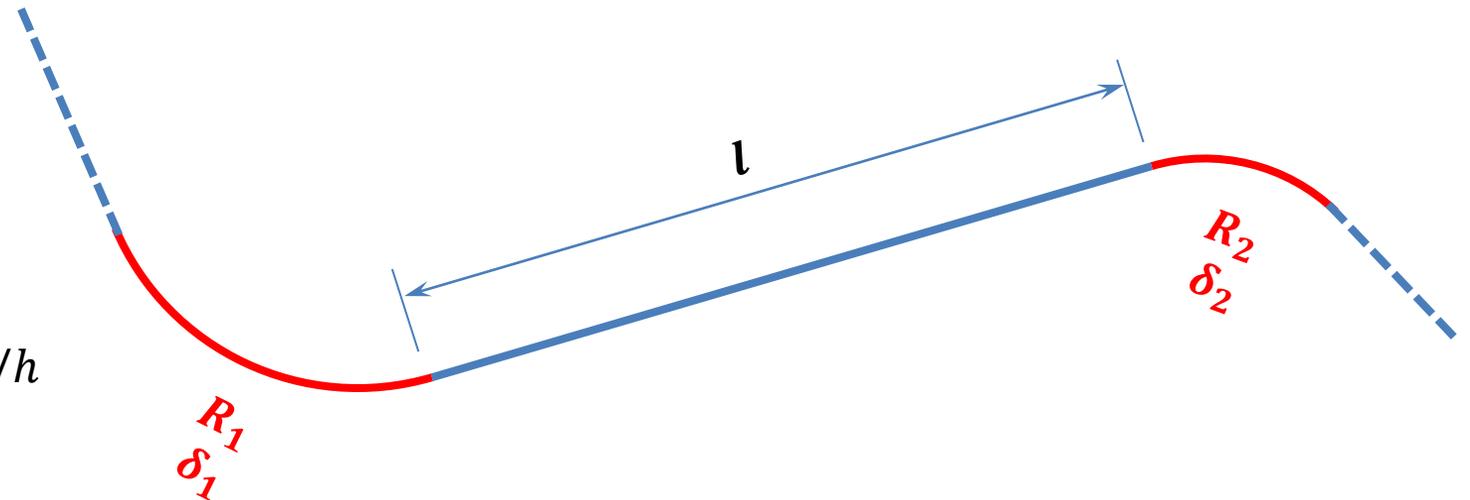
Introduction du dévers sur alignement droit

- **Exemple :** (Courbe en S)

Route 2^{ème} catégorie : $V_b = 80 \text{ km/h}$

$$R_1 = 2 R_2 = 350 \text{ m}$$

$$l \text{ (m)} = \frac{V_b \times (\delta_1 + \delta_2)}{7.2} ; [V_b] = \text{km/h}$$



Tracé en plan

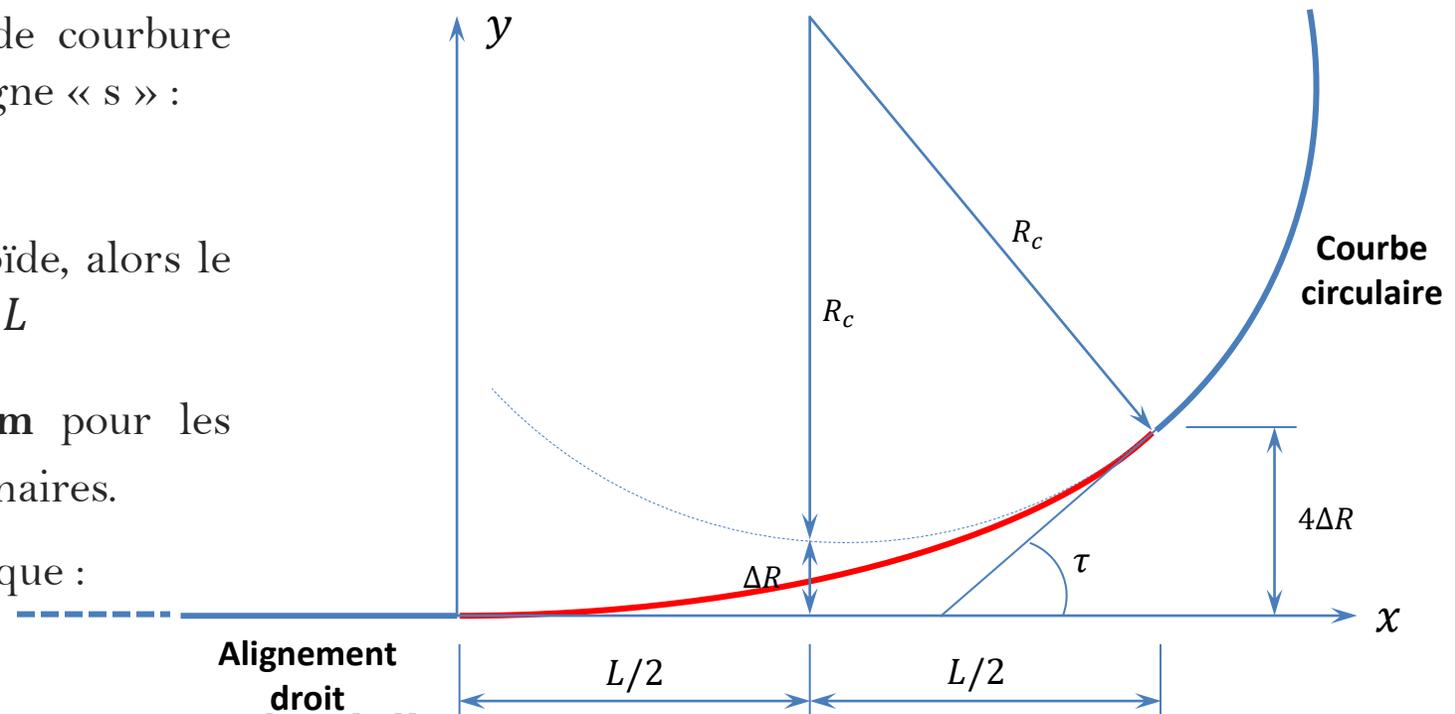
Raccordement à clothoïde (progressif)

- ❖ Pour une courbe de clothoïde, le rayon de courbure « R » varie en fonction de l'abscisse curviligne « s » :

$$R(s) \cdot s = A^2 = \text{constante}$$

- ❖ Si « L » est la longueur totale de la clothoïde, alors le paramètre-type « A » est tel que : $A^2 = R_c \cdot L$
- ❖ Le ripage $\Delta R \approx \frac{L^2}{24R}$ est limité à **0,50 m** pour les autoroutes et à **0,25 m** pour les routes ordinaires.
- ❖ L'angle de changement de direction est tel que :

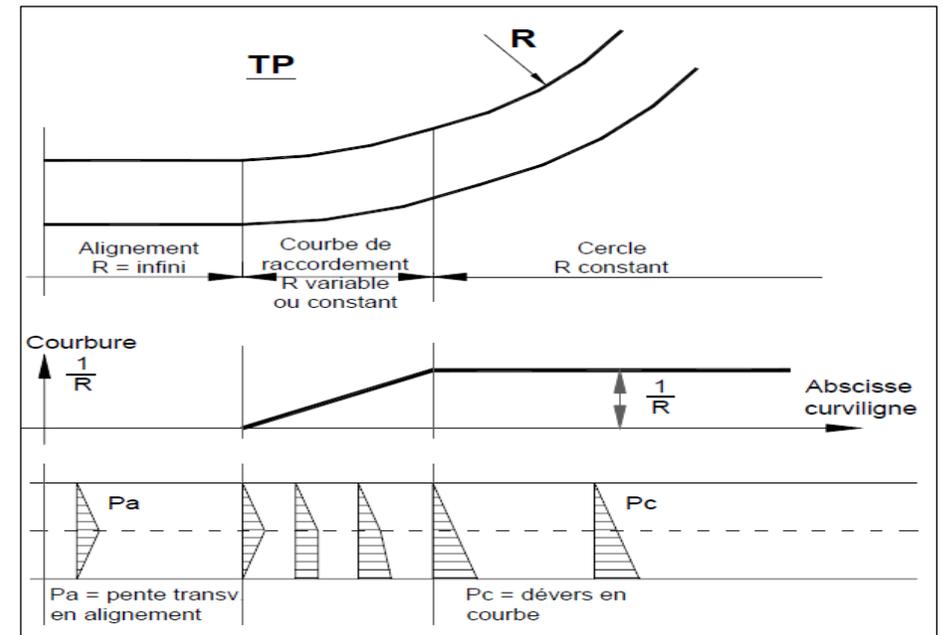
$$\tau \approx \frac{L}{2R}$$



Tracé en plan

Raccordement à clothoïde (progressif)

- Relever le versant extérieur jusqu'à ce qu'il atteigne le dévers de 2,5%
- Pivoter l'ensemble des 2 versants pour atteindre le dévers fixé.
- La variation se fera, à raison de 2 % par second de temps de
- Ce taux de variation pourra être porté à 4 % au maximum.
- L'introduction du dévers se fera linéairement.



Tracé en plan

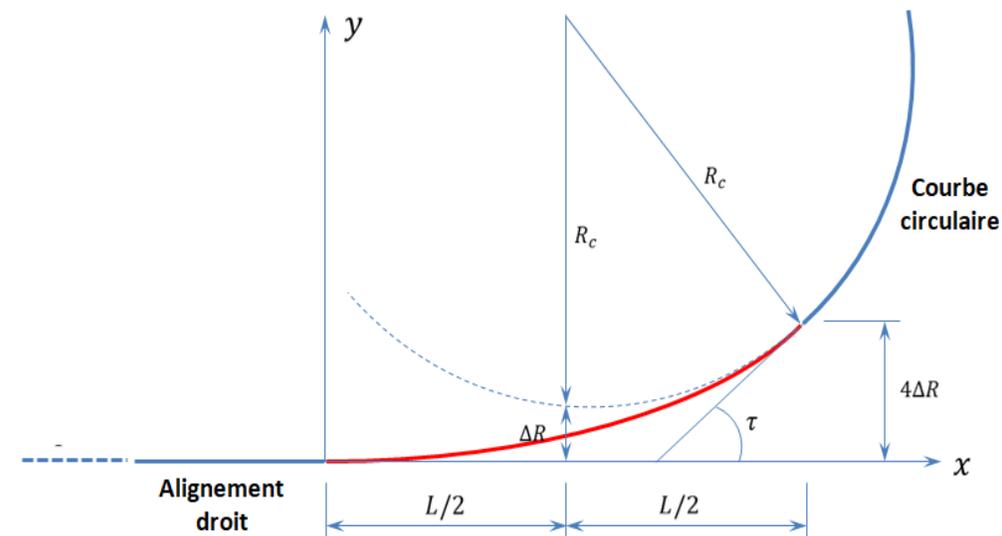
Application :

Données :

- Catégorie : 2^{ème};
- Dévers : $d = 7\%$
- Rayon : $R = 175 \text{ m}$
- Vitesse de base : $V_b = 80 \text{ km/h}$

Calcul:

- Branche de clothoïde : $L = V_b \times (d + 2,5) / 7,2$
- $V_b = 80 \text{ km/h}; \quad d = 7\% \rightarrow \quad L = 105,56 \text{ m}$



Tracé en plan

Application :

Pour $d = 0\%$; $\rightarrow L = 27.78 \text{ m}$

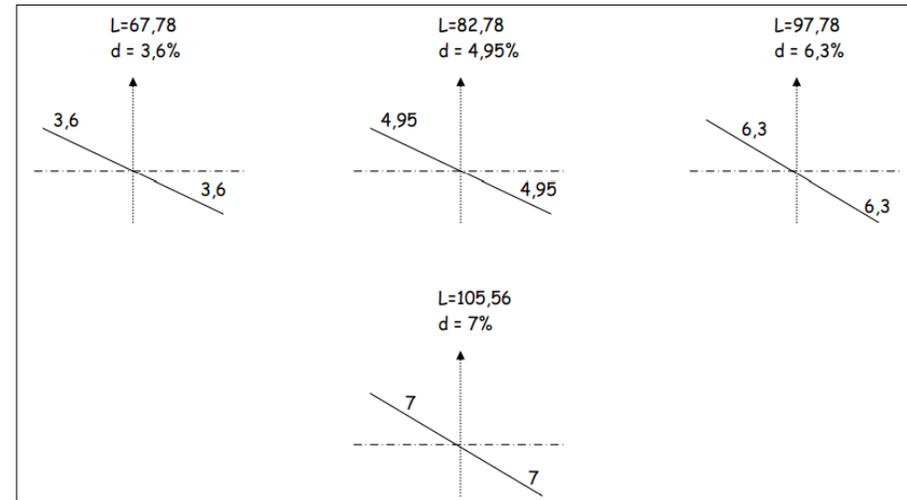
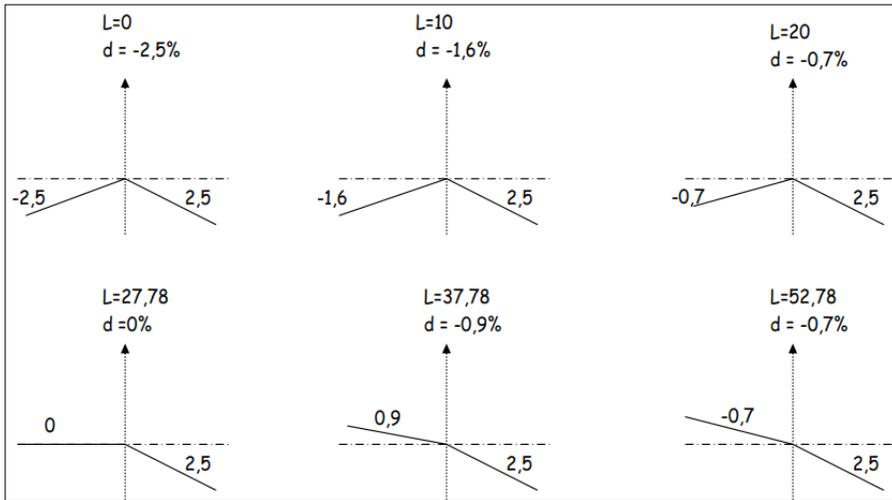
Soit : $L = 10+10+7,78+10+15+15+15+15+7,78 = 105,56 \text{ m}$

Calcul du dévers : $d = (L \times 7,2) / Vb - 2,5$

Abscisse (m)	Dévers d en %	
	Gauche	Droit
0	-2,5	2,5
10	-1,6	2,5
20	-0,7	2,5
27,78	0	2,5
37,78	0,9	2,5
52,78	2,25	2,5
67,78	3,60	3,60
82,78	4,95	4,95
97,78	6,3	6,3
105,56	7	7

Tracé en plan

Application :



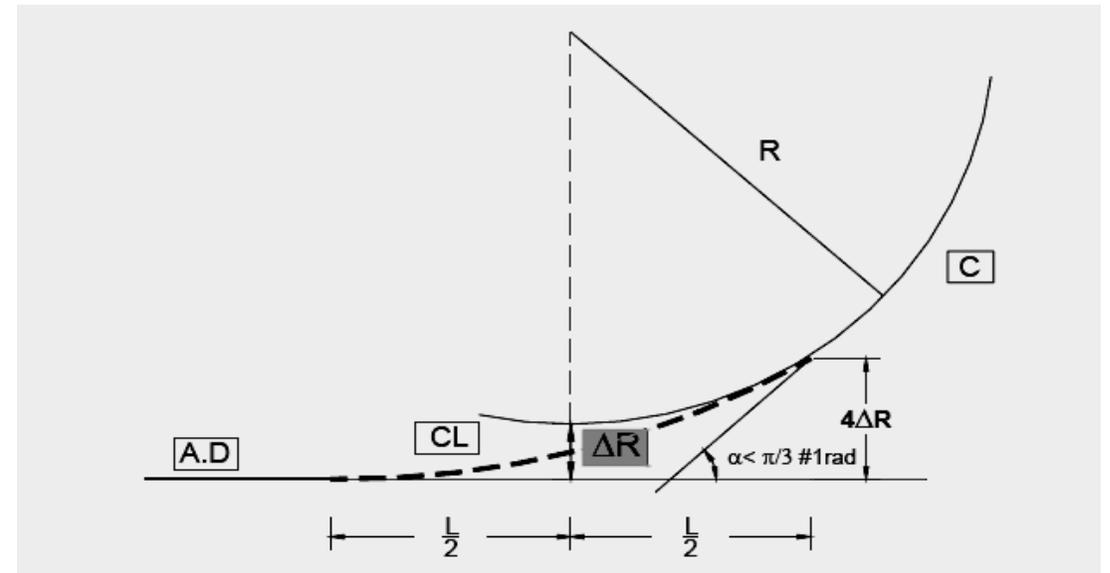
Tracé en plan

Application : Ripage

La clothoïde définit le déplacement du rayon R par rapport à l'A.D appelé le ripage ΔR .

Le ripage est limité à:

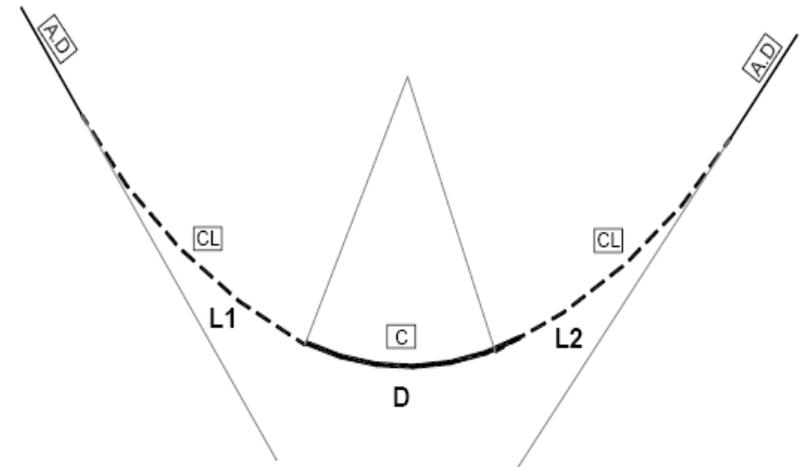
- 0,50 m pour les autoroutes;
- 0,25 m pour les autres routes;



Tracé en plan

Raccordement à clothoïde (progressif)

- ❖ L'arc de la clothoïde a les propriétés suivantes :
 - il passe sensiblement au milieu de ΔR ;
 - il se développe sensiblement en longueur égale de part et d'autre du point de ΔR ;
 - il est unique pour un ΔR donné, associé à un R donné.
 - La longueur de la clothoïde: $L \leq 2 * D_{\text{cercle}}$
 - Les courbes à sommet clothoïde-clothoïde sont interdites.

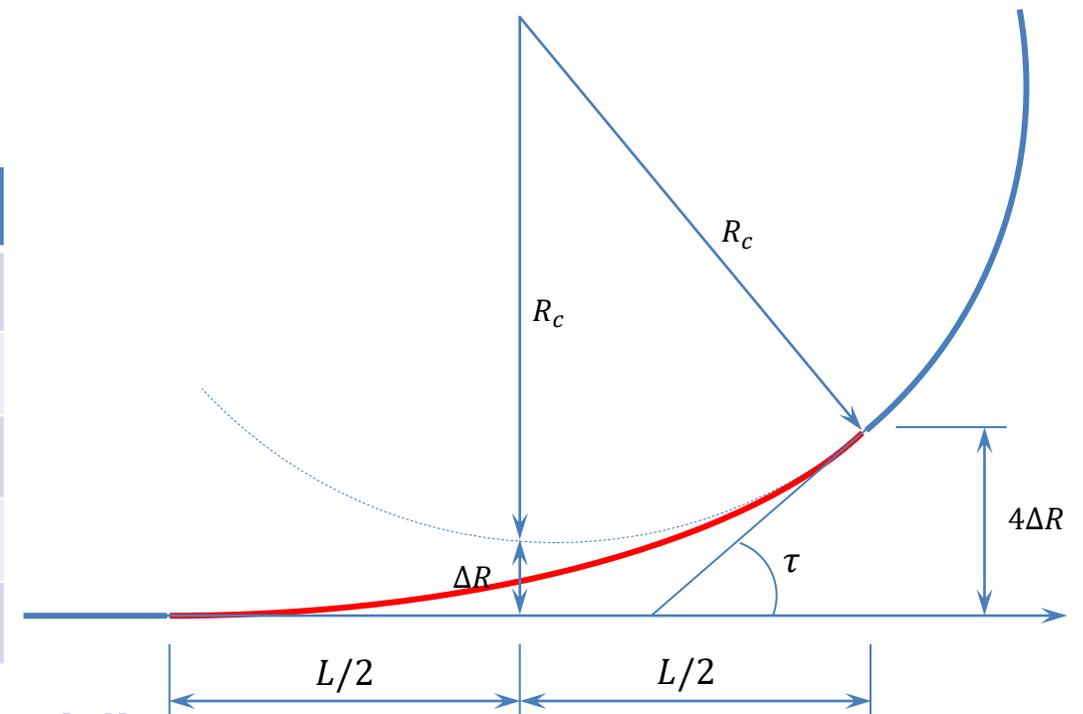


Tracé en plan

Raccordement à clothoïde (progressif)

En pratique pour le Projeteur:

Catégorie	Paramètre A
Exceptionnelle	360 m
1 ^{ère} catégorie	220 m
2 ^{ème} catégorie	140 m
3 ^{ème} catégorie	80 m
Hors catégorie	40 m



Tracé en plan

Règles ICGRRC (Instructions sur les Caractéristiques géométriques des Routes en Rase Compagne)

- ❖ **Règle (1)** : Le profil en alignement droit est conservé (non déversé) en courbe si :
 - $R_C > 2R_{MN}$ pour la catégorie exceptionnelle et la 1^{ère} catégorie ;
 - $R_C > 1,4 R_{MN}$ pour la 2^{ème} catégorie et la 3^{ème} catégorie.
 - REFT: $R_C > 75$ m

Exceptionnelle	1 ^{ère} C	2 ^{ème} C	3 ^{ème} C
2 000	1 000	350	175

Tracé en plan

Règles ICGRRC (Instructions sur les Caractéristiques géométriques des Routes en Rase Compagne)

- ❖ **Règle (2) :** Courbe de raccordement à courbure progressive :
 - Obligatoire pour la catégorie exceptionnelle et la 1^{ère} catégorie si $R_C < 1,4 R_{MN}$;
 - Obligatoire pour la 2^{ème} catégorie si $R_C < 1,4 R_{MN}$ et interdite dans le cas contraire ;
 - Interdite pour la 3^{ème} catégorie et hors catégorie si $R_C \leq 30 m$.
- ❖ **Règle (3) :** Pour les routes susceptibles d'être enneigées ou verglacées, le devers sera limité à 5 %.

Tracé en plan

- 3^{ème} C et H.C. => - Courbes de raccordement à courbure progressive que lorsque se sera nécessaire pour respecter les conditions de variation des dévers.
 - Les courbes de rayon $R < 30m \rightarrow \rightarrow$ Clothoïdes interdites

Raccordements à courbure progressive (C P)C. Exp :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } R < 1400m \quad \text{====>} \text{ C P} \\ \text{Si } R \geq 1400m \quad \text{====>} \text{ C P ou A D} \end{array} \right.$$

1^{ère} C :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Si } R < 700m \quad \text{====>} \text{ C P} \\ \text{Si } R \geq 700m \quad \text{====>} \text{ C P ou A D} \end{array} \right.$$

Tracé en plan

Raccordements à courbure progressive (C P)

$$\begin{array}{l} \underline{2^{\text{ème}} C} : \\ \underline{3^{\text{ème}} C} : \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{Si } R < 350\text{m} \quad \text{====>} \text{ C P} \\ \text{Si } R \geq 350\text{m} \quad \text{====>} \text{ A D} \\ \text{C P facultatif} \\ \text{Si } R < 30\text{m} \quad \text{====>} \text{ Clothoïdes interdites} \end{array} \right.$$

Tracé en plan

Valeurs des Devers en fonction de la catégorie de la route et du rayon de courbure (en mètre) :

C.Excep		1ère C		2ème C		3ème C	
R	%	R	%	R	%	R	%
700	7 %	350	7 %	175	7 %	75	7 %
750	6 %	375	6 %	200	5,5 %	80	6,5 %
800	5,5 %	400	5,5 %	225	4,5 %	90	6 %
850	5 %	425	5 %	250	4 %	100	5 %
900	4,5 %	450	4,5 %	275	3,5 %	110	4,5 %
950	4,5 %	475	4,5 %	300	3 %	120	4 %
1000	4 %	500	4 %	325	3 %	125	4 %
1050	3,5 %	525	3,5 %	350	2,5 %	130	4 %
1100	3,5 %	550	3,5 %	>350	P.N	140	3,5 %
1150	3,5 %	575	3,5 %			150	3 %
1200	3 %	600	3 %			160	3 %
1300	3 %	625	3 %			170	2,5 %
1350	2,5 %	650	3 %			175	2,5 %
1400	2,5 %	675	2,5 %			>175	P.N
2000	P.N	700 à 1000	2,5 %				
> 2000		> 1000	P.N				

P.N: Plan non déversé

Tracé en plan

Valeurs Intermédiaires des devers :

Les valeurs sont calculées et arrondi au plus proche à 0,5% près :

Exemple de calcul de divers :

$$d = \frac{1}{0,33 \times 10^{-3} \times R - 0,092} - 0,2 \quad \text{catégorie exceptionnelle.}$$

$$d = \frac{1}{0,66 \times 10^{-3} \times R - 0,092} - 0,2 \quad \text{1ère catégorie}$$

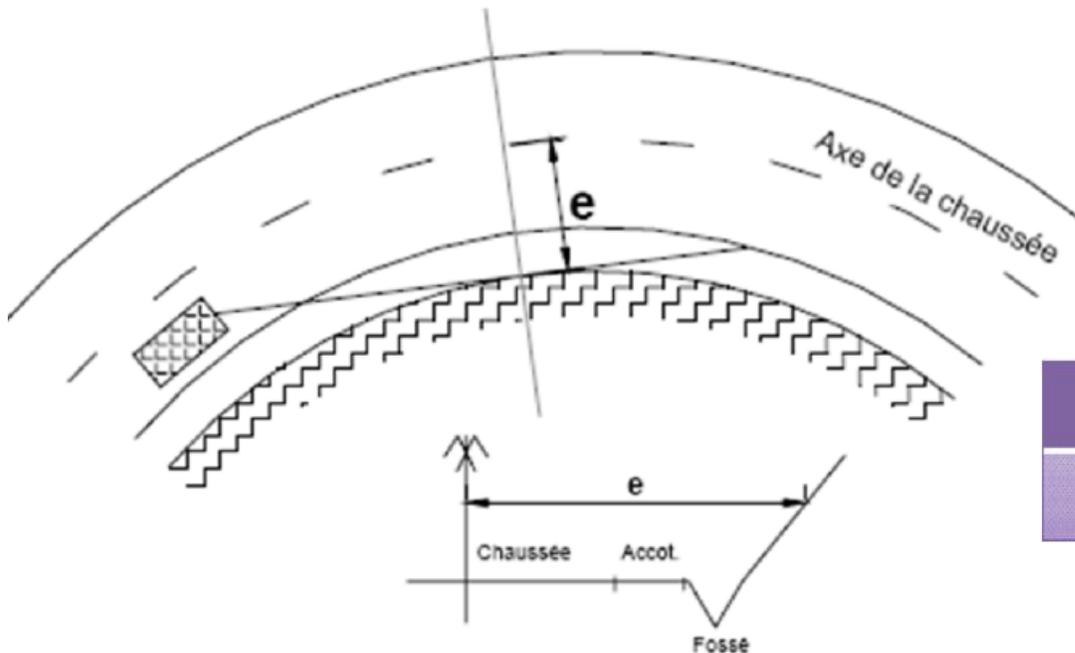
$$d = \frac{1}{1,32 \times 10^{-3} \times R - 0,092} - 0,2 \quad \text{2ème catégorie}$$

$$d = \frac{1}{1,11 \times 10^{-3} \times R + 0,028} - 2 \quad \text{3ème catégorie}$$

Catégorie	R (m)	d en %
Exceptionnelle	1250	3
1ère catégorie	535	3.5
2ème catégorie	240	4
3ème catégorie	85	6

Tracé en plan

Visibilité à l'intérieur d'un virage



$$e \approx \frac{d_a^2}{8 \cdot R_C}$$

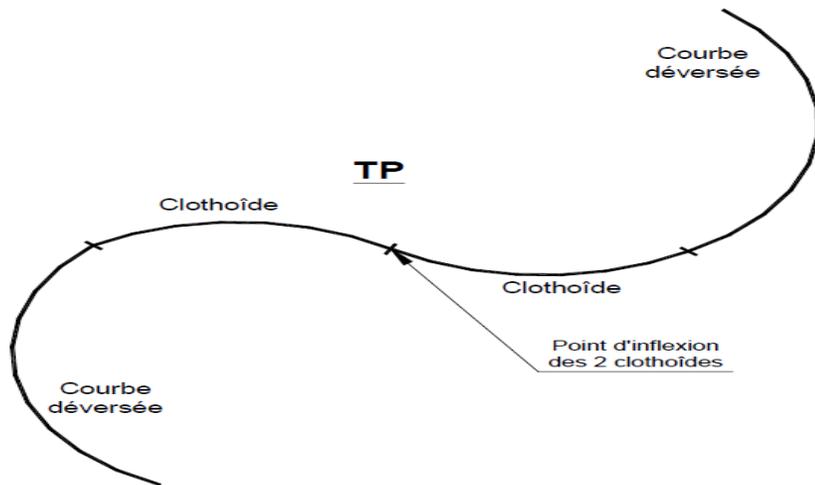
La flèche « e » étant la distance du talus à l'axe de la chaussée

Catégorie	Excep	1 ^{ère} C	2 ^{ème} C	3 ^{ème} C	H.C
Flèche	4608/R	2450/R	1152/R	450/R	128/R

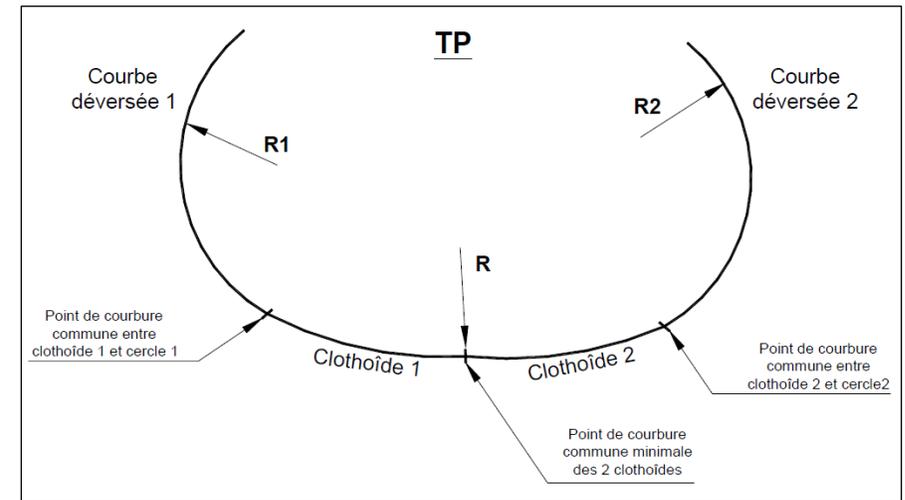
Tracé en plan

Combinaison des éléments du tracé en plan

Courbe en S :



Courbe en C :



Tracé en plan

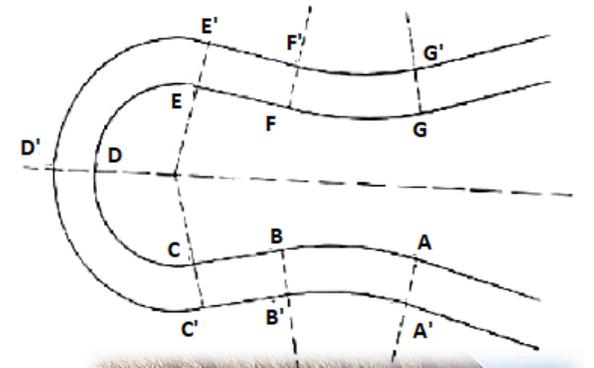
Le lacet

En cas de difficultés particulières aux routes de montagne :

Ecoulement des eaux de drainage et instabilité des massifs de terres.

→ Utilisation des lacets :

- Angle au sommet doit être inférieur à 150° ,
- 2 éléments de courbe $ABB'A'$ et $FGG'F'$ dont le rayon sur l'axe est d'au moins 15 mètres,
- 2 éléments droits d'au moins 20 mètres,
- une courbe $CDE C'D'E'$ appelée tournant dont le rayon ≥ 10 m.



Règles de continuité : Si $R < R_{MN}$ ou R_{MA}

Pour des raisons de sécurité, le concepteur d'une route veille à la continuité des caractéristiques géométriques, et ce par:

A- Sections de même catégorie

Règle 1: - Le rayon d'une courbe R ne peut être inférieur au R_{mn} (ou R_{ma}) que s'il est précédé, dans le sens de parcours, d'un rayon R_1 (courbe annonciatrice) tel que:

$$R_1 < \frac{R \times R_{mn}}{R_{ma}}$$

- La distance d entre les sommets de ces courbes doit être inférieure à celle correspondant à une minute de temps de parcours à la vitesse de base.

Règles de continuité : Si $R < R_{MN}$ ou R_{MA}

Application :

Exemple 1:

Route 2^{ème} catégorie , $R_{mn} = 250$ m, $R_{ma} = 175$ m pour $R = 200$ m il doit être encadré (route bidirectionnelle) ou précédé (route unidirectionnelle) de courbes de rayon maximal :

$$R1 = 200 * 250 / 175 = 286 \text{ m}$$

Exemple 2:

Pour le même exemple route: 2^{ème} catégorie , $V = 80$ km/h la distance entre sommets pour $R = 200$ m est $d < 80 \times 60 / 3,6 = 1\,333$ m (1,33 Km).

Règles de continuité

Règle 2:

Après un alignement droit d'une longueur correspondant à plus de 2 min de temps de parcours, le rayon d'une courbe doit être supérieur au R_{ma} de la catégorie immédiatement supérieure (1500 m pour la catégorie exceptionnelle).

Exemple 3:

Route 2ème catégorie , $V= 80 \text{ km/h}$ la distance parcouru en 2 min = 2,67 Km , si l'alignement est $> 2,67 \text{ Km}$ →
 $R >$ au R_{ma} de la 1ère catégorie (350 m).

Règles de continuité

B- Sections de catégories différentes:

- 2 tronçons contiguës ne peuvent appartenir qu'à des catégories immédiatement voisines, chacune ayant une longueur correspondant à au moins 5 minutes de temps de parcours à la vitesse de base;
- Une section de transition sera aménagée entre elles :
 - Elle comporte au moins 2 virages de rayon $R = R_{MA}$ de la catégorie supérieure;
 - Les 2 virages espacés d'une minute de temps de parcours à la V_b de celle-ci;

Règles de continuité

C- Cas des grands alignements:

- Pour des raisons de sécurité la longueur maximale des alignements droit doit être limitée des valeurs allant de **3** à **5** km. De même l'angle de changement de direction doit être au moins égale à 3° ;
- Les extrémités des tronçons contiguës à un grand alignement droit doivent être traitées comme tronçon de transition depuis la catégorie supérieure.

Règles de continuité

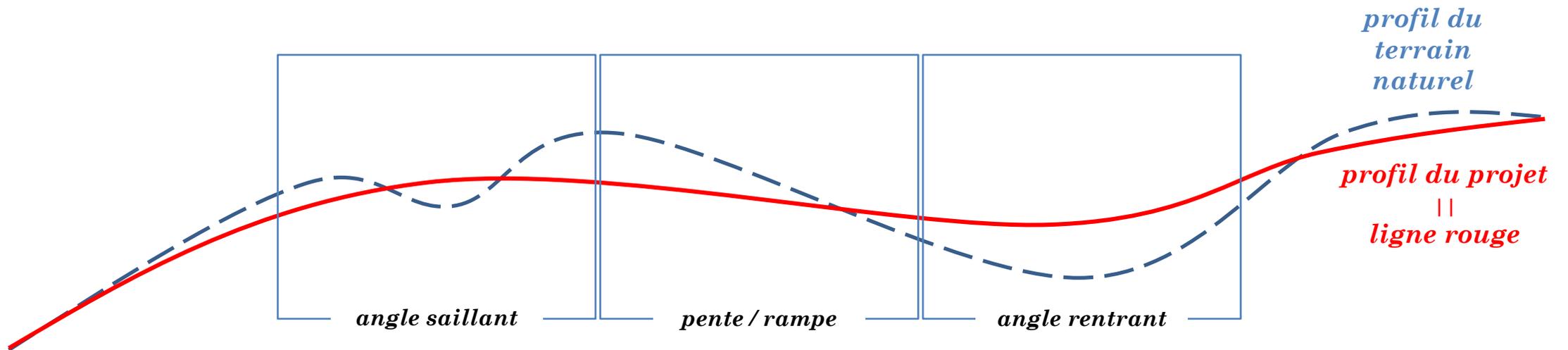
D- Perte de tracé :

Lorsque l'utilisateur perd de vue sur une certaine longueur et voit la section suivante :

- En alignement droit;
- Donnant l'illusion de l'alignement droit (alignement droits séparés par des courbes masquées);
 - ➔ Sont interdites à moins que la distance de visibilité en tout point soit égale à 500 m;

4- Profil en long

A- Terminologie



Le profil en long :

- Pentes et rampes (déclivités);
- Raccordements paraboliques;
- Angles saillants; Angles rentrants;

4- Profil en long

B- Angles rentrants

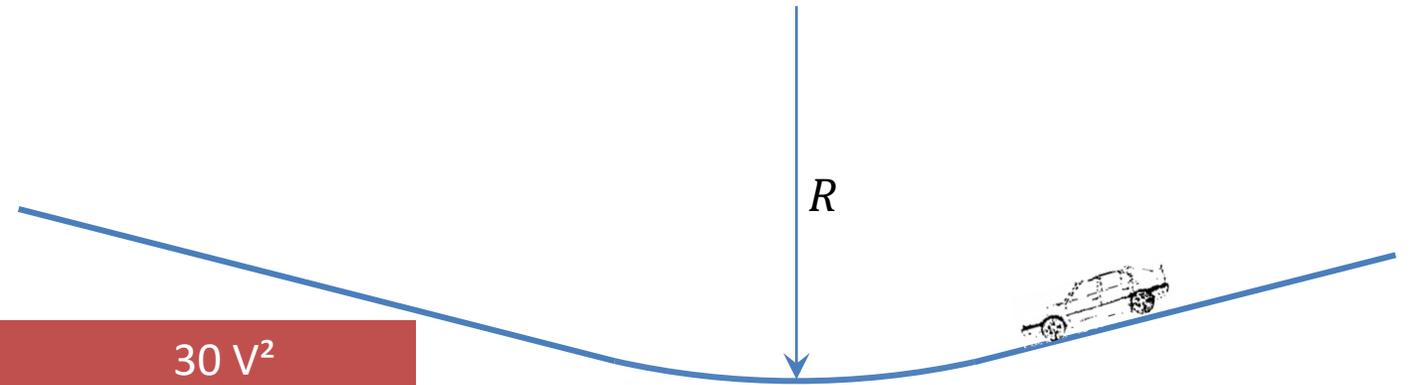
$$V_N = \frac{v^2}{R} < g$$

$$R > \frac{30 v^2}{g}$$

Avec $v =$ vitesse en m/s = $\frac{V}{3,6}$ km/h

g : l'accélération = 9,81 m/s²

D'où: $R > \frac{30 V^2}{127}$



Vb	Except.	1 ^{ère} C	2 ^{ème} C	3 ^{ème} C	H.C.
R	4000	2500	1500	1000	500

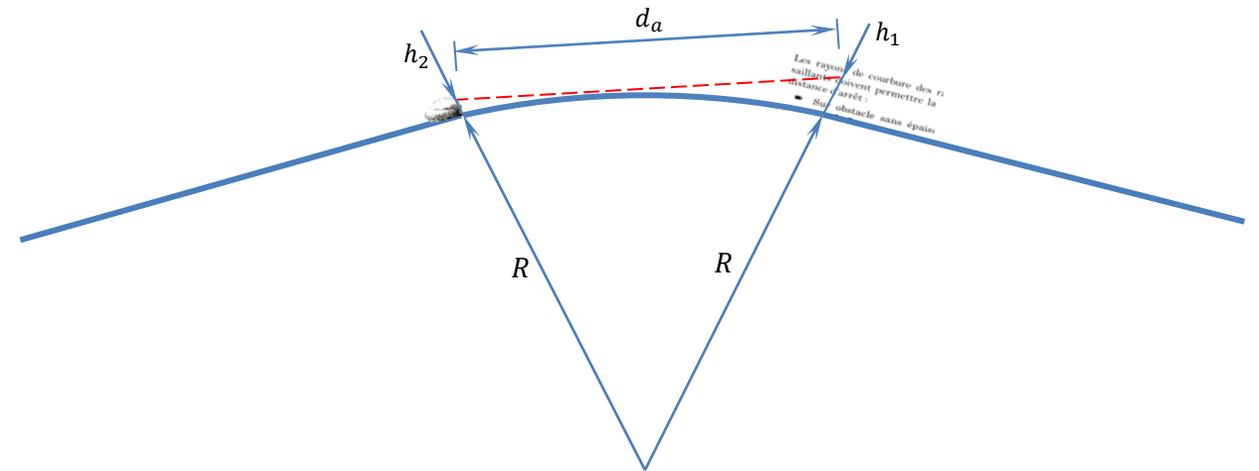
4- Profil en long

C- Angles saillants

Les rayons de courbure des raccordements saillants doivent permettre la visibilité à la distance d'arrêt :

- ▶ Sur obstacle sans épaisseur ($h_2 = 0$) avec le R_{MN} ;
- ▶ Sur obstacle de ($h_2 = 30 \text{ cm}$) avec le R_{MA} .

$$R > \frac{d_a^2}{2(h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2})}$$



4- Profil en long

D- Angles saillants

Les rayons de courbure des raccordements saillants doivent permettre la visibilité à la distance d'arrêt ($h_1 = 1,20 \text{ m}$) :

- ▶ Sur obstacle sans épaisseur ($h_2 = 0$) avec le R_{MN} ;
- ▶ Sur obstacle de ($h_2 = 30 \text{ cm}$) avec le R_{MA} .

$$R > \frac{d_a^2}{2(h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2})}$$

Catégorie	$R_{MN} (h_2 = 0)$	$R_{MA} (h_2 = 0,3)$
Exceptionnelle	16 000	7 000
1 ^{ère} catégorie	9 000	4 000
2 ^{ème} catégorie	4 000	1 800
3 ^{ème} catégorie	2 000	1 500
Hors catégorie	-	1 000

4- Profil en long

E- Détermination des coordonnées d'un point par interpolation linéaire

La pente définie par « A » et « B » :

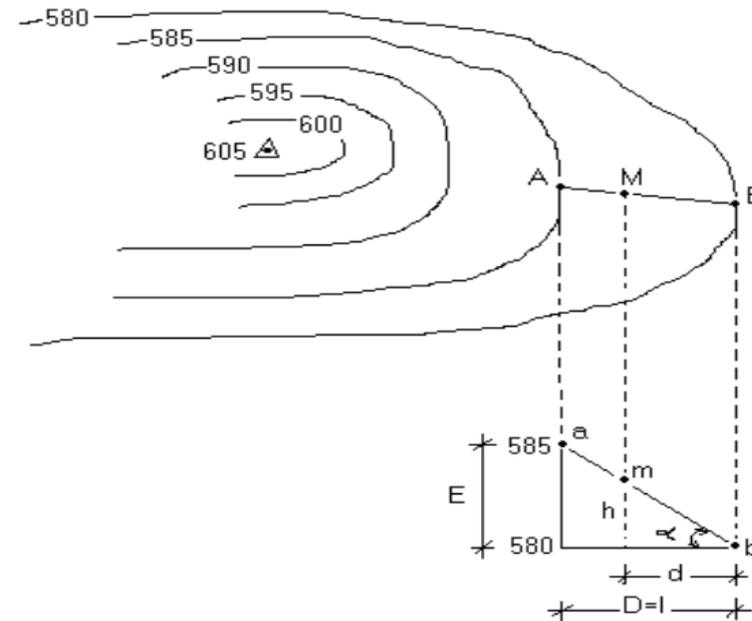
$$p = \frac{z_B - z_A}{x_B - x_A}$$

La distance en plan entre « A » et « M » :

$$d = x_M - x_A$$

L'altitude de « M » est donc :

$$z_M = z_A + p \cdot d$$



4- Profil en long

F- Coordonnées d'un point d'intersection de deux pentes

Les pentes sont telles que :

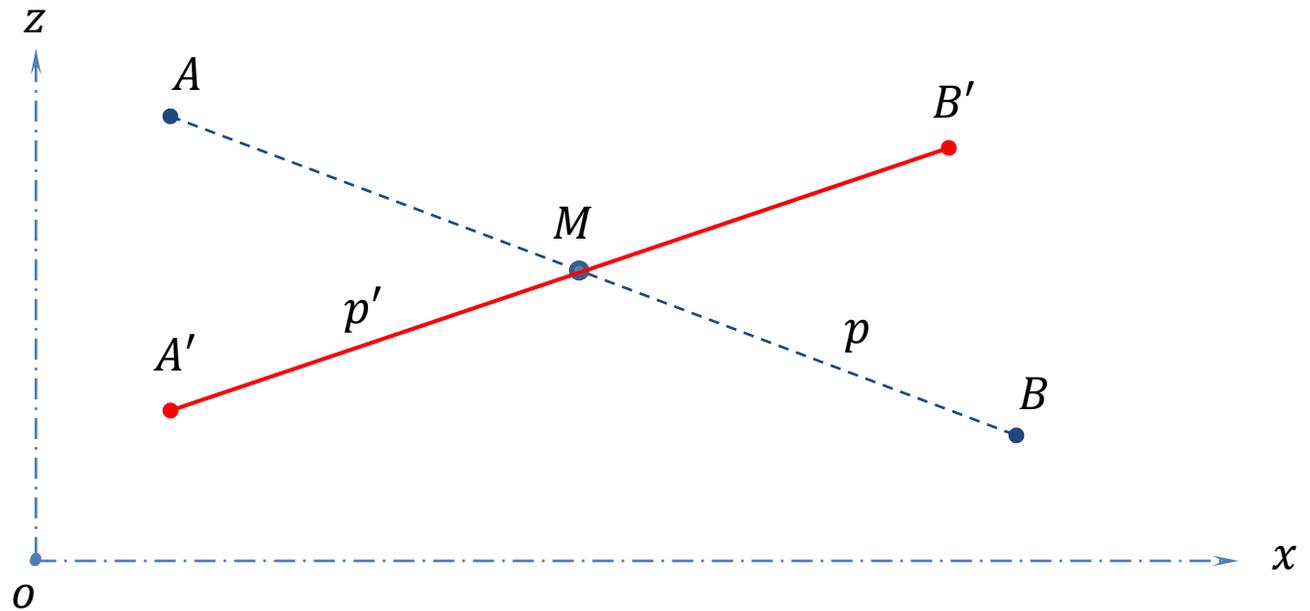
$$p = \frac{z_B - z_A}{x_B - x_A}$$

$$p' = \frac{z_{B'} - z_{A'}}{x_{B'} - x_{A'}}$$

Les coordonnées de « M » sont donc :

$$x_M = \frac{p \cdot x_A - p' \cdot x_{A'}}{p - p'} + \frac{z_{A'} - z_A}{p - p'}$$

$$z_M = z_A + p \cdot (x_M - x_A)$$



4- Profil en long

G- Coordonnées du point de concours de deux pentes

Les pentes sont telles que :

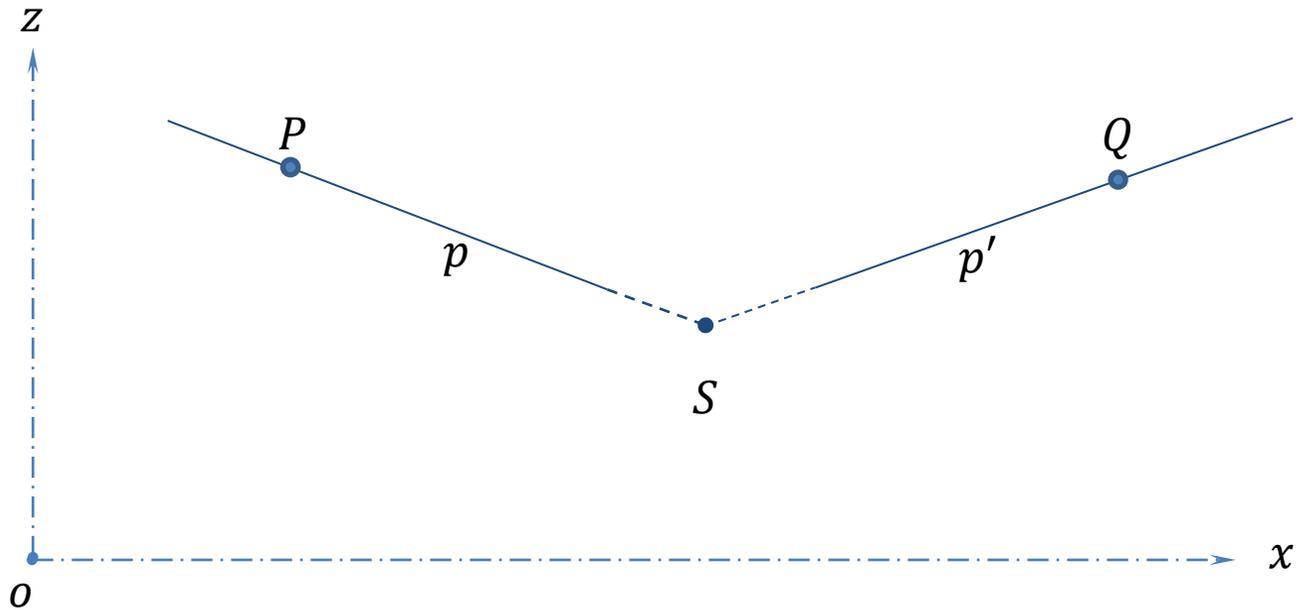
$$p = \frac{z_S - z_P}{x_S - x_P}$$

$$p' = \frac{z_S - z_Q}{x_S - x_Q}$$

L'altitude de « M » est donc :

$$x_S = x_P + \frac{z_Q - p'(x_Q - x_P) - z_P}{p - p'}$$

$$z_S = z_P + p \cdot (x_S - x_P)$$



4- Profil en long

H- Raccordement de rampes et pentes au moyen d'arc de parabole

L'équation du cercle (*osculateur*) :

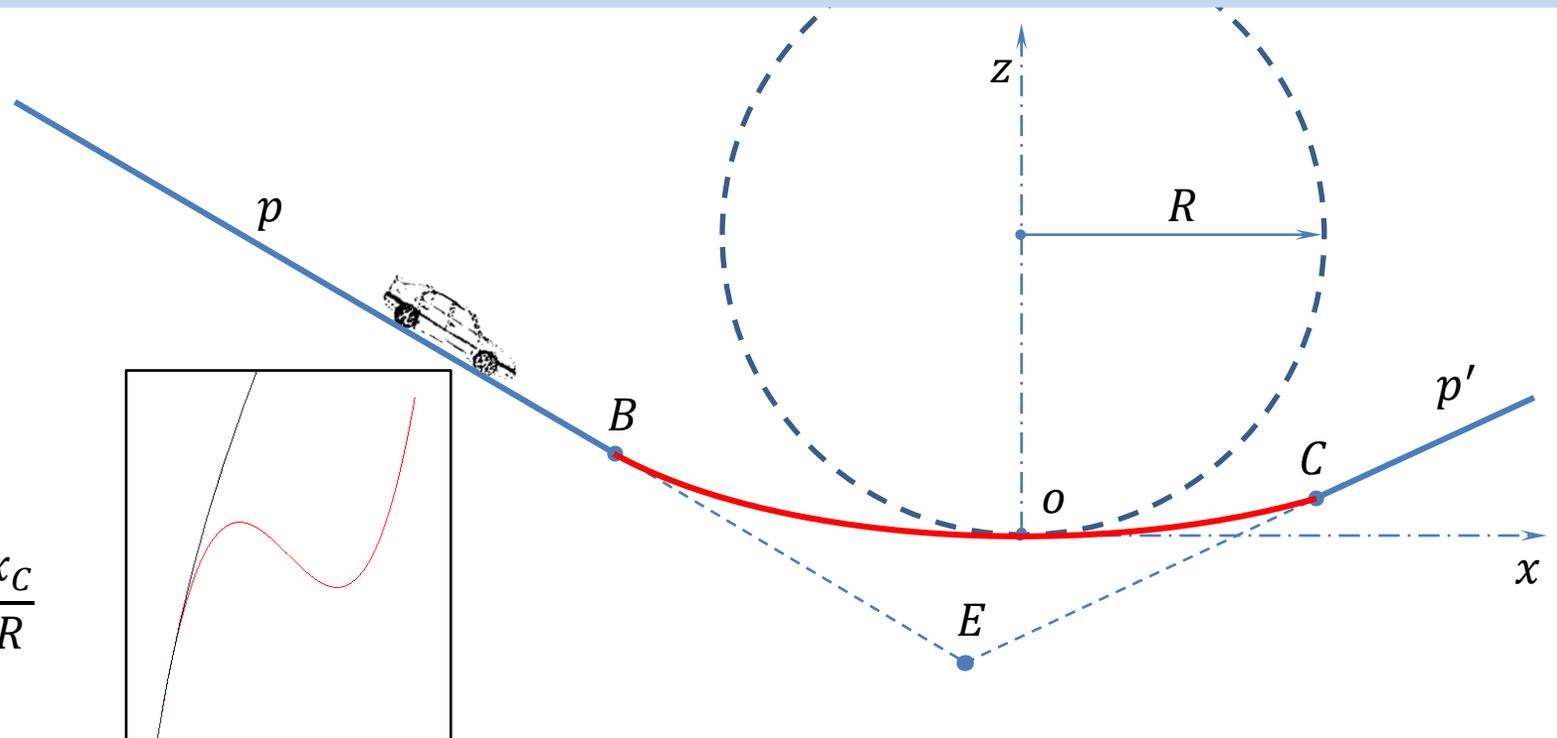
$$x^2 + z^2 = 2Rz$$

L'équation de la parabole :

$$x^2 = 2Rz \text{ ou } z = x^2/2R$$

Les pentes sont telles que:

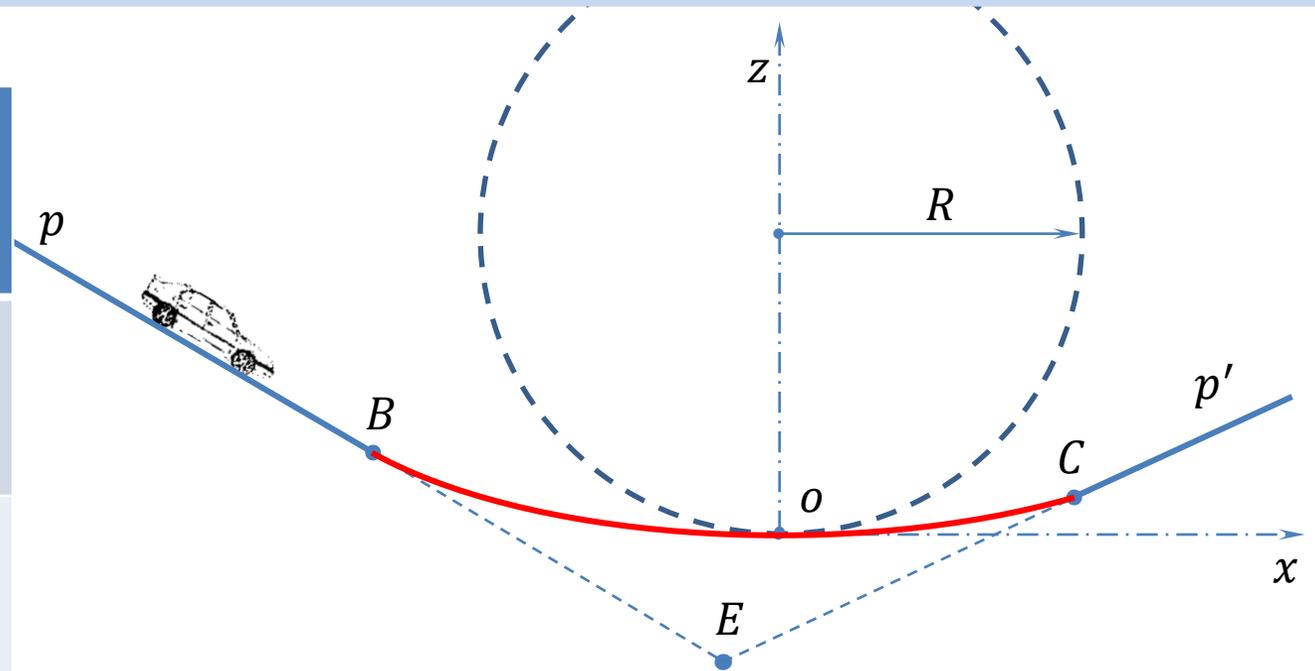
$$p = \frac{dz}{dx} = \frac{x_B}{R} \quad ; \quad p' = \frac{dz}{dx} = \frac{x_C}{R}$$



4- Profil en long

H- Raccordement de rampes et pentes au moyen d'arc de parabole

Position de « O » par rapport à « E »	Position de « B » par rapport à « O »	Position de « C » par rapport à « O »	Position d'un pt « M » par rapport à « O »
$X_o = \frac{-R(p + p')}{2}$	$x_B = p \cdot R$	$x_C = p' \cdot R$	$x = x$
$Z_o = -\frac{R \cdot p \cdot p'}{2}$	$z_B = \frac{p^2 \cdot R}{2}$	$z_C = \frac{p'^2 \cdot R}{2}$	$z = \frac{x^2}{2R}$



4- Profil en long

Exemple :

Déterminer les coordonnées du point de concours E de deux droites successives $E(x_E, z_E)$?

→ B(99; 251.05) ; C(1299; 247.10); $p_1 = 2\%$ $p_2 = -3\%$

E = Intersection de 2 droites : → Système d'équations: $X_E = 740.00$ $Z_E = 263.87$

4- Profil en long

Déclivités maximales et rayons limites

ICTAAL		
Types	L1	L2
Vitesses	130	110
Déclivité maximale	5%	6%
Rayon minimal en angle saillant	12 500	6 000
Rayon minimal en angle rentrant	4 200	3 000

ICTAVRU				
Types	A 80	A 100	U 60	U 80
Vitesses	80	100	60	80
Déclivité maximale	6%	5%	6%	6%
Rayon minimal en angle saillant	3000	6000	1500	3000
Rayon normal en angle saillant	4500	8000	2500	4500
Rayon minimal en angle rentrant	1000	1500	800	1000
Rayon normal en angle rentrant	2000	3000	1500	2000

4- Profil en long

Déclivités maximales et rayons limites

ICGRRC	Exp	1er C	2ème C	3ème C
Vitesses	120	100	80	60
Déclivité maximale	4%	4%	4%	6%
Rayon des raccordements saillants				
Minimum normal	16 000	9 000	4 000	2 000
Minimum absolu	7 000	4 000	1 800	1 500
Rayon des raccordements rentrants				
Minimum unique	4 000	2 500	1 500	1 000

REFT	
Vitesse	40
Déclivité maximale	
Maximum normal	7%
Maximum absolu	12%
Raccordement en angle saillant	
Minimum normal	1 000
Raccordement en angle rentrant	
Minimum unique	500

Conception géométrique des routes

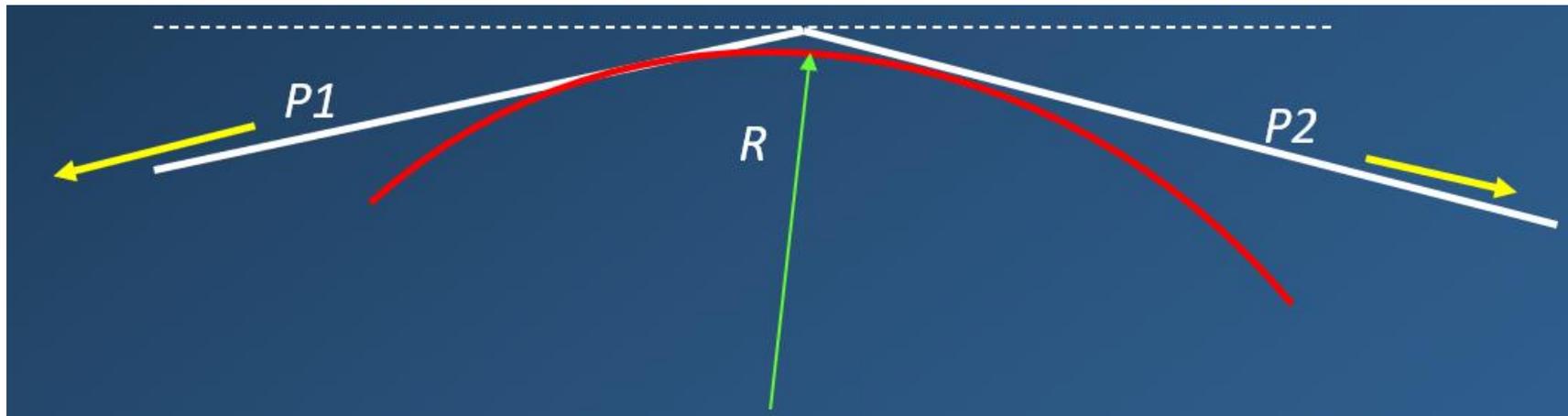
Récapitulatif des normes fondamentales des tracés en plan et des profils en long

Excp (Vb=120km/h)			1 ^{ère} C (Vb=100km/h)			2 ^{ème} C (Vb=80km/h)			3 ^{ème} C (Vb=60km/h)			
R	d%	L (2%)	R	d%	L (2%)	R	d%	L (2%)	R	d%	L (2%)	L (4%)
700	7%	158.33	350	7%	131.94	175	7%	105.56	75	7%	79.17	39.58
750	6%	141.67	375	6%	118.06	200	5.5%	88.89	80	6.5%	75.00	37.50
800	5.5%	133.33	400	5.5%	111.11	225	4.5%	77.78	90	6%	70.83	35.42
850	5%	125.00	425	5%	104.17	250	4%	72.22	100	5%	62.50	31.25
900	4.5%	116.67	450	4.5%	97.22	275	3.5%	66.67	110	4.5%	58.33	29.17
950	4.5%	116.67	475	4.5%	97.22	300	3%	61.11	120	4%	54.17	27.08
1000	4%	108.33	500	4%	90.28	325	3%	61.11	125	4%	54.17	27.08
1050	3.5%	100.00	525	3.5%	83.33	350	2.5%	55.56	130	4%	54.17	27.08
1100	3.5%	100.00	550	3.5%	83.33	>350	Prof.		140	3.5%	50.00	25
1150	3.5%	100.00	575	3.5%	83.33		Normal		150	3%	45.83	22.92
1200	3%	100.00	600	3%	76.39				160	3%	45.83	22.92
1250	3%	91.67	625	3%	76.39				170	2.5%	41.67	20.83
1300	3%	91.67	650	3%	76.39				175	2.5%	41.67	20.83
1350	2.5%	83.33	675	2.5%	69.44				>175	Prof.		
1400 à 2000	2.5%	83.33	700 à 1000	2.5%	69.44					Normal		
>2000	Prof.		>1000	Prof.								
	Normal			Normal								
Tracé en Plan			Tracé en Plan			Tracé en Plan			Tracé en Plan			
Min. Normal		1.000	Min. Normal		500	Min. Normal		250	Min. Normal		125	
Min. Absolu		700	Min. Absolu		350	Min. Absolu		175	Min. Absolu		75	
Rayons non déversés		2000	Rayons non déversés		1000	Rayons non déversés		350	Rayons non déversés		175	
Profil en Long			Profil en Long			Profil en Long			Profil en Long			
<i>Angle Saillant</i>			<i>Angle Saillant</i>			<i>Angle Saillant</i>			<i>Angle Saillant</i>			
Min. Normal		16.000	Min. Normal		9.000	Min. Normal		4.000	Min. Normal		2.000	
Min. Absolu		7.000	Min. Absolu		4.000	Min. Absolu		1.800	Min. Absolu		1.500	
<i>Angle Rentrant</i>			<i>Angle Rentrant</i>			<i>Angle Rentrant</i>			<i>Angle Rentrant</i>			
Min. Unique		4.000	Min. Unique		2.500	Min. Unique		1.500	Min. Unique		1.000	

4- Profil en long

I- Règles particulières

Règle (1) : Le rayon de raccordement saillant : R peut être $< R_{mn}$ si $p1$ et $p2 > 2\%$;

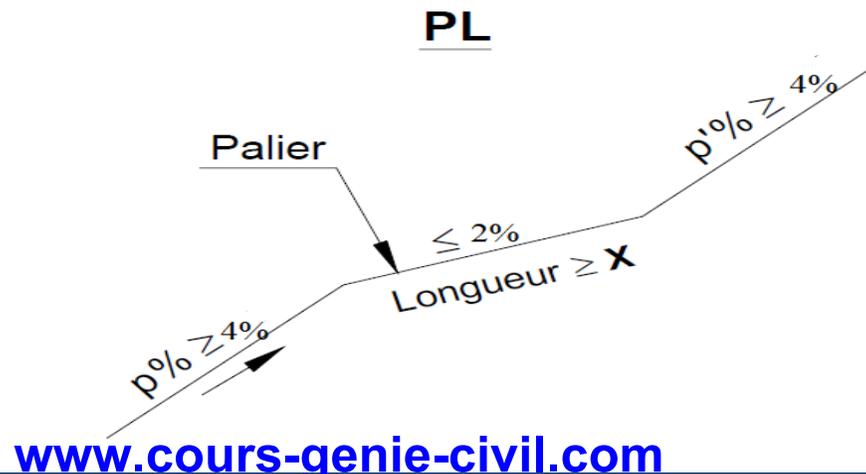


4- Profil en long

I- Règles particulières

Règle (2) : L'usage de déclivité $> 4\%$ (6% pour 3^{ème} C, 7% et 12% pour HC) est interdit, à moins qu'un calcul de rentabilité en prouve l'inverse.

Elles ne peuvent en aucun cas régner sur plus de 2 km , et seront, s'il y a lieu séparées par des paliers de 2% de déclivité max ;

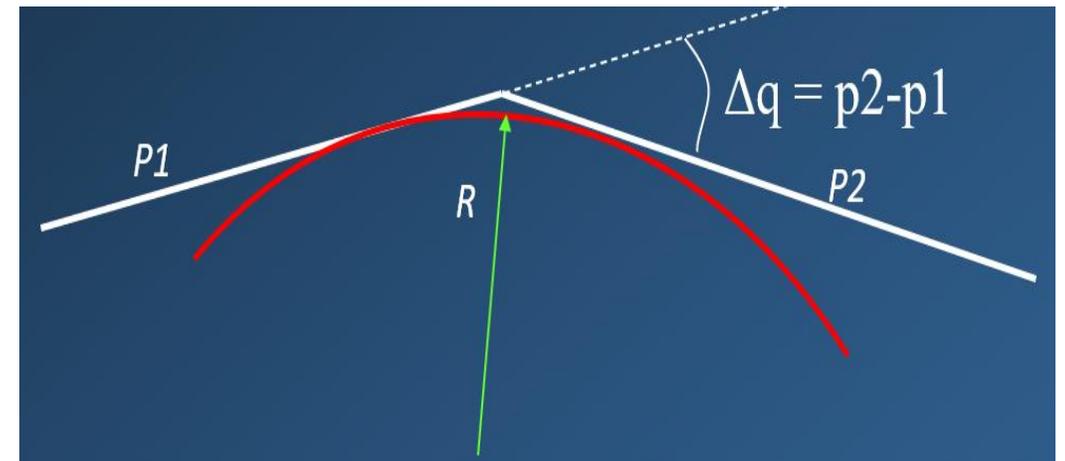


4- Profil en long

I- Règles particulières

Changement de déclivités en angle saillant:

CATEGORIE	CHANGEMENT DE DECLIVITE LIMITE Δq
Exceptionnelle	3 %
1ère	2,0 %
2ème	1,5 %
3ème	1 %



4- Profil en long

I- Règles particulières

Règle (3) : Les changements de déclivité en angle saillant de moins de 0,46 % se feront sans courbe en profil en long. Le rayon de visibilité est déterminé selon le changement de déclivités Δq .

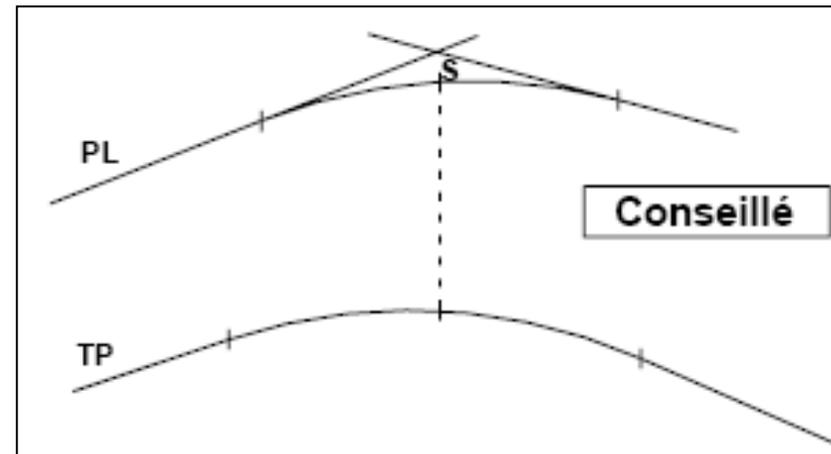
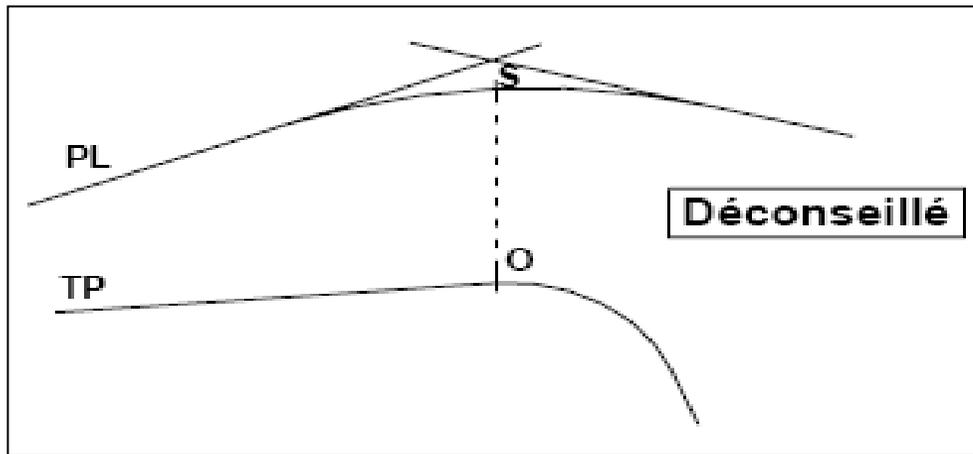
Changement de déclivité Δq	$\geq 0,8 \%$	0,7 %	0,6 %	0,5 %	0,46 %	0,44
$R_V (m)$	28.000	26.500	22.200	12.000	4.000	0

4- Profil en long

J- Coordination du TP & PL

En angle saillant: Il ne faut pas coïncider le sommet de la parabole (PL) avec l'origine de la courbe en TP.

Pour éviter que le virage soit masqué par le sommet de la parabole.



Solution: - Coïncider la courbe en plan avec celle du PL dans la mesure du possible;

- Introduire une clothoïde pour changer de la courbe en TP;

4- Profil en long

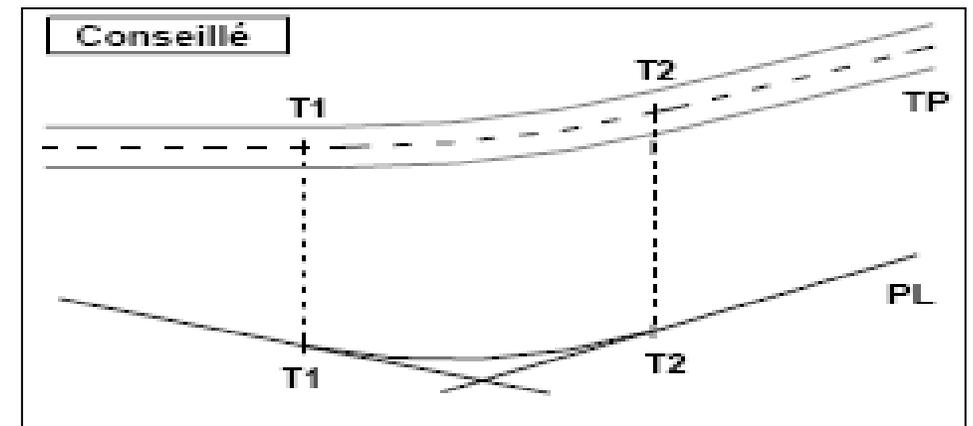
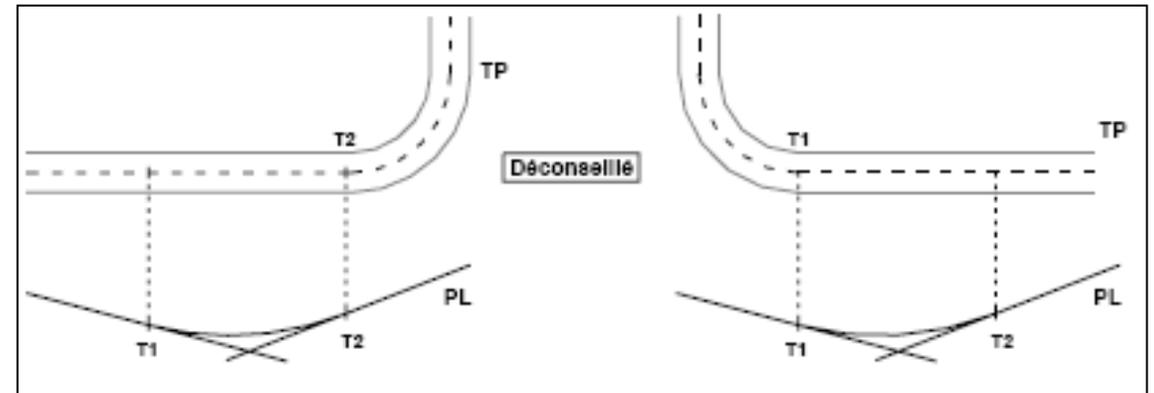
J- Coordination du TP & PL

Angle rentrant:

T1 et T2 représentent les points de tangente entre les alignements droits et les arcs de cercle ou clothoïdes

Solution:

- Coïncider la courbe en plan avec celle du PL dans la mesure du possible;
- Introduire une clothoïde pour changer de la courbe en TP;



4- Profil en long

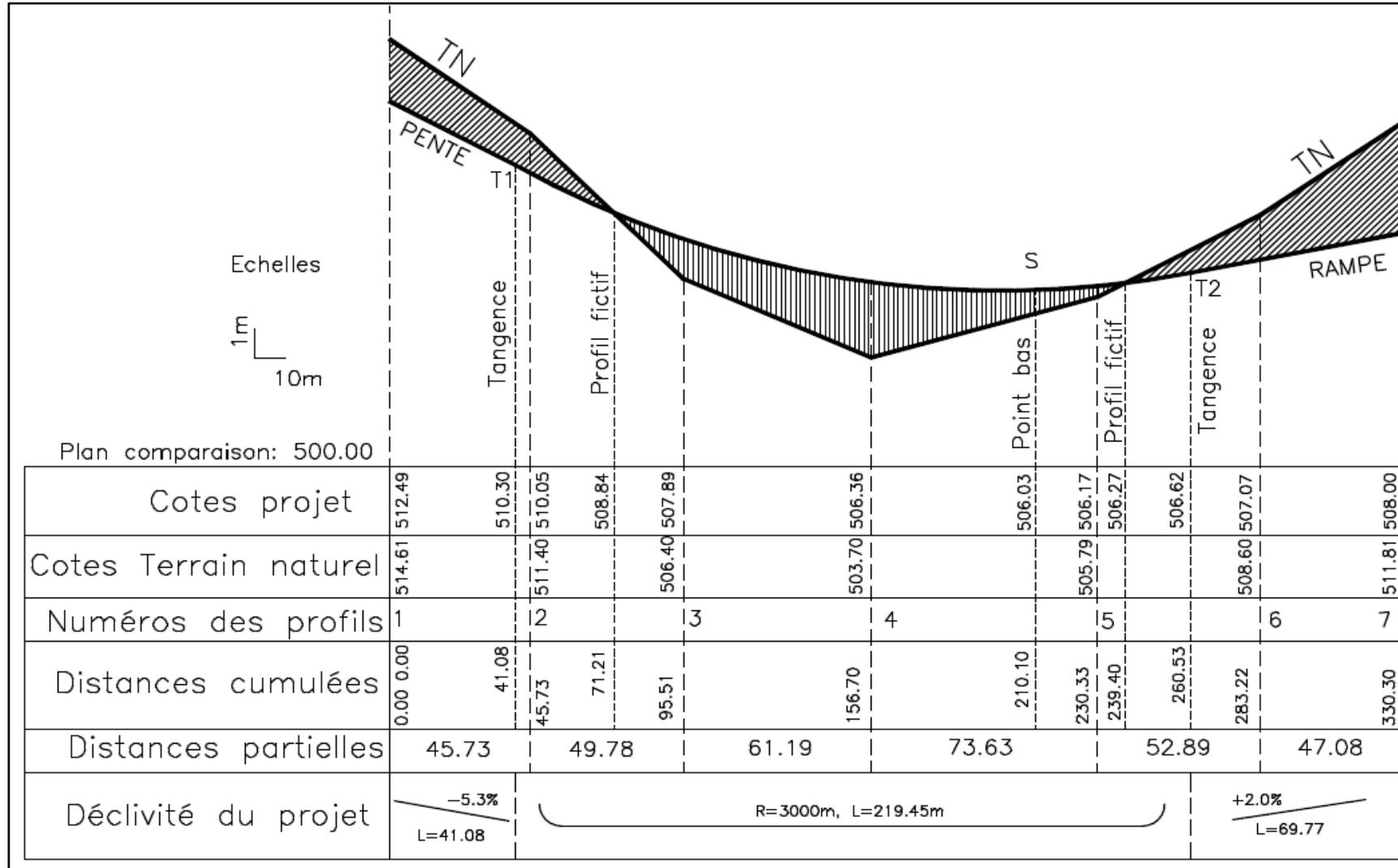
Représentation graphique du P.L

Pour les échelles on adopte : 1/1000 pour les longueurs & 1/100 pour les hauteurs;

On doit indiquer les éléments suivants :

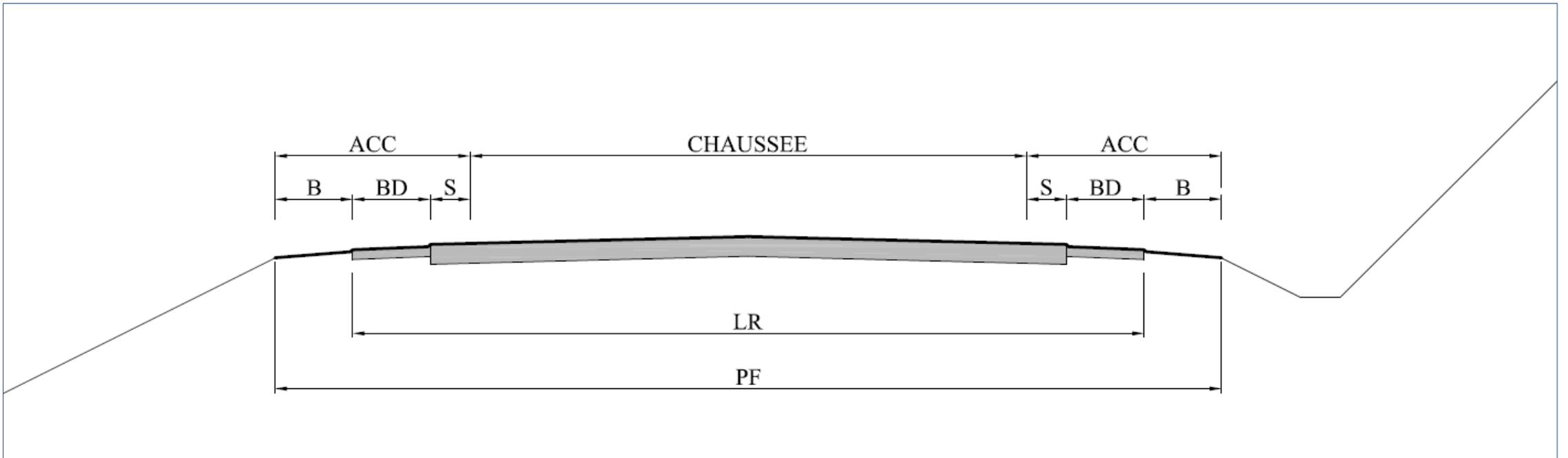
- Le plan de comparaison : cote de référence pour chaque planche
- Les numéros de profils
- Distances partielles entre profils
- Distances cumulées des profils
- Cotes Terrain naturel des profils
- Cotes projet des profils
- Déclivités et rayons du P.L.
- Alignements et courbes du tracé en plan
- Devers des profils en travers

Représentation graphique du P.L



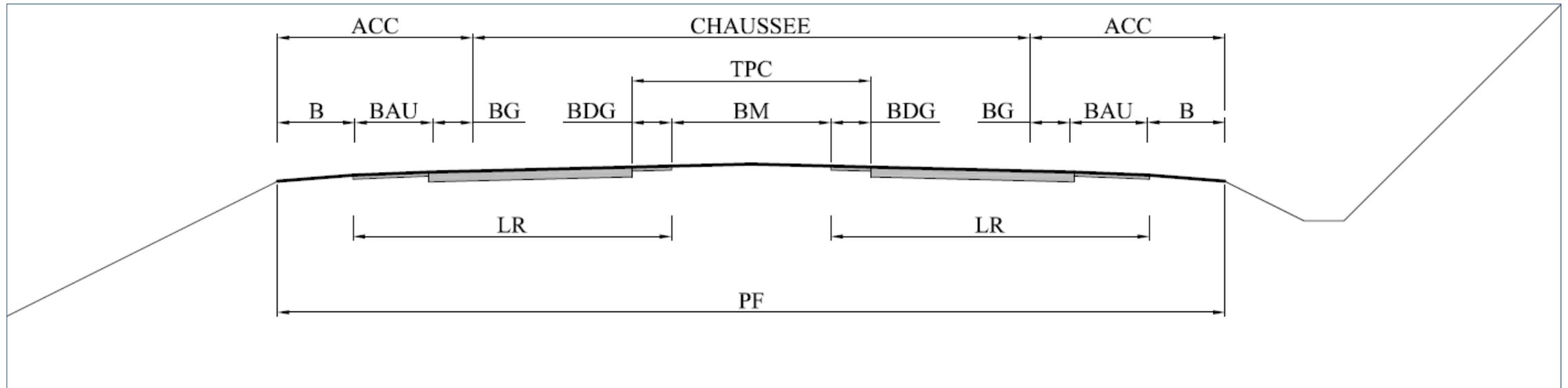
5- Profil en travers

Description générale (Route à deux voies)



5- Profil en travers

Description générale (Autoroute)



B : berme ; BAU : bande d'arrêt d'urgence ; BG : bande de guidage ; BDG : bande dérasée de gauche ; BM : bande médiane
 TPC : terre-plein central ; ACC : Accotement ; LR : largeur roulable

5- Profil en travers

Dimensions de chaussée et accotements

Largeur de chaussées		Largeur d'accotements	
Chaussées bidirectionnelles	2 m	1,00 m	
	4 m	2,00 m	
	6 m	2,00 m	
	7 m et plus	2,50 m	
Chaussées unidirectionnelles	5 m	1,50 m	
	7 m et plus	2,50 m	

Pentes transversales de chaussées		Pentes transversales d'accotements	
En béton de ciment	2,0 %	BD revêtus	2,5 %
En enduit superficiel ou enrobé	2,5 %	BD non revêtue	4,0 %
Non revêtue	4,0 %	Berme	8,0 %

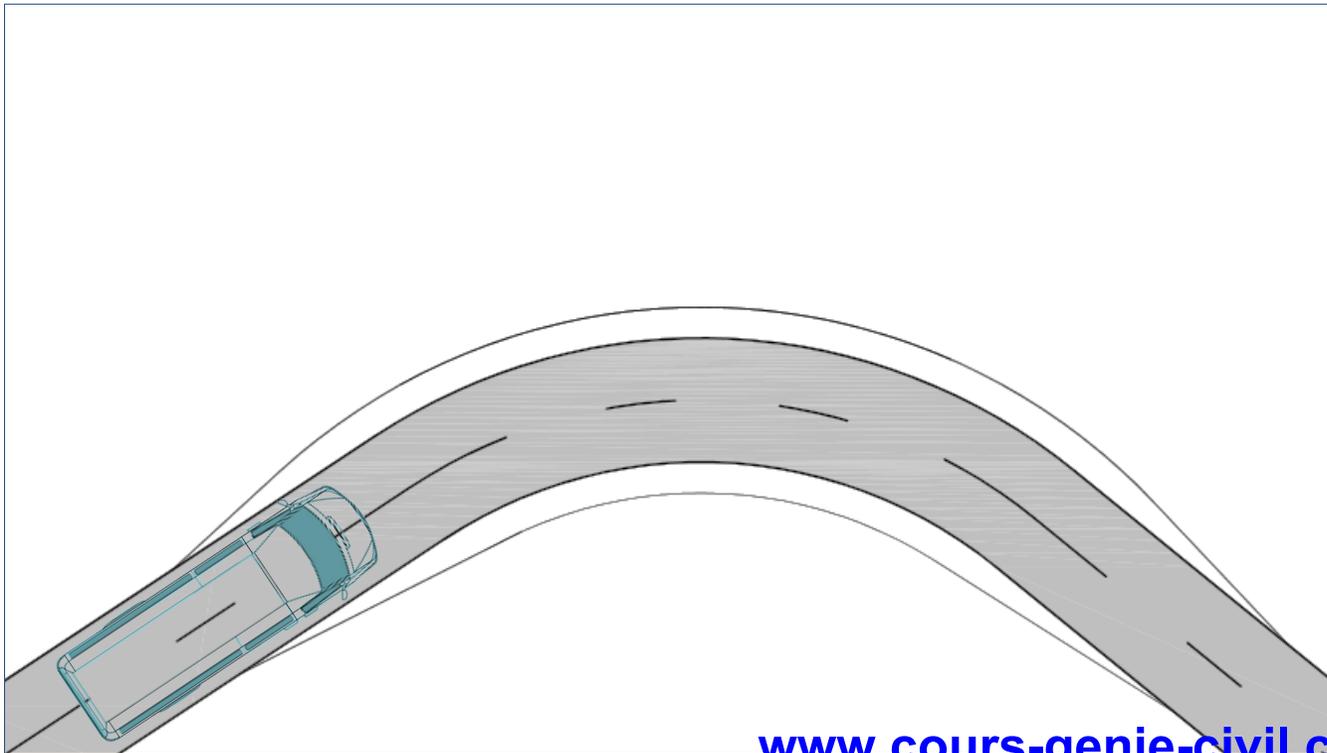
5- Profil en travers

Caractéristiques du terre-plein central

Route	BDG	TPC < 3 m	TPC = 3 m	TPC ≤ 6 m	TPC = 10 m	TPC ≥ 12 m
Urbaine ou Péri-urbaine	0.50 m	Bordures hautes ou glissière en BA	Haies ou chaînes infranchissable engazonné ou végétalisé, ou totalement ou partiellement carrelé			
En rase campagne	1 m	--	Double glissière	Haies ou chaînes infranchissable	Accotements de 2,50 m	Accotements de 2,50 m engazonné ou végétalisé

5- Profil en travers

Surlargeur de chaussée dans les courbes



Pour les courbes de rayon inférieur à 250 mètres, il faut prévoir une **surlargeur** « S » de la chaussée pour permettre le braquage des véhicules de grande longueur :

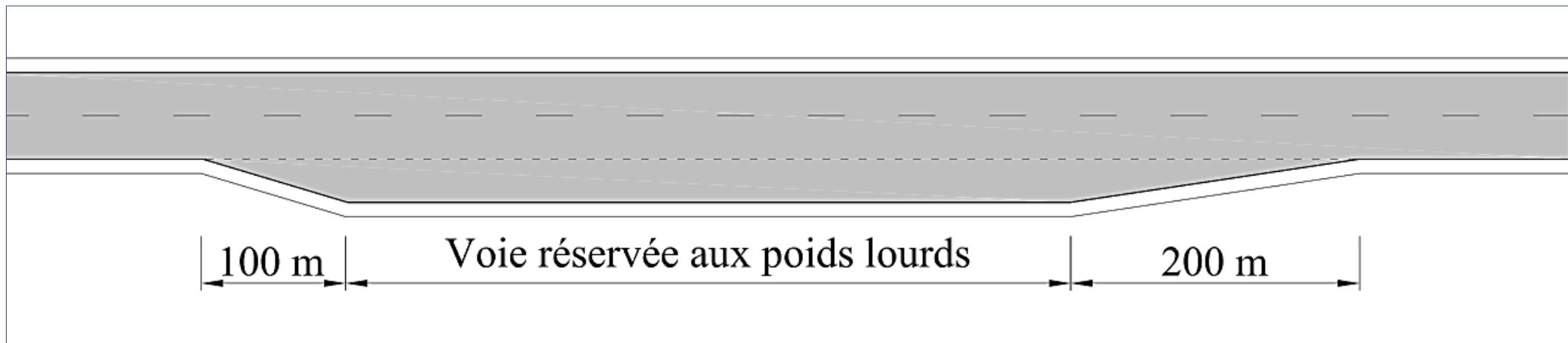
$$S = 50/R$$

- Portée par moitié de part et d'autre de l'axe de la route ;
- Constante sur toute la longueur de la courbe ;
- Introduite progressivement en même temps que le dévers.

5- Profil en travers

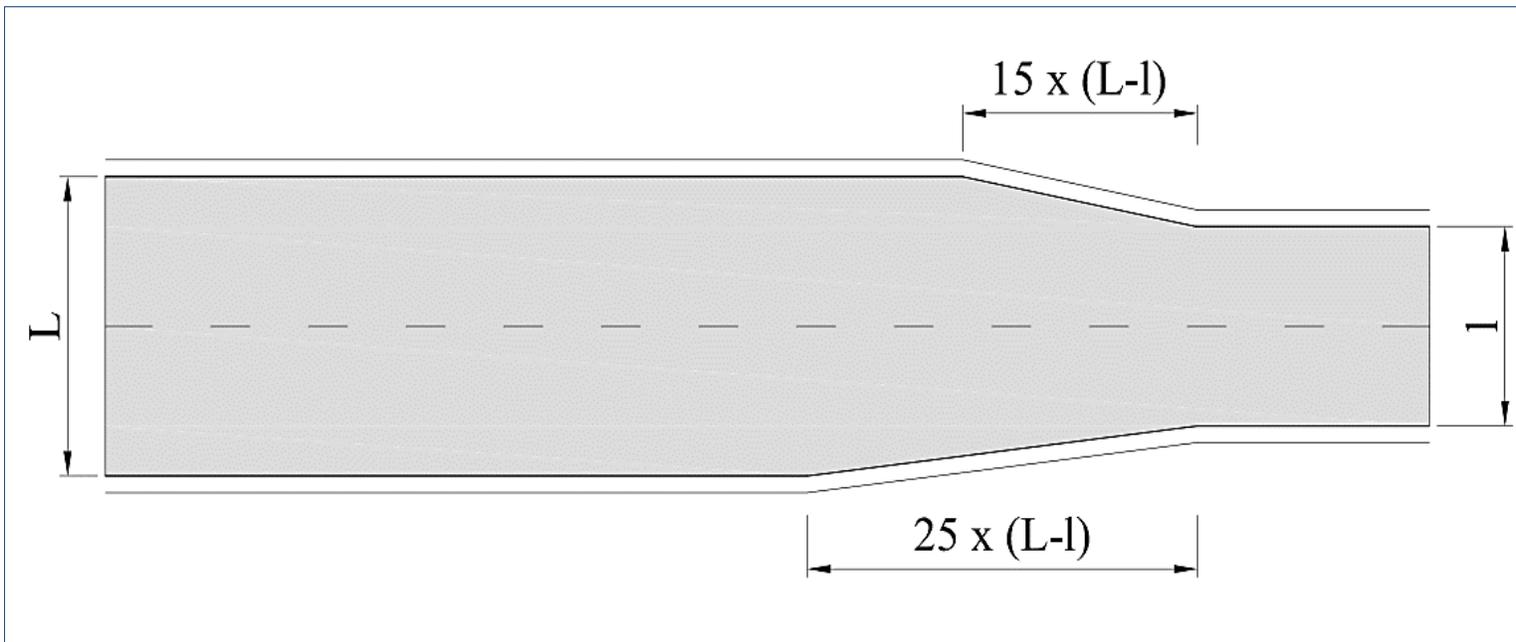
Voies réservées au poids lourds

Pour les pentes très raides, il est conseillé de prévoir des voies auxiliaires réservées aux poids lourds (vitesse de roulement de *75 km/heure*).



5- Profil en travers

Raccordement de tronçons de route de largeurs inégales



Raccordement progressif sur une longueur égale à :

- 15 fois la variation de largeur dans le sens de l'élargissement ;
- 25 fois la variation de largeur dans le sens du rétrécissement.

5- Profil en Travers

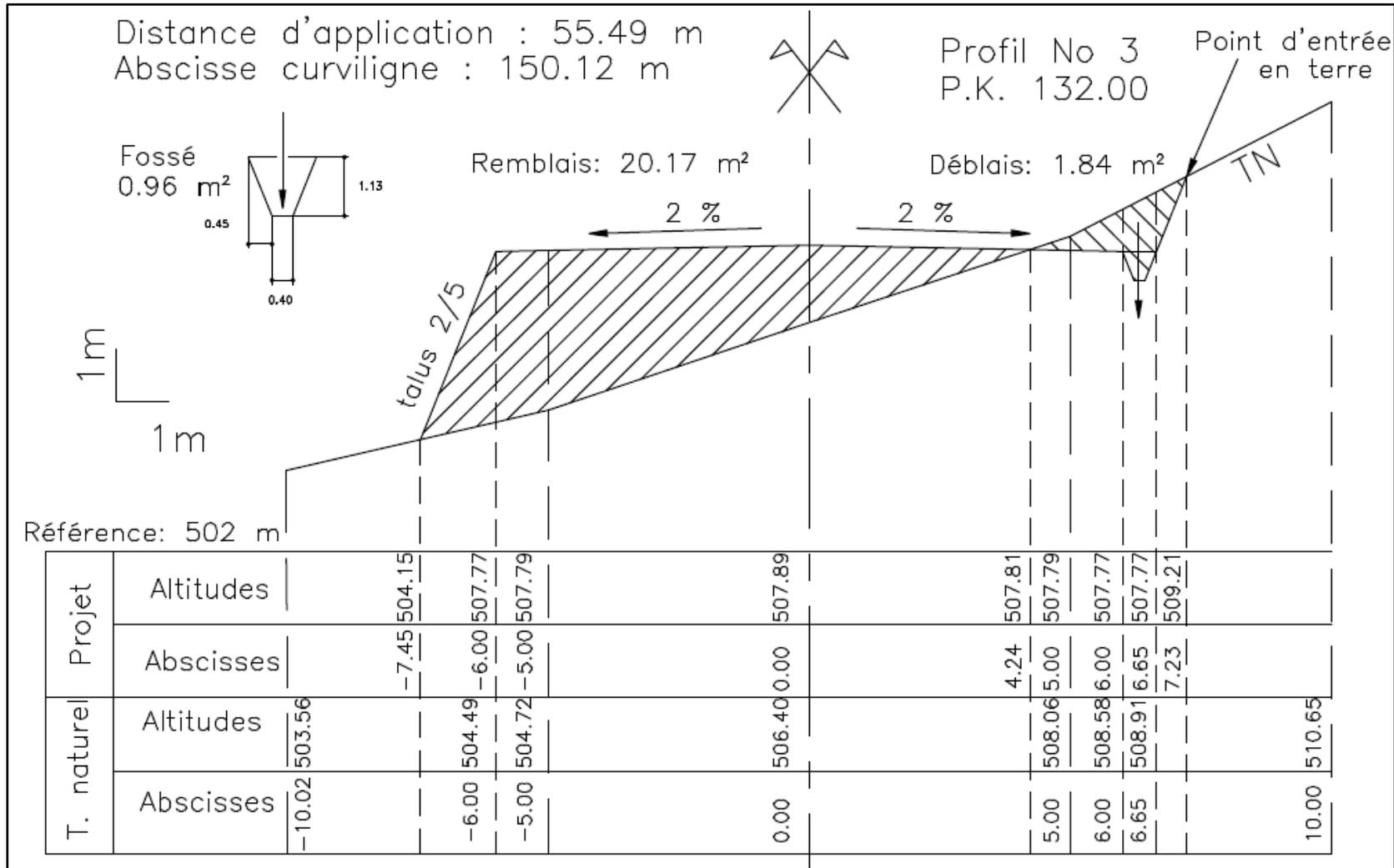
Représentation graphique du P.T

on adopte les échelles : $1/100$ ou $1/200$ pour les longueurs & $1/100$ ou $1/200$ pour les hauteurs

Il doit indiquer les éléments suivants :

- Le plan de comparaison : cote de référence pour chaque profil
- Le numéro de profil
- L'abscisse curviligne du profil
- Distances Terrain naturel du profil par rapport à l'axe
- Cotes Terrain naturel du profil
- Distances projet du profil par rapport à l'axe
- Cotes projet du profil
- Pentes transversales et dévers;

Représentation graphique du P.T

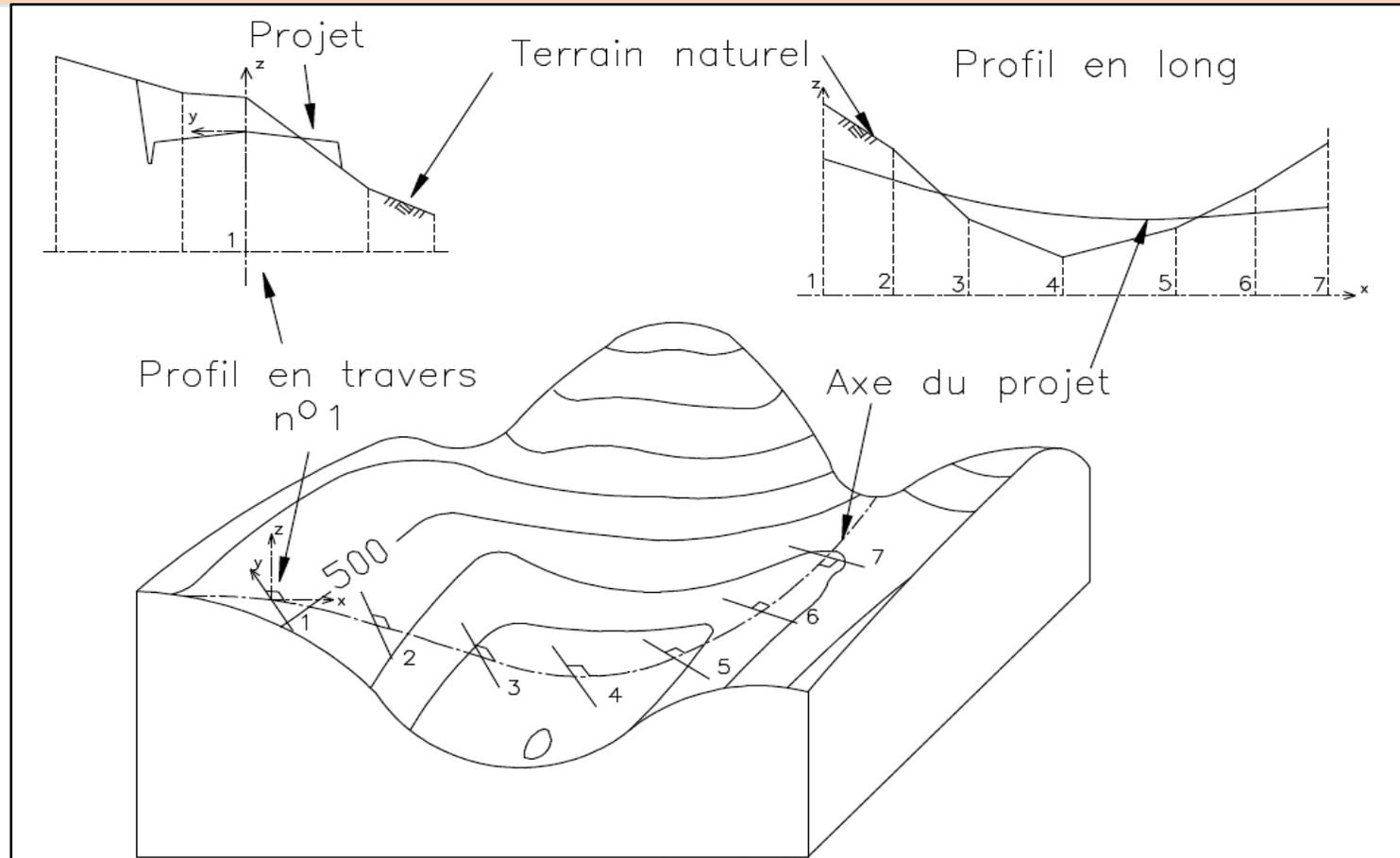


Calcul de volumes des terrassements (remblais et déblais)

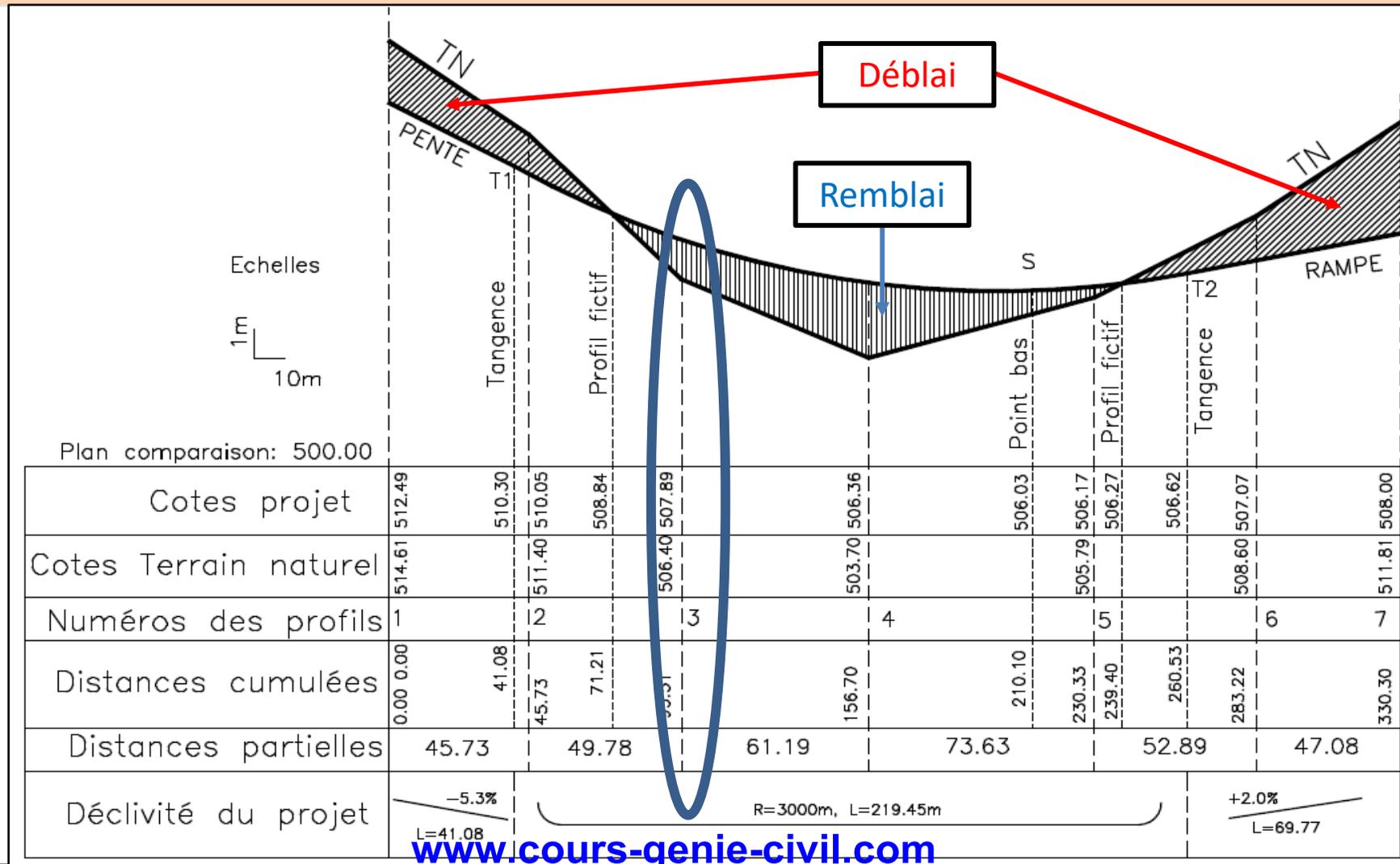
N° Profils	Distances entre profils (m)	Longueur d'application (m)	Déblais				Remblais			
			Surfaces (m^2)			Cubes (m^3)	Surfaces (m^2)			Cubes (m^3)
			A gauche de l'axe	A droite de l'axe	Total		A gauche de l'axe	A droite de l'axe	Total	
(1)										
(2)										
(3)										
PF (*)										
(4)										
..										
Total										

(*) *profil fictif ou point de passage: intersection entre TN et ligne de projet.*

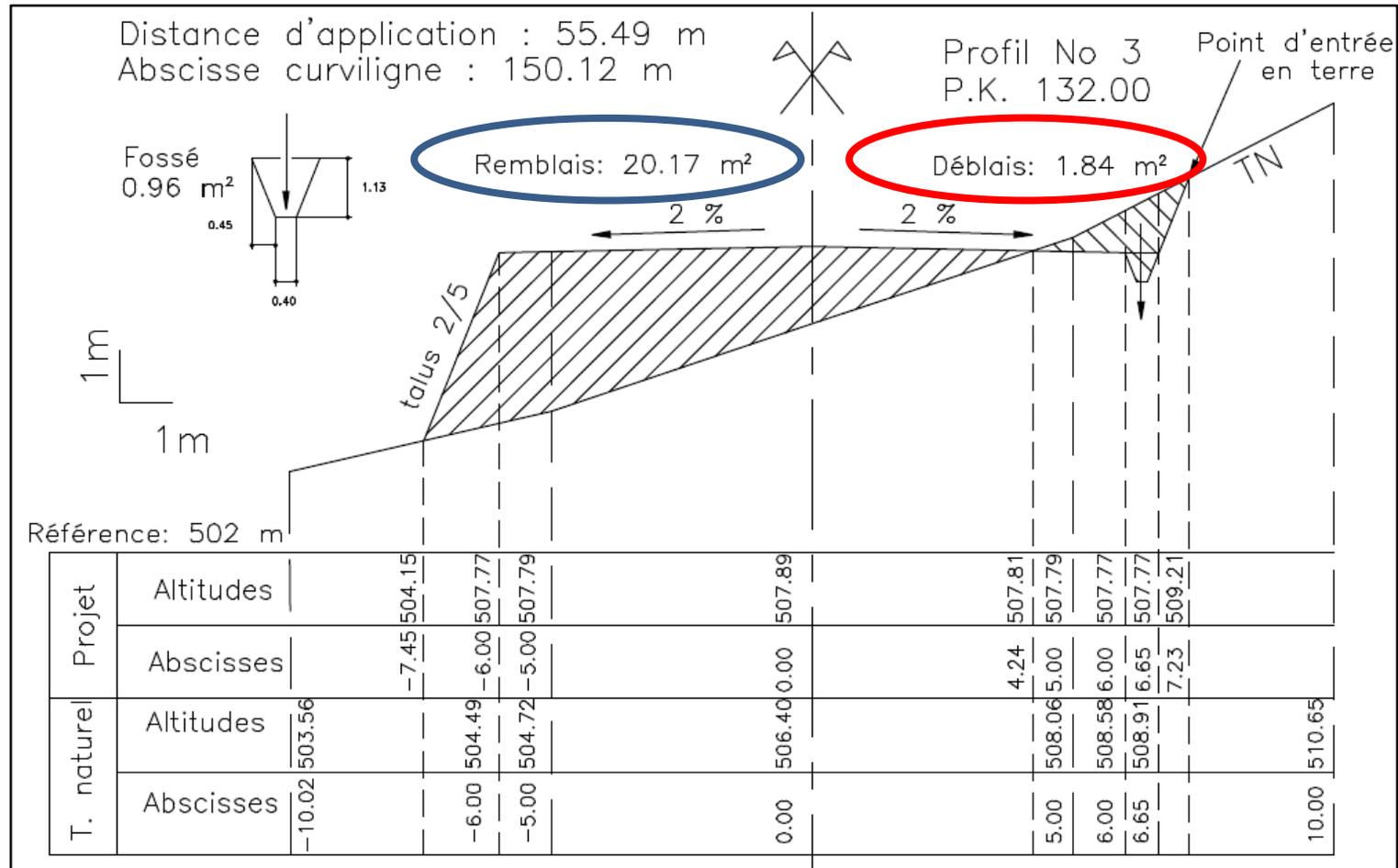
Calcul de volumes des terrassements (remblais et déblais)



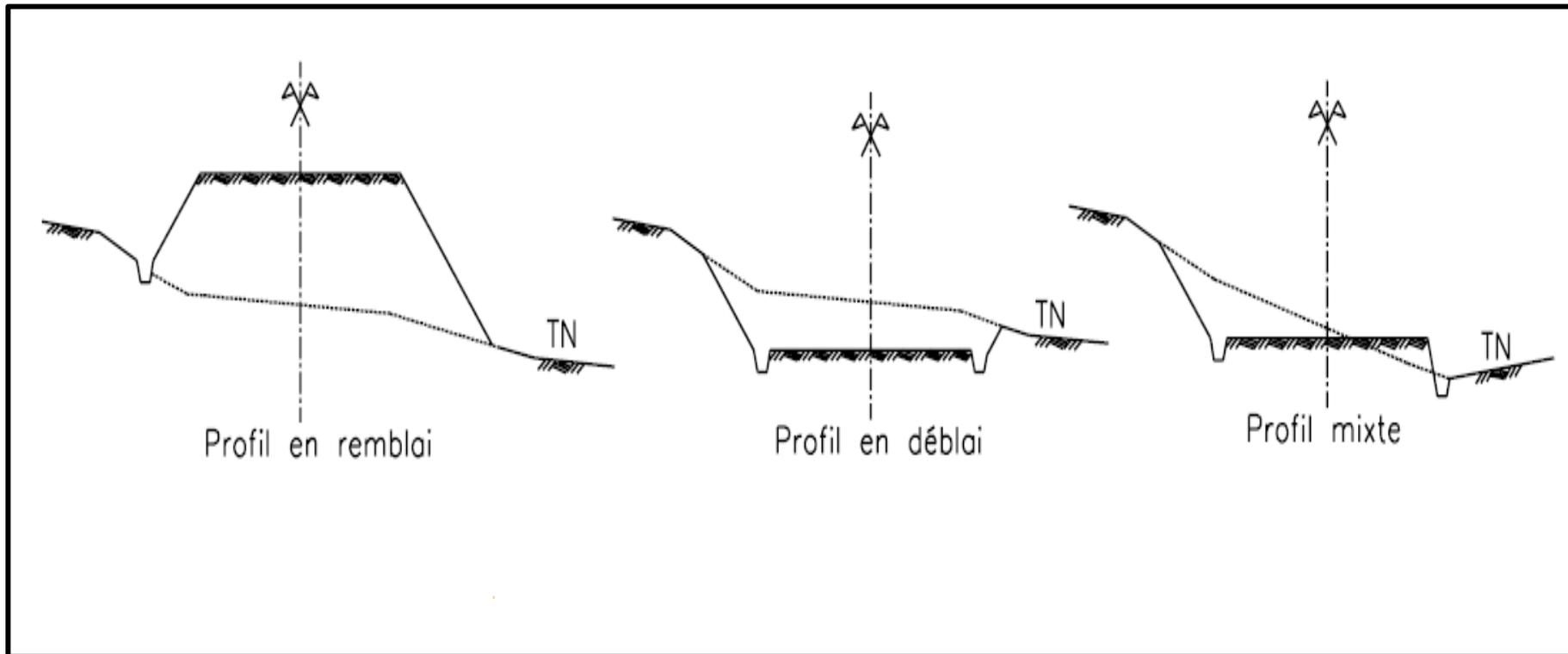
Calcul de volumes des terrassements (remblais et déblais)



Calcul de volumes des terrassements (remblais et déblais)



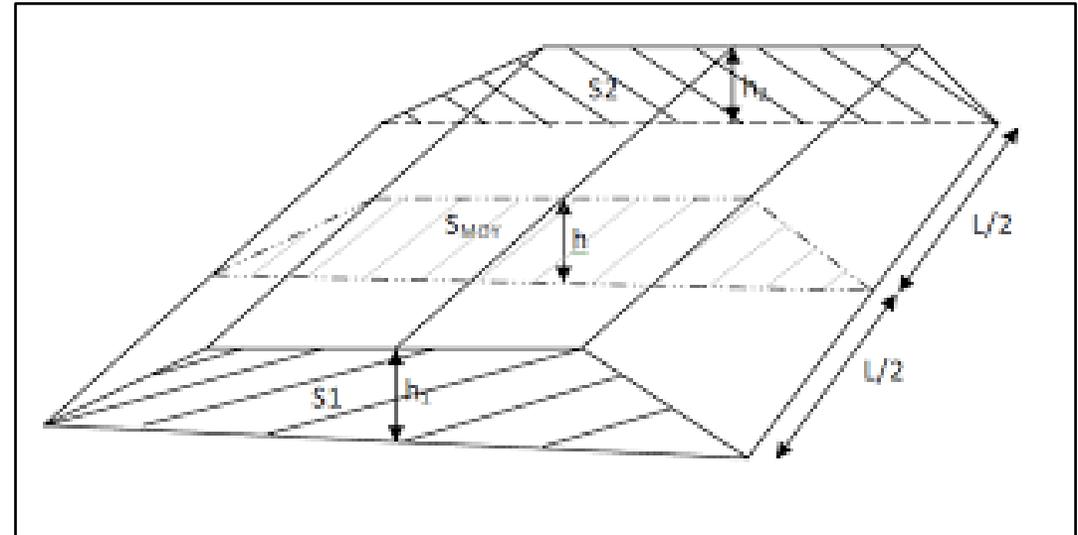
Calcul de volumes des terrassements (remblais et déblais)



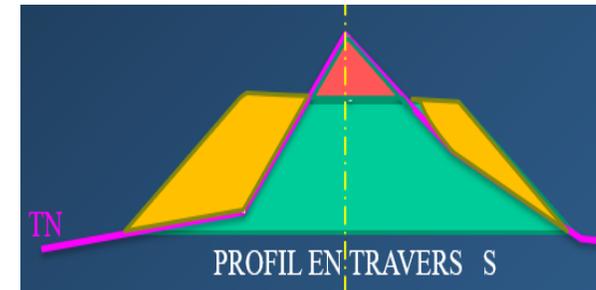
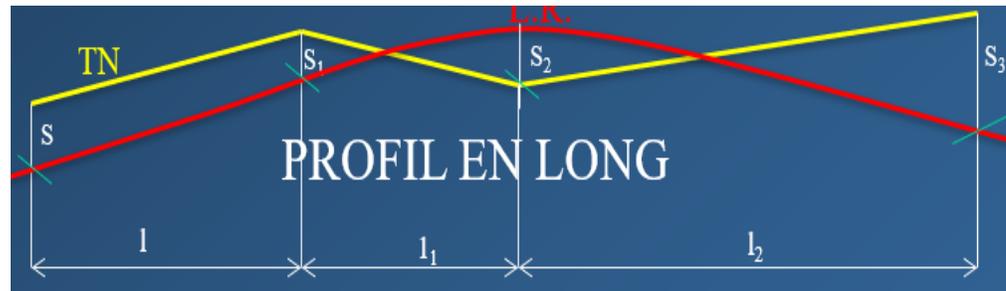
Calcul de volumes des terrassements (remblais et déblais)

Principe : le volume des terres situé entre 2 surfaces séparées d'une distance L est:

$$V = S_1 \times \frac{L}{2} + S_2 \times \frac{L}{2} = L \times \frac{S_1 + S_2}{2}$$



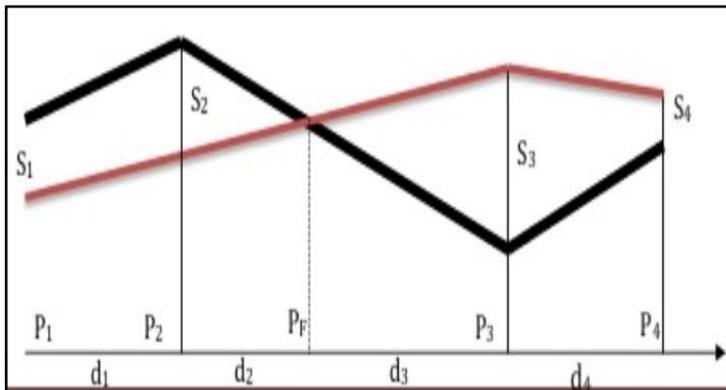
Calcul de volumes des terrassements (remblais et déblais)



$$V_r = S_r \times \frac{l}{2} + S_{r1} \times \frac{l+l_1}{2} + S_{r2} \times \frac{l_1+l_2}{2} + S_{r3} \times \frac{l_2+l_3}{2} + S_{r4} \times \frac{l_4}{2} \dots$$

$$V_d = S_d \times \frac{l}{2} + S_{d1} \times \frac{l+l_1}{2} + S_{d2} \times \frac{l_1+l_2}{2} + S_{d3} \times \frac{l_2+l_3}{2} + S_{d4} \times \frac{l_4}{2} \dots$$

Calcul de volumes des terrassements (remblais et déblais)



Profils	Distance entre profils (m)	Distance applicable	Déblais		Remblais	
			Surface (m ²)	Volume (m ³)	Surface (m ²)	Volume (m ³)
P1	-	$(d_1)/2$	Sd1	$Sd1*(d_1)/2$	Sr1	$Sr1*(d_1)/2$
P2	d1	$(d_1+d_2)/2$	Sd2	$Sd2*(d_1+d_2)/2$	Sr2	$Sr2*(d_1+d_2)/2$
PF	d2	$(d_2+d_3)/2$	-	-	-	-
P3	d3	$(d_3+d_4)/2$	Sd3	$Sd3*(d_3+d_4)/2$	Sr3	$Sr3*(d_3+d_4)/2$
P4	d4	$(d_4)/2$	Sd4	$Sd4*(d_4)/2$	Sr4	$Sr4*(d_4)/2$
	-					
Totaux	Somme des distances	Somme des distances	Volume total des déblais		Volume total des remblais	

Calcul de volumes des terrassements (remblais et déblais)

Foisonnement:

Les calculs suivants ne prennent pas en compte le foisonnement et le compactage des sols:

- Les terres extraites augmentent de volume;
- Les terres de remblais subissent un compactage;

Volume réel de déblais = Volume de déblais * Coefficient de foisonnement

Nature du terrain	C _r	C _t
Terre végétale et sable	10% à 15%	08% à 12%
Gravier	15% à 20%	12% à 15%
Terre argileuse	25% à 30%	17% à 19%
Les argiles	30% à 35 %	19% à 21 %
La marne	35% à 40%	21% à 33%
Argile marneuse très compacte	40% à 55%	23% à 30%
Les éboulis d'oued	30% à 40%	17% à 18%
Tout venant d'oued	40% à 65%	10% à 15%

Calcul de volumes des terrassements (remblais et déblais)

Application:

A partir des valeurs enregistrées sur le tableau, déterminer les cubatures de terrassement;

Réponse:

Déblais = 2923 m³

Remblais = 2376 m³

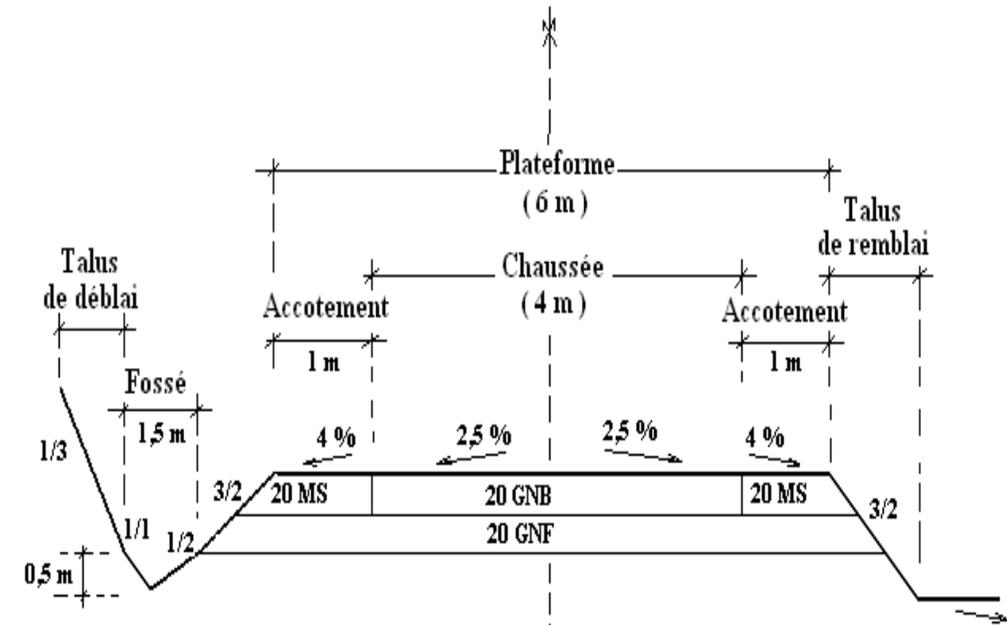
Profil	Déblai m ²	Remblai m ²	Entre-profils m
1	13,03	0,00	25,05
2	11,36	0,00	45,65
fictif	0,66	1,80	25,10
3	0,35	2,50	29,81
4	0,00	15,49	50,45
5	0,00	17,34	50,30
6	0,00	13,09	45,56
fictif	0,85	0,27	25,20
7	3,23	0,00	29,60
8	22,58	0,00	50,05
9	11,38	0,00	49,25
10	10,15	0,00	24,00

Exercice:

Afin de construire une route souple entre deux localités **A** et **B**, on adopte le PT ci-contre :

Les données du projet sont :

- Longueur totale : $L = 10$ km
- Couche de roulement : RSB (bicouche en 6/10 et 10/14);
- Couche de base : 20 cm de GNB;
- Couche de fondation : 20 cm de GNF
- Couche en matériaux sélectionnés : 20 cm de MS (sélectionnés)
- Fossé :
Ouverture = 1,5m Profondeur = 0,5m; P1 = 50%; P2 = 100%
- Talus de remblai : $H/V = 3/2$
- Talus de déblai: $H/V = 1/3$



Solution:

- Terrassement en déblai

$$V = [(1,5 \times 0,5) / 2] \times 10000 = 3750 \text{ m}^3$$

- Volume de la GNF

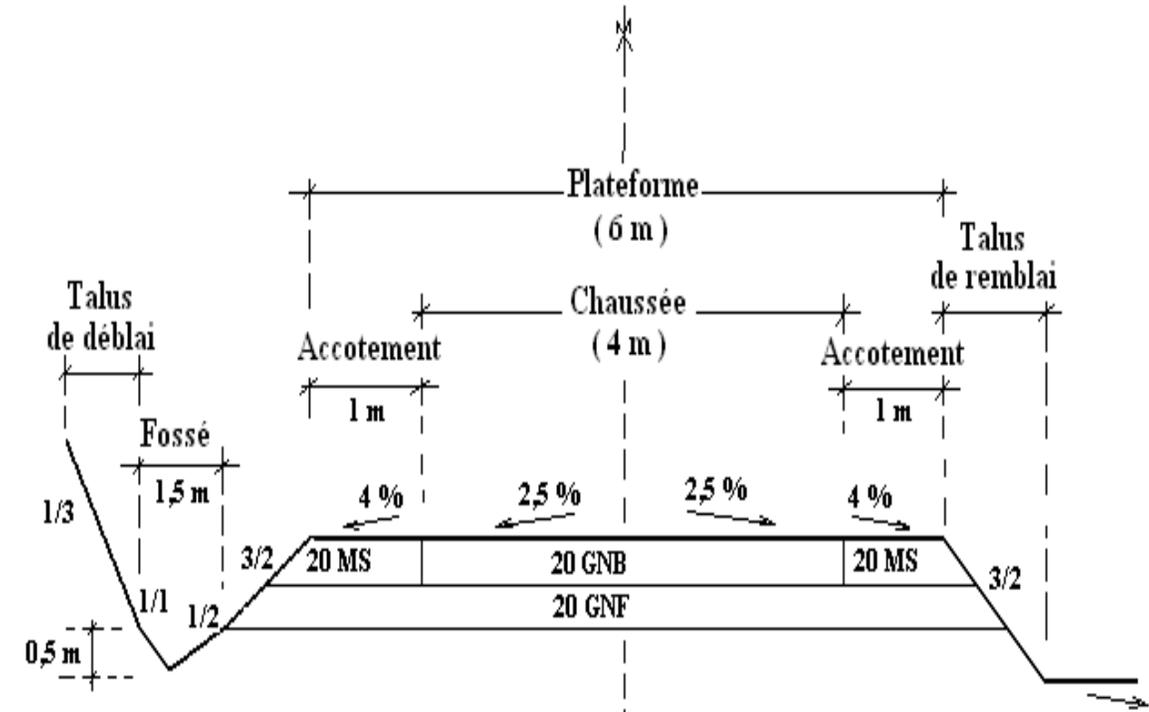
$$V = [(6,60 + 7,20) / 2] \times 0,20 \times 10000 = 13800 \text{ m}^3$$

- Volume du MS

$$V = [(1,00 + 1,30) / 2] \times 0,20 \times 10000 \times 2 = 4600 \text{ m}^3$$

- Volume de la GNB

$$V = (4 \times 0,20) \times 10000 = 8000 \text{ m}^3$$



Solution:

Revêtement superficiel bicouche

- Impregnation en cut back 0/1 ($d_g=1,2 \text{ kg/m}^2$)
 $(4 \times 10000) \times 1,2 = 48000 \text{ Kg}$

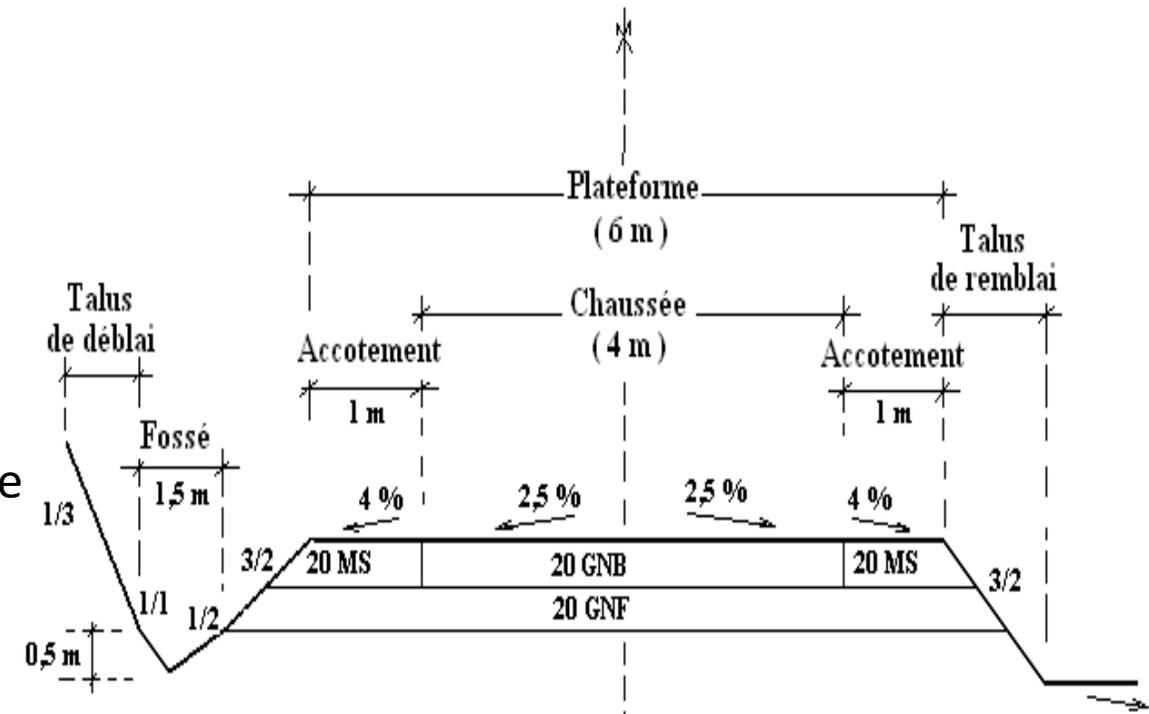
- Bitume fluidifié 800/1400 ($d_g=2,5 \text{ kg/m}^2$)
 $(4 \times 10000) \times 2,5 = 100000 = 100 \text{ T}$

- Granulat en 6/10 et 10/14 formule : $(D+d)/2$ en litre
 Volume 6/10 = $(6+10)/2 = 8 \text{ litres /m}^2$

- Volume (10/14) = $(10+14)/2 = 12 \text{ litres /m}^2$

- Surface du RSB

Surface = $4 \times 10000 = 40000 \text{ m}^2$



Solution: Tableau de Métré

Introduction :

L'assainissement d'une route ayant pour but la protection contre l'attaque des eaux en période des inondations.

On désigne par les ouvrages d'assainissement:

- Les ouvrages hydrauliques de franchissement: buses, dalots, radiers, etc
- Les ouvrages de drainage de l'emprise de la chaussée (fossés de crête, caniveaux pour talus, etc), en terre ou revêtu.



Buse



Radier



Dalot



Fossé



Caniveau en descente

1- Etapes de l'assainissement routier :

La démarche d'étude comprend 3 étapes:

- **Collecte des données:** topographiques, pluviométriques, hydrométriques, etc;
- **Etude hydrologique:** délimitation des BV et calcul des débits (modèles hydrologiques);
- **Etude hydraulique:** dimensionner les ouvrages hydrauliques sur la base des résultats de l'étude hydrologique.

2- Hydrologie :

Le débit de projet dépend de la période de retour d'une crue : pour une longue durée (**cinquantennale ou centennale**); le coût d'investissement est élevé. Alors qu'une période de retour courte (décennale), ce coût deviendra modéré avec des coûts d'entretien élevés.

- **Ouvrages hydrauliques:** adopter une période de retour de **10 ans** et vérifier que le niveau d'eau n'atteint pas le corps de chaussée pour une période de **25 ans**.
- **Ouvrages de drainage:** adopter une période de retour de **10 ans** et vérifier que le niveau d'eau n'atteint pas le corps de chaussée pour une période de **25 ans**.

2- Hydrologie : Formules adoptées et limites d'utilisation

Le débit de projet dépend est évalué par des méthodes empiriques récapitulés dans le tableau :

Formules	Surface < 1 km ²	1 < Surface < 10 km ²	Surface > 10 km ²
Mac-Math	Oui	-	-
Burkli-Ziegler	Oui	Oui	-
Rationnelle	Oui	Oui	-
Mallet-Gauthier	-	-	Oui
Fuller II	-	-	Oui
Régionale	-	-	Oui

*Seuil entre petits et moyens BV est 1 Km²

*Seuil entre moyens et grands BV est 10 Km²

2- Hydrologie : Formules adoptées et limites d'utilisation

Formule rationnelle :

$$Q_T = (1/3.6) * C * I * A$$

Q_T = Débit de période de retour T (en m³/s)

A = Surface du BV (en km²)

I = Intensité de pluie pour temps de concentration (en mm/h)

C = coefficient de ruissèlement

Tableau de calcul du coefficient de ruissèlement

Couverture végétale	Morphologie	Pente (%)	Sable grossier	Argileux limoneux	Argileux compact
Bois	Presque plat	0 à 5	0,10	0,30	0,40
	Ondulé	5 à 10	0,25	0,35	0,50
	Montagneux	10 à 30	0,30	0,50	0,60
Pâturage	Presque plat	0 à 5	0,10	0,30	0,40
	Ondulé	5 à 10	0,15	0,36	0,55
	Montagneux	10 à 30	0,22	0,42	0,60
Culture	Presque plat	0 à 5	0,30	0,50	0,60
	Ondulé	5 à 10	0,40	0,60	0,70
	Montagneux	10 à 30	0,52	0,72	0,82

Formule Espagnole	$T_c = 60 \times 0.3 \times \left(\frac{L}{I^{0.25}} \right)^{0.77}$	Formule Californienne	$T_c = 60 \times 0.1452 \times \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0.77}$
Formule de Giandoti	$T_c = 60 \times \left(\frac{4 \times \sqrt{A} + (1.5 \times L)}{0.8 \times \sqrt{H}} \right)$	Formule de Kirpich	$T_c = \frac{1}{52} \times \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0.77}$
Formule de Van Te Chow	$T_c = 60 \times 0.123 \times \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0.64}$	Formule de Ventura	$T_c = 76.32 \times \sqrt{\frac{A}{100 \times I}}$

T_c = Temps de concentration en min ; L = Longueur du drain en km ;
I = Pente en m/m ; A = Surface en km² ; H = Dénivelée totale en m.

2- Hydrologie : Formules adoptées et limites d'utilisation

Formule rationnelle :

$$Q = (1/3.6) * C * I * A$$

Q_T = Débit de période de retour T (en m³/s)

A = Surface du BV (en km²)

I = Intensité de pluie pour temps de concentration (en mm/h)

C = coefficient de ruissèlement

Tableau de l'intensité de pluie en fonction du temps de concentration

Stations	Période (ans)	T de 0 à 90 min		T de 90 à 1 440 min	
		Hauteur (h)	Intensité (I)	Hauteur (h)	Intensité (I)
TANGER	11	$5,56T^{0,49}$	$5,56T^{-0,51}$	$11,7T^{0,314}$	$11,7T^{-0,686}$
OUJDA	10	$4,54T^{0,33}$	$4,54T^{-0,67}$	$1,63T^{0,54}$	$1,63T^{-0,46}$
RABAT	11	$2,47T^{0,77}$	$2,47T^{-0,23}$	-	-
FES	10	$6,96T^{0,33}$	$6,96T^{-0,67}$	$12,47T^{0,25}$	$12,47T^{-0,75}$
MEKNES	10	$6,24T^{0,45}$	$6,24T^{-0,55}$	$11,25T^{0,31}$	$11,25T^{-0,69}$
CASA 0-20 mm	11	$2,15T^{0,89}$	$2,25T^{-0,11}$	$8,71T^{0,31}$	$8,71T^{-0,69}$
CASA 20-90 mm	11	$16,2T^{0,19}$	$16,2T^{-0,81}$	-	-
MIDELT	9	$2,78T^{0,44}$	$2,78T^{-0,56}$	$2,04T^{0,48}$	$2,04T^{-0,52}$
KASBAT TADLA	7	$3,26T^{0,45}$	$3,26T^{-0,55}$	$2,47T^{0,51}$	$2,47T^{-0,49}$
SAFI	10	$7,41T^{0,35}$	$7,41T^{-0,65}$	-	-
MARRAKECH	10	$9,48T^{0,22}$	$9,48T^{-0,78}$	$12,6T^{0,145}$	$12,6T^{-0,855}$
AGADIR	11	$4,08T^{0,44}$	$4,08T^{-0,56}$	$5,37T^{0,4}$	$5,37T^{-0,6}$

Pente moyenne du bassin versant

$$I_m = \left[\frac{L}{\sum \frac{L_i}{\sqrt{I_i}}} \right]^2$$

L : Longueur de BV ,

L_i : Longueur du tronçon i de BV ,

i_i : La pente du tronçon i.

2- Hydrologie : Formules adoptées et limites d'utilisation

Formule de Mac-Math :

$$Q = K \times P \times A^{0,58} \times I^{0,42}$$

Q : débit à évacuer (en l/s);

P : hauteur maximale (en mm) de pluie tombée en 24 h sur le BV;

A : Surface du BV (en ha);

I : pente du BV (en mm/m);

K : coefficient dépendant de la nature de la surface du BV compris entre 0,11 et 0,43;

K dépend du couvert et de la topographie du BV.

Tableau de calcul du coefficient K:

Bassins versants de grandes dimensions et bien couvert en végétation	0,11
Superficies cultivées et terrains vagues en zones suburbaines	0,22
<input type="checkbox"/> Terrains non aménagés non rocheux et de pente moyenne <input type="checkbox"/> Faubourgs non pavés	0,32
Terrains non aménagés rocheux et à forte pente	0,43

2- Hydrologie : Formules adoptées et limites d'utilisation

Formule de Burkli-Ziegler :

$$Q_T = 0,0039 \times C \times H_{1h} \times A^{0,75} \times I^{0,25}$$

Avec :

Q_T = débit maximal (en m³/s) de fréquence 1/T;

H_{1h} = précipitation maximale (en mm) pendant 1H;

A = surface du BV (en ha);

C = coefficient de ruissellement;

I = pente moyenne du BV (en mm/m).

2- Hydrologie : Formules adoptées et limites d'utilisation

Formule de Mallet-Gauthier :

$$Q_T = 2K * \log(1 + aH) * \frac{A}{\sqrt{L}} * \sqrt{1 + 4\log(T) - \log(Q)}$$

Avec :

$a = 20$;

T = période de retour (en ans) ;

H = pluviométrie annuelle moyenne (en m);

A = surface du bassin versant (en km²);

$K = 2$ (valeur variant de 0,5 à 6. (prise égale à 2 depuis au Maroc depuis les inondations de 1996).

2- Hydrologie : Formules adoptées et limites d'utilisation

Formule de Fuller I :

$$Q_T = (1 + a * \log(T)) * (A^{0,8} + \frac{8}{3} * A^{0,5}) * \frac{4}{3} * \frac{N}{100}$$

T : La période de retour (en ans);

a : coefficient variant en fonction de la pluviosité :

- * 0,7 – 0,8 pour les grands BV et les régions bien arrosées ;
- * Jusqu'à 2 pour les régions arides ;
- * Sud du Maroc a varie de 3 à 3,5.

N: coefficient variant de 80 à 100 en fonction de la morphologie du BV :

- * 80 pour la plaine;
- * 85 pour les régions accidentées;
- * 100 en montagne;

A : La surface du BV (en km²).

2- Hydrologie : Formules adoptées et limites d'utilisation

Formules régionales en fonction de la superficie du BV :

REGIONS	FORMULES
Côtes Méditerranéennes et haut Loukkos (Ceuta à Targuist) Sol imperméable à mi-perméable Très fortes pluviosités	$Q_{10} = 16 * S^{0,75}$
Tangérois sud-est Sol mi-imperméable Forte à moyenne pluviosité	$Q_{10} = 10 * S^{0,75}$
Côtiers centraux (Rabat à Casa) Sol mi-imperméable Moyenne pluviosité	$Q_{10} = 3 * S^{0,75}$
Zone de Draa aval à Tarfaya Sol mi-imperméable à perméable Faible pluviosité	$Q_{10} = 0,5 * S^{0,75}$

Les formules régionales utilisées au Maroc

2- Hydrologie : Formules adoptées et limites d'utilisation

Exemple:

Soit une route qui traverse 4 BV, dont les caractéristiques hydrologiques sont données dans les tableaux suivants :

Calcul de temps de concentration

BV	Kirpich	Californienne	Espagnole	Turazza	Ventura	Adopté (mins)
1	18.64	40.78	48.48	35.15	35.41	39.96
2	27.84	60.92	67.73	76.41	87.52	73.14
3	24.03	52.59	57.75	51.48	53.21	53.76
4	35.76	78.26	97.08	80.84	80.99	84.29

Débits de pointe des BV

BV	S (km ²)	Rationnelle	Mac Math	Burklier Ziegler	Mallet gauthier	Fuller II	Hazan Lazarevic	Adopté (m ³ /s)
1	1.22	3.72	-	3.67	-	-	-	3.72
2	5.26	9.09	-	8.40	-	-	-	9.09
3	7.96	16.75	-	11.28	-	-	-	16.75
4	1.82	3.45	-	5.25	-	-	-	5.25

3- Ouvrages Hydrauliques

Pour dimensionner des ouvrages hydrauliques, on utilise 2 méthodes :

- **Méthode de Delorme** : utilisée en phase de définition et basée sur le débit à évacuer par l'ouvrage ;

- Pour les buses:

$$Q_c = 2.464 \times R \times H^{1.5} = 1.232 \times D^{2.5}$$

- Pour les dalots:

$$Q_c = 1.50 \times L \times H^{4/3} \text{ (ou parfois } 1.50 \times L \times H^{3/2} \text{)}$$

Avec : Q_c : débit critique évacué en m^3/s

R : rayon des buses en m

L : ouverture droite des dalots en m

H : hauteur des pénétrations sous dalles pour les dalots en m, diamètre intérieur pour les buses en m.

3- Ouvrages Hydrauliques

- **Méthode de contrôle amont et aval** : développée par le *Bureau of Public Road*, qui se base sur la formule Manning-Strickler et l'équation de l'énergie critique (cours d'hydraulique fluviale).

Application :

On cherche les dimensions des OH des 04 BVs de l'application précédente :

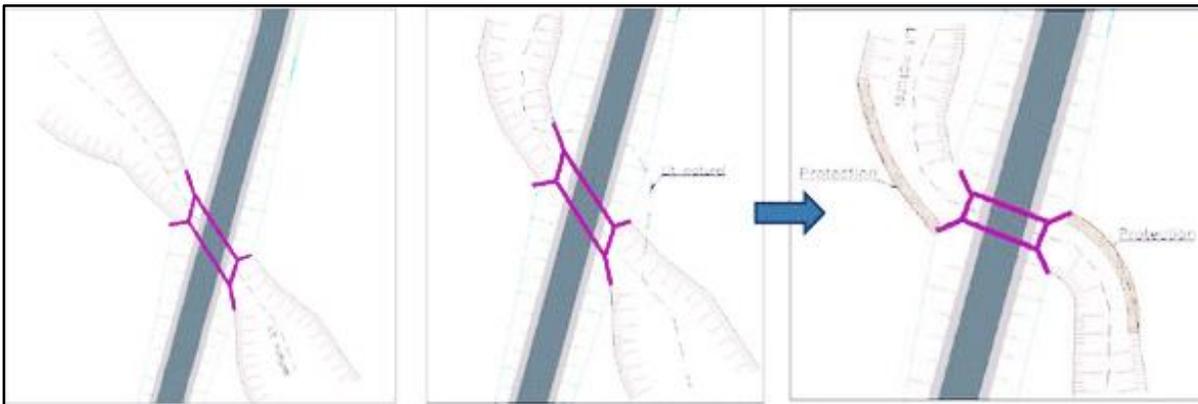
BV	Q_{10} (m ³ /s)	Dimension (m)			Débit C	Nbre Ouv	
1	3.72	Dalot	1.50	x	1.50	4.13	1
2	9.09	Dalot	1.50	x	1.60	9.11	2
3	16.75	Dalot	1.50	x	2.50	17.79	2
4	5.25	Dalot	1.50	x	1.80	5.43	1

BV	Q_{10} (m ³ /s)	Dimension			Débit C	Nbre Ouv
1	3.72	Buse	∅	1000	4.92	4
2	9.09	Buse	∅	1000	9.84	8
3	16.75	Buse	∅	1000	17.22	14
4	5.25	Buse	∅	1000	6.15	5

4- Calage des ouvrages hydrauliques

C'est l'opération consistant à insérer l'ouvrage sur le profil en travers correspondant, en tenant compte :

- L'ouvrage devra être aligné avec le lit naturel du cours d'eau;
- Ouvrage droit (angle entre 70 et 90°) sinon biais;
- L'OH doit être calé suivant la pente du terrain naturel pour éviter les dépôts ;
- Respecter la pente minimale 0.5 % et celle maximale 6 %;



Conclusion (Méthodologie)

❖ Étape (1) : Choisir une catégorie de route (Maitre d'ouvrage)

❖ Étape (2) : Tracé en plan

- Tracer l'axe en plan sous forme d'une série de segments en respectant la pente maximale de 5 %;
- Franchir les obstacles d'une façon économique;
- Numéroté les sommets et déterminer les angles ;
- Choisir les rayons de courbure selon la catégorie de la route;
- Calculer les caractéristiques géométriques des courbes (A, R, T, B, D) ou (A, L, D, B, A) ;
- Réaliser les raccordements et vérifier les règles de continuité (Si $R < R_{mn}$);
- Vérifier la visibilité dans les courbes ;
- Prévoir des flèches et surlargeurs si nécessaire ($R < 250$ m).

Méthodologie de tracé routier

Conclusion

❖ Étape (3) : Profil en long :

- Du TP relever les cotes des points de terrains naturels correspondants au moins situation suivantes : début et fin du tracé, changements de pente terrain naturel, obstacles naturels et artificiels, tangentes et sommets des courbes ;
- Dessiner le PL du terrain naturel : plan de comparaison, reporter les côtes et distances partielles, les alignements et courbes en tracé en plan ;
- Dessiner la ligne rouge: qui passe par le point de début et celui de fin de projet tout en respectant la déclivité maximale et déclivité minimale, le changement de déclivité maximale, l'équilibre déblais - remblais dans la mesure du possible,
- La coordination entre le tracé en plan et le profil en long ;
- Tracer les angles saillants et rentrants, les points correspondants aux ouvrages hydrauliques.

Méthodologie de tracé routier

Conclusion (Méthodologie)

❖ Étape (4) : Profil en travers

- Dessiner les profils en travers qui correspondent aux points qui figurent au profil en long en utilisant les profils en travers types;
- Calculer pour chaque PT la surface des déblais et la surface des remblais (à noter à côté de u profil en travers (SD et SR).

❖ Étape (5) : Calcul des volumes des terrassement

- Détails de calcul sous forme du tableau déjà présenté.

Méthodologie de tracé routier

Conclusion (Méthodologie)

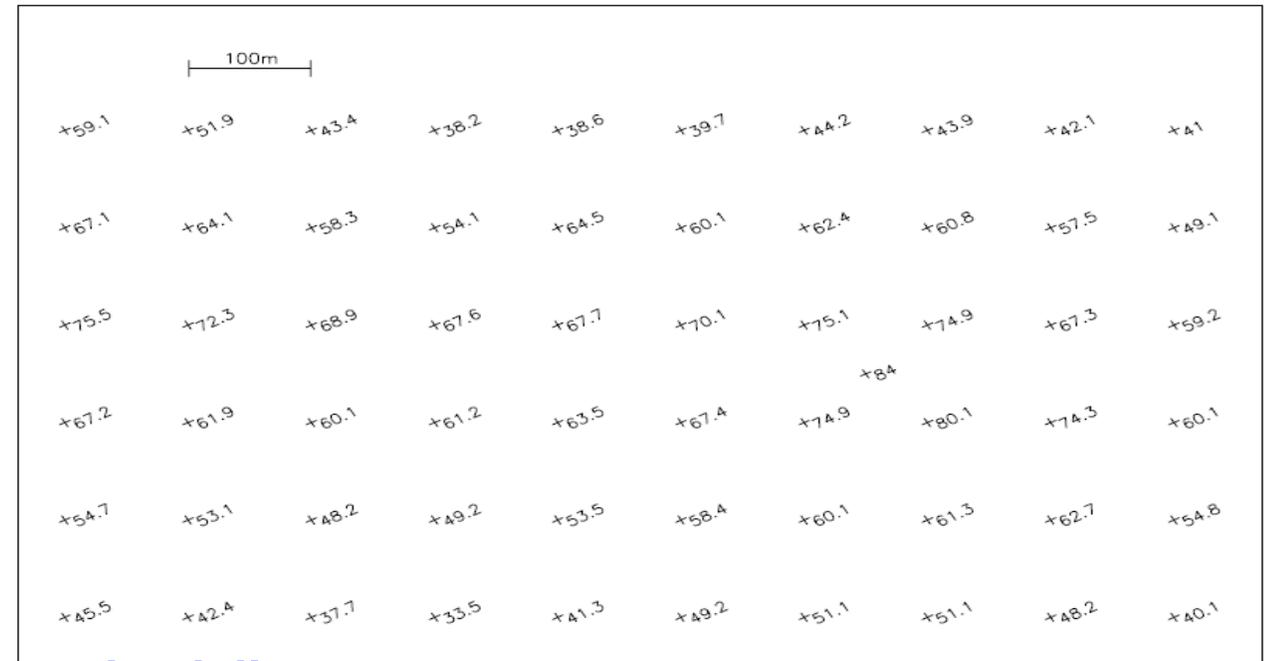
- ❖ **Étape (6) : Dimensionner les ouvrages d'assainissement :**
 - Délimitation des BV ;
 - Détermination des paramètres des modèles hydriques pour calculer les débits;
 - Calcul des sections (formules de Delorme).
- ❖ **Étape (7) : Dimensionnement de la structure de chaussée :**
 - Utilisation du catalogue de structure types des chaussées neuves (Cours de géotechnique routière);
- ❖ **Étape (8) : Estimation des quantités d'avant métré et ensuite le coût de projet :**

Travaux pratique

TP 1: Travail manuel et vérification sur ordinateur

Un levé topographique réalisé sur une zone montagneuse, dans le but de réaliser une route (hors catégorie) traversant cette zone. Pour le faire un levé topographique est établi. Les mesures exécutées sont représentées dans le plan cotés suivant :

1. Tracer les courbes de niveaux de 40 à 80, en adoptant un pas de 5 m;
2. Tracer un axe de projet en respectant les règles de choix de tracé en plan;
3. Dessiner le profil en long correspondant;
4. Dessiner les profils en travers (plate forme 6 m);

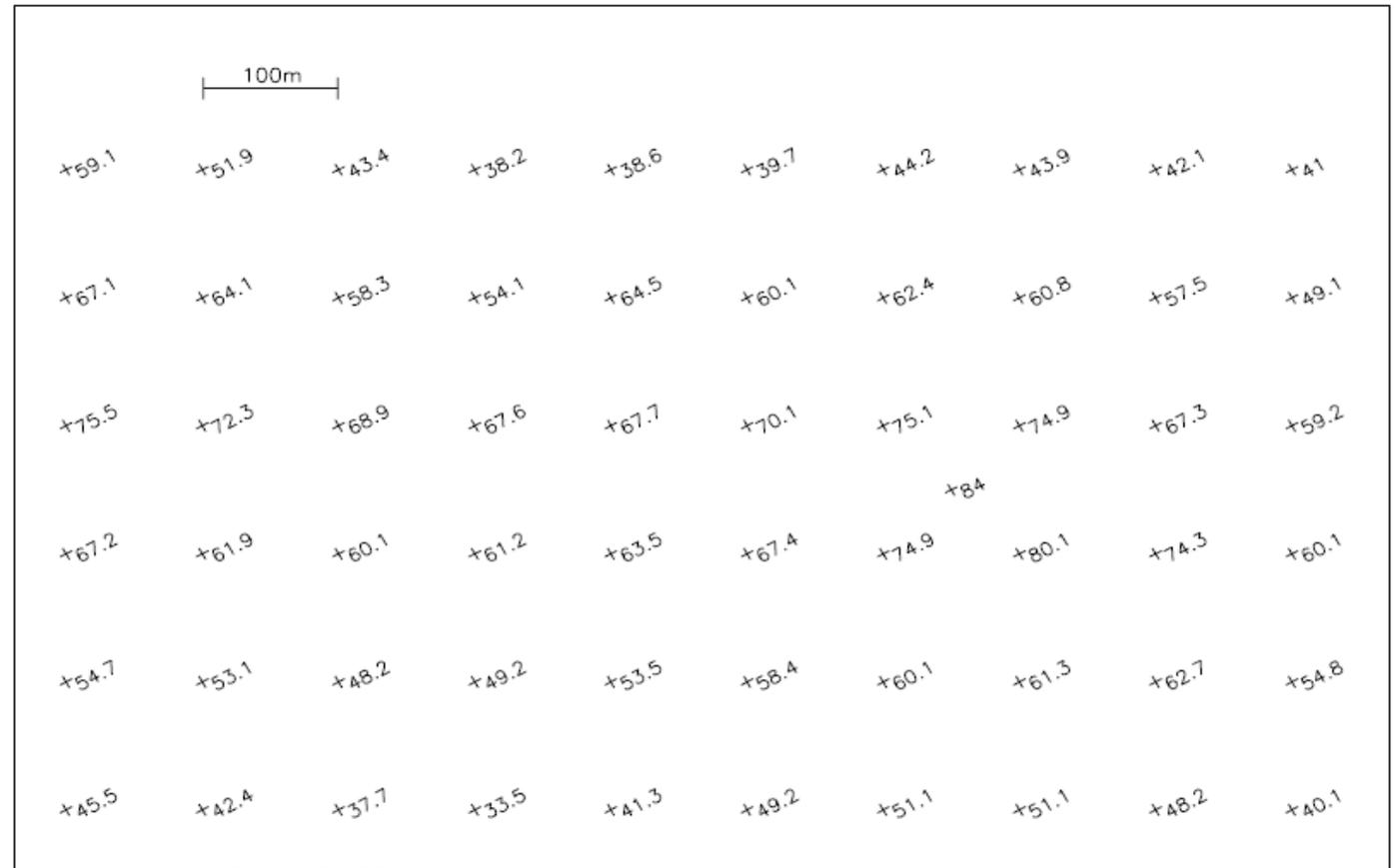


Travaux pratique

TP 1: Travail manuel et vérification sur ordinateur

4. Calculer les quantités de terrassement;
 5. Calculer les quantités des matériaux utilisés;
 6. Estimer le coût de réalisation de votre projet;
- A l'aide d'un logiciel de conception (Covadis ou piste) vérifier les calculs et justifier les écarts

→ Un rapport technique détaillait les différentes de projet;



Travaux pratique

Choix d'un tracé en plan

Exemple :

