

Département Génie Civil

**Polycopié des Travaux Dirigés**

**Intitulé du module : Route 1**

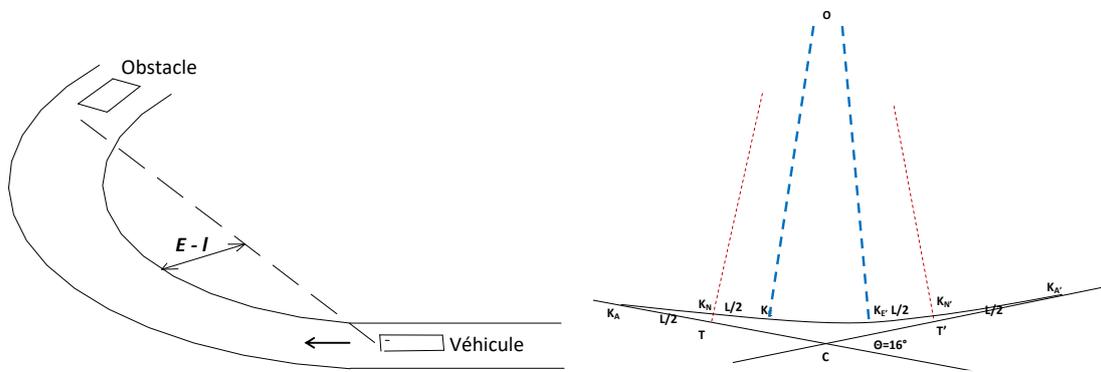
**Elaboré par :**

**Dr. B.K. BENZAOUZ, Maître de conférences -A-**

**Destiné aux étudiants de**

**Spécialité : Génie Civil**

**Niveau : cycle ingénieur**



|                       |                      |     |          |        |             |         |                       |      |           |      |
|-----------------------|----------------------|-----|----------|--------|-------------|---------|-----------------------|------|-----------|------|
| Cote du projet (m)    | 7.5                  | 15  | 10       | 6.42   | 5           | 3.6     | -5.2                  | -7   | -3.4      | 17   |
| Distance partiels (m) | 250                  | 250 | 250      | 178.73 | 71.27       | 1000    | 438.73                | 90   | 90        | 510  |
| Distance cumulée (m)  | 250                  | 500 | 750      | 928.73 | 1000        | 1071.27 | 1510                  | 1600 | 1690      | 2200 |
| Pentes et rampes      | Ramppe 3%            |     | R=10000m |        | Pente 2%    |         | R=3000m               |      | Ramppe 4% |      |
| AD et Courbes         | AD sur 928.73m + L/2 |     |          |        | R=RHN =460m |         | AD sur 1128.73m + L/2 |      |           |      |

Ministère de l'Enseignement  
Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي  
والبحوث العلمي

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

## Avant-propos

Ce polycopié intitulé « Routes 1 : Travaux Dirigés » est destiné aux étudiants universitaires de la filière de Génie Civil et de Travaux Publics. L'objectif de ce dernier est de proposer des exercices pour le calcul du tracé routier.

Ce polycopié fait l'objet du module de « Routes 1 » enseigné dans les universités algériennes selon le programme officiel du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique.

Ce polycopié comporte huit séries de Travaux Dirigés (TD) contenant des exercices avec leurs corrigés. La première série est consacrée à la détermination du niveau de service des routes. La deuxième série s'intéresse aux véhicules en mouvement qui basée à la détermination des différentes distances nécessaires pour étudier les caractéristiques des routes. Quant au tracé en plan -Inscription des véhicules dans un virage- est présenté dans la série n°3. Le tracé en plan – rayons horizontaux- sera l'objet de la quatrième série. La série numéro cinq traite des exercices sur « Tracé en plan : Raccordements progressifs ». La sixième et la septième série présentent « 1e Profil en long – raccordement vertical-» et « 1e Profil en long – Etude des profils-», respectivement. La dernière série s'articule autour du dernier élément géométrique qui le « Profil en travers ».

A travers ce polycopié, des exercices avec leurs corrigés détaillés sont proposés afin que l'étudiant puisse assimiler le contenu de chaque chapitre. Ces exercices ont été présentés durant les séances des travaux dirigés et autres examens d'évaluation. Pour aller plus loin, d'autres exercices non corrigés ont été également présentés afin que l'étudiant puisse les résoudre.



## Sommaire

|  |    |
|--|----|
| Série de TD № 01 (Niveau de service de routes) .....   | 9  |
| Exercice 1 : .....                                     | 9  |
| Exercice 2 : .....                                     | 9  |
| Exercice 3 : .....                                     | 10 |
| Solution série n°1 (Niveau de service de routes) ..... | 11 |
| Corrigé de l'exercice 1 : .....                        | 11 |
| Corrigé de l'exercice 2 : .....                        | 11 |
| Corrigé de l'exercice 3 : .....                        | 12 |
| Série de TD № 02 (Véhicules en mouvement) .....        | 15 |
| Exercice 1 : .....                                     | 15 |
| Exercices 2 : .....                                    | 15 |
| Exercice 3 : .....                                     | 16 |
| Exercice 4 : .....                                     | 16 |
| Exercice 5 : .....                                     | 16 |
| Exercice 6 : .....                                     | 17 |
| Exercice 7 : .....                                     | 17 |
| Exercice 8 : .....                                     | 17 |
| Exercice 9 : .....                                     | 17 |
| Exercices non résolus de la série TD 3 : .....         | 18 |
| Exercice : .....                                       | 18 |
| Exercice : .....                                       | 18 |
| Solution série n°2 (Véhicules en mouvement) .....      | 19 |
| Corrigé de l'exercice 1 : .....                        | 19 |
| Corrigé de l'exercice 2 : .....                        | 21 |
| Corrigé de l'exercice 3 : .....                        | 22 |
| Corrigé de l'exercice 4 : .....                        | 22 |
| Corrigé de l'exercice 5 : .....                        | 23 |
| Corrigé de l'exercice 6 : .....                        | 24 |
| Corrigé de l'exercice 7 : .....                        | 24 |
| Corrigé de l'exercice 8 : .....                        | 24 |
| Corrigé de l'exercice 9 : .....                        | 25 |



|   |    |
|---|----|
| Série de TD № 03 (Inscription de véhicule dans un virage) .....   | 27 |
| Exercice 1 : .....  | 27 |
| Exercice 2 : .....  | 28 |
| Exercice 3 : .....  | 28 |
| Solution série n°3 (Inscription de véhicule dans un virage) ..... | 29 |
| Corrigé de l'exercice 1 : .....                                   | 29 |
| Corrigé de l'exercice 2 : .....                                   | 29 |
| Corrigé de l'exercice 3 : .....                                   | 30 |
| Série de TD № 04 (Rayons Horizontaux) .....                       | 32 |
| Exercice 1 : .....  | 32 |
| Exercice 2 : .....  | 32 |
| Exercice 3 : .....  | 33 |
| Exercice 4 : .....  | 33 |
| Exercice 5 : .....  | 33 |
| Exercice 6 : .....  | 33 |
| Exercice 7 : .....  | 34 |
| Exercice 8 : .....  | 34 |
| Exercices à résoudre de la série TD 4 : .....                     | 35 |
| Exercice: .....   | 35 |
| Exercice : .....  | 35 |
| Exercice : .....  | 35 |
| Exercice : .....  | 36 |
| Solution Série de TD № 04 (Rayons Horizontaux) .....              | 37 |
| Corrigé de l'exercice 1 : .....                                   | 37 |
| Corrigé de l'exercice 2: .....                                    | 37 |
| Corrigé de l'exercice 3 : .....                                   | 38 |
| Corrigé de l'exercice 4 : .....                                   | 38 |
| Corrigé de l'exercice 5 : .....                                   | 39 |
| Corrigé de l'exercice 6 : .....                                   | 40 |
| Corrigé de l'exercice 7 : .....                                   | 42 |
| Corrigé de l'exercice 8 : .....                                   | 43 |
| Série de TD № 05 (Raccordements progressifs) .....                | 45 |
| Exercice 1 : .....  | 45 |

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

|  |    |
|--|----|
| Exercice 2 : cas de chevauchement .....                                  | 45 |
| Exercice 3 : .....   | 45 |
| Partie 1 : .....   | 46 |
| Partie 2 : Point Obligé.....   | 46 |
| Exercice 4 : .....   | 47 |
| Exercice 5 : .....   | 47 |
| Exercices à résoudre de la série TD 5 : .....                            | 48 |
| Exercice : .....   | 48 |
| Exercice : .....   | 48 |
| Solution Série de TD № 05 (Raccordements progressifs) .....              | 49 |
| Corrigé de l'exercice 1 : .....  | 49 |
| Corrigé de l'exercice 2 : .....  | 50 |
| Corrigé de l'exercice 3 : .....  | 52 |
| Corrigé de l'exercice 4 : .....  | 57 |
| Corrigé de l'exercice 5 : .....  | 59 |
| Série de TD № 06 (profil en long- raccordement vertical-).....           | 61 |
| Exercice 1 : .....   | 61 |
| Exercice 2 : .....   | 61 |
| Exercice 3 : .....   | 62 |
| Exercice 4 : .....   | 63 |
| Exercice 5 : .....   | 63 |
| Exercices non résolus de la série TD 6 : .....                           | 64 |
| Exercice : .....   | 64 |
| Solution Série de TD № 06 (profil en long- raccordement vertical-) ..... | 65 |
| Corrigé de l'exercice 1: .....   | 65 |
| Corrigé de l'exercice 2 : .....  | 68 |
| Corrigé de l'exercice 3: .....   | 69 |
| Corrigé de l'exercice 4: .....   | 69 |
| Corrigé de l'exercice 5 : .....  | 71 |
| Série de TD № 07 (Profil en long – Etude des profils -).....             | 73 |
| Exercice 1 : .....   | 73 |
| Exercice 2 : .....   | 74 |
| Exercice 3 : .....   | 75 |

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

|   |     |
|---|-----|
| Exercice 4:.....  | 76  |
| Exercices non résolus de la série TD 7 :.....                         | 78  |
| Exercice :.....   | 78  |
| Solution Série de TD № 07 (Profil en long – Etude des profils -)..... | 79  |
| Corrigé Exercice 1 :.....   | 79  |
| Corrigé Exercice 2 :.....   | 80  |
| Corrigé Exercice 3 :.....   | 84  |
| Corrigé Exercice 4 :.....   | 92  |
| Série de TD № 08 (profil en travers) .....                            | 94  |
| Exercice 1 :.....   | 94  |
| Exercice 2 :.....   | 94  |
| Solution de la série de TD № 08 (profil en travers).....              | 96  |
| Corrigé de l'exercice 1 :.....  | 96  |
| Corrigé de l'exercice 2 :.....  | 97  |
| Exercices non résolus de la série TD 8 :.....                         | 100 |
| Exercice :.....   | 100 |

# **Série de TD N° 01**

## **Niveau de service de routes**

## Série de TD № 01 (Niveau de service de routes)

La caractérisation du niveau de service d'une route d'une telle catégorie ( $C_i$ ) et tel environnement ( $E_j$ ) se fait par le respect de seuils relatifs aux critères suivants à savoir la vitesse du véhicule, les paramètres fondamentaux du comportement de l'utilisateur, les paramètres caractéristiques de la dynamique des véhicules), citées dans les normes Algériennes « Etude générales techniques et économiques des aménagements routiers : B40- Niveaux de service et normes », direction des études générales et de la réglementation technique, Ministère des Travaux Publics.

### **Exercice 1 :**

Soit un tronçon routier de 11Km. En profil en long, le tracé présente les déclivités suivantes

$P_i$  : 4%, 5.5%, 6.5%, 5% et 6%.

Sachant que la distance entre les sommets des déclivités est 250m, classer le relief.

### **Exercice 2 :**

Soit un tronçon routier de 12Km constitué en plan d'une série de rayons suivants :

$R_1=120$  m ( $\alpha_1=100^\circ$ ),  $R_2=155$  m ( $\alpha_2=130^\circ$ ),  $R_3=180$  m ( $\alpha_3=180^\circ$ ),  $R_4=280$  m ( $\alpha_4=260^\circ$ ),

$R_5=600$  m ( $\alpha_5=300^\circ$ ).

Les  $\alpha_i$  sont les angles au centre relatif à chacun des rayons en plan. Ce tracé présente une dénivelée moyenne de 2.6%.

Déterminer l'environnement de la route.

L'environnement de la route est classé en fonction du relief et de la sinuosité comme le montre le tableau suivant :

| Sinuosité \ Relief | Faible        | Moyenne | Forte         |
|--------------------|---------------|---------|---------------|
| Plat               | E1            | E2      | <del>E3</del> |
| Vallonné           | E2            | E2      | E3            |
| Montagneux         | <del>E1</del> | E3      | E3            |

### Exercice 3 :

Donnez la définition des itinéraires de l'Algérie selon leur classement en cinq catégories fonctionnelles comme rapporté dans les normes techniques d'aménagement des routes ?

## Solution série n°1 (Niveau de service de routes)

### Corrigé de l'exercice 1 :

Classification du relief se fait par la formule suivante :

$$D.C.M = \frac{h}{L} = \frac{\sum \text{Dénivelées successives}}{\text{La longueur totale de l'itinéraire}}$$

$$DCM = 250(5+5.5+6.5+5+6)/11000 = 0.62\%$$

On trouve que :  $DMC = 0.62 < 1.5 \%$

On a un « Relief plat ».

### Corrigé de l'exercice 2 :

Pour déterminer l'environnement, on doit, d'abord, faire la classification de la dénivelée moyenne et du relief.

1-Classification de la dénivelée moyenne se fait par la formule suivante :

$$\sigma = \frac{l_s}{L} = \frac{\text{La longueur cumulée des courbes de rayon en plan } \leq 200\text{m}}{\text{La longueur totale de l'itinéraire}}$$

$$\sigma = \frac{l_s}{L} = \frac{\sum R_i \cdot \alpha_i}{L} = \frac{(120 \cdot 100^\circ + 155 \cdot 130^\circ + 180 \cdot 180^\circ) \cdot \frac{\pi}{180}}{12000} = 0.094$$

On trouve que :  $\sigma = 0.094 < 0.1$

C'est le cas « d'une sinuosité faible ».

2-Classification du relief :

Cas1 :  $DMC=2.6\%$  correspond à un relief vallonné

Cas2 :  $DMC=1\%$  correspond à un relief Plat

3-Pour déterminer l'environnement : selon tabII.3

|          | Sinuosité | Faible |
|----------|-----------|--------|
| Relief   |           |        |
| Plat     |           | E1     |
| Vallonné |           | E2     |

L'environnement du cas1 est E2 et L'environnement du cas2 est E1.

### Corrigé de l'exercice 3 :

La définition des itinéraires de l'Algérie selon leur classement en cinq catégories fonctionnelles :

#### **Catégorie 1 (Cat. 1)**

Liaisons entre les grands centres économiques et :

- Les centres d'industrie lourde

- Les centres d'industrie de transformation sur ce réseau.

### **Catégorie 2 (Cat. 2)**

- Liaison entre les centres d'industrie de transformation.

- liaison assurant le rabattement des pôles d'industries légères diversifiées sur le réseau précédent de catégorie 1.

### **Catégorie 3 (Cat. 3)**

Liaisons des chefs-lieux de daïra et de wilaya non desservis par le réseau précédent, avec le réseau des catégories 1 et 2.

### **Catégorie 4 (Cat. 4)**

Liaisons des centres de vie avec le réseau 1 à 3.

### **Catégorie 5 (Cat. 5)**

Routes et pistes non comprises dans les catégories précédentes.

# Série de TD № 02

## Véhicules en mouvement

## Série de TD № 02 (Véhicules en mouvement)

Afin d'étudier les caractéristiques des routes (tels que les distances de freinage, d'arrêt, de sécurité, de dépassement et de visibilité), il faut comprendre le comportement des véhicules en mouvement qui est fortement lié au comportement psychologique et physiologique du conducteur lui-même.

### **Exercice 1 :**

Soit un véhicule roulant à la vitesse  $V(km/h)$

On suppose que le poids du véhicule se repartit équitablement sur les essieux.

Déterminer la distance de freinage  $d_f = f(V(km/h), f_L)$  lorsque le freinage se fait ;

- 1- sur un palier ( $i=0$ )
- 2- sur une pente  $i$

### **Exercices 2 :**

Pour une route  $V_r=100 km/h$ , on considèrera les 3 cas suivants :

- 1- le terrain plat
- 2- pente de 3%
- 3- rampe de 1%.

Calculer la distance d'arrêt d'un véhicule roulant sur cette route ? Prenant en considération les conditions d'adhérence suivantes :

|                | Conditions d'adhésion sont normales | Conditions d'adhésion sont mauvaises |                    |
|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| V              | 100                                 | Chaussée de faible adhésion          | Chaussée verglacée |
| f <sub>L</sub> | 0.36                                | ≈0.1                                 | ≈0.05              |

### **Exercice 3 :**

Calculer la distance d'arrêt ( $d_a$ ) pour une vitesse de référence de 120 km/h, la pente  $i=4\%$ .

Calculer la distance d'arrêt ( $d_a$ ) pour une vitesse de référence de 60 km/h, la pente  $i=4\%$ .

Que conclure ? On utilise la valeur moyenne de  $f_L$ .

### **Exercice 4 :**

Soit deux véhicules A et B roulent à la même vitesse de 85 km/h. Quelle est la distance de sécurité  $d$  entre les deux véhicules pour que le premier freinant sec le second puisse s'arrêter sans collision.

### **Exercice 5:**

Etudier le débit horaire d'une file continue de ( $n$ ) voitures légères qui circulent sur une même voie, à la même vitesse  $V$ (km/h) et aux intervalles égaux.

- 1- Donner la distance,  $d$ , entre deux véhicules.
- 2- Déterminer graphiquement le débit maximum (la capacité)
- 3- Pourquoi le débit a diminué après avoir atteint la vitesse correspondant au débit-max ?

### **Exercice 6:**

La voiture « A » roule à la vitesse 80 km/h, la voiture « B » roule à la vitesse 55 km/h. La route est à deux sens. A 180 m il y a un obstacle à gauche.

Est-ce que la voiture « A » a le temps d'exercer un dépassement.

### **Exercice 7:**

Que se passera-t-il si deux véhicules A et B roulent dans la même direction à la même vitesse  $V=90$  km/h sachant que la distance entre les deux égal à 45m et le premier freinant sec ?

Pourquoi ?

### **Exercice 8 :**

Soit une route qui dispose d'une distance de visibilité de 300m :

- 1- Calculer la  $dMd$ , la  $dn$  et la  $dm$  pour un véhicule roulant à 80 Km/h.
- 2- Cette distance de visibilité est-elle nécessaire pour tracer une ligne discontinue ?

### **Exercice 9 :**

Schématiser les 3 lignes au milieu de la chaussée (marquages) liées aux distances de visibilité.

### **Exercices non résolus de la série TD 3 :**

#### **Exercice :**

Le conducteur de la voiture « A » roulant à la vitesse 60 km/h désire dépasser la voiture « B » qui roule à la vitesse 40 km/h. La route est à deux sens. A 180 m il y a un obstacle à gauche. Est-ce qu'on peut dire dans ce cas-là ?

#### **Exercice :**

1- Donner la définition des distances suivantes :

$df$ ,  $da$ ,  $dMd$ ,  $dn$  et  $dm$

2- Soit une route qui dispose d'une distance de visibilité de 500m :

Calculer la  $dMd$ , la  $dn$  et la  $dm$  pour un véhicule roulant à 100 Km/h.

## Solution série n°2 (Véhicules en mouvement)

### Corrigé de l'exercice 1 :

Les deux illustrations suivantes montrent les situations pour un terrain plat ( $i=0$ ) ou en pente

(i) :

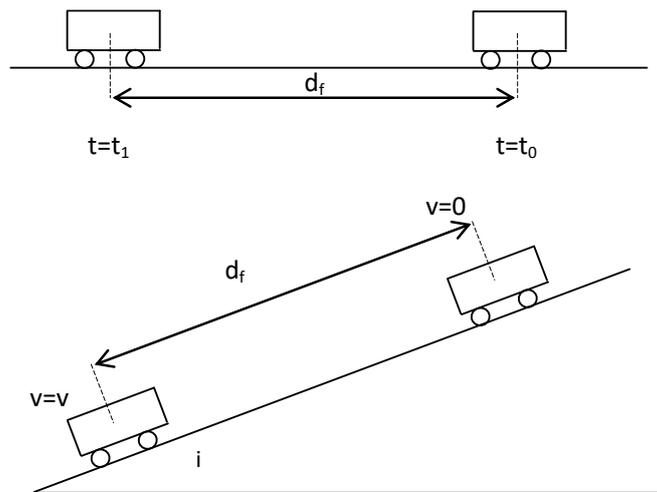
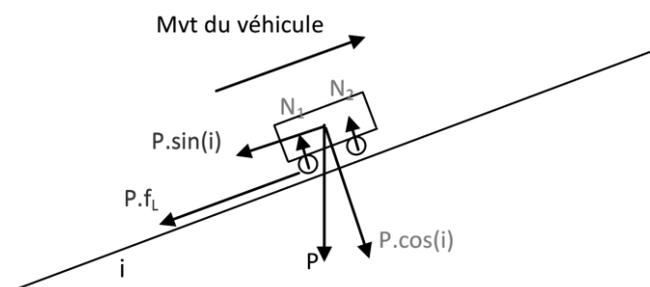


Figure. Distance de freinage d'un véhicule

A partir de l'énergie cinétique développée par le véhicule pendant le freinage, on aura :

$$\Delta_{AB} E_C = \sum W_{AB}(\bar{F}) = \sum \bar{F}_{AB} * d$$

Les forces qui agissent sur un véhicule sont :



Après développement :

$$\frac{1}{2}m(0^2 - v^2) = -Pd_f(f_L \pm \sin(i)) \quad \text{avec } i \text{ petit} \Rightarrow \sin(i) = i$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2}v^2 = g(f_L \pm i) * d_f$$

Le signe (+) correspond que le véhicule est en montée et le signe (-) montre à une composante défavorable au freinage (descente).

$$\text{Finalement on obtient : } d_f(m) = \frac{V^2(Km/h)}{254(f_L \pm i)}$$

- En palier :  $i=0$

$$\Rightarrow d_f = \frac{v^2(Km/h)}{254f_L}$$

- En rampe (montée)

$$\Rightarrow d_f = \frac{v^2(Km/h)}{254(f_L + i)}$$

- En pente (descente)

$$\Rightarrow d_f = \frac{v^2(Km/h)}{254(f_L - i)}$$

## Corrigé de l'exercice 2 :

Avec  $V_r=100$  km/h, la distance d'arrêt qui sera utilisé est donnée comme suit :

$$t = d_f(m) + 0.5 * V \quad \text{avec } V(Km/h) = 100 \quad \text{et pour } V > 80 \text{ Km/h}$$

$$t = \frac{V^2(Km/h)}{254(f_L \pm i)} + 0.5 * V = \frac{100^2}{254(f_L \pm i)} + 50$$

Les distances d'arrêt sont calculées dans le tableau suivant :

|         | Conditions d'adhésion sont normales | Conditions d'adhésion sont mauvaises |                    |
|---------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| V       | 100 km                              | Chaussée de faible adhésion          | Chaussée verglacée |
| $f_L$   | 0.36                                | $\approx 0.1$                        | $\approx 0.05$     |
|         | Distances d'arrêt                   |                                      |                    |
| $i=0$   | 159.36m                             | 443.7m                               | 837m               |
| $i=3\%$ | 169.3m                              | 612m                                 | 2018m              |
| $i=1\%$ | 156.3m                              | 407m                                 | 706m               |

Dans le cas des grandes distances d'arrêt, la fermeture des routes est obligatoire.

### Corrigé de l'exercice 3 :

On a  $f_l=0.4$  car il n'a pas spécifié la catégorie

$$1- da = df + V * t = \frac{V^2(Km/H)}{254(f_L-i)} + 0.50 * V\left(\frac{km}{H}\right)$$

$$da = \frac{120^2}{254(0.4 - 0.04)} + 0.50 * 120$$

$$= 217.5m$$

$$2- da = df + V * t = \frac{V^2(Km/H)}{254(f_L-i)} + 0.55 * V\left(\frac{km}{H}\right)$$

$$da = \frac{60^2}{254(0.4 - 0.07)} + 0.55 * 60$$

$$= 76m$$

### Corrigé de l'exercice 4 :

La distance de sécurité recherchée dans ce cas-là, peut être calculée par deux méthodes :

#### **Méthode 1 :**

$$ds = 0.003*(85)^2 + 0.2*(85) + 8 = 46.67m$$

#### **Méthode 2 :**

$$ds = 2 v(m/s) = 0.55 v(km/h) = 0.55*85 = 46.75m$$

## Corrigé de l'exercice 5 :

1- La distance,  $d$ , entre deux véhicules est :

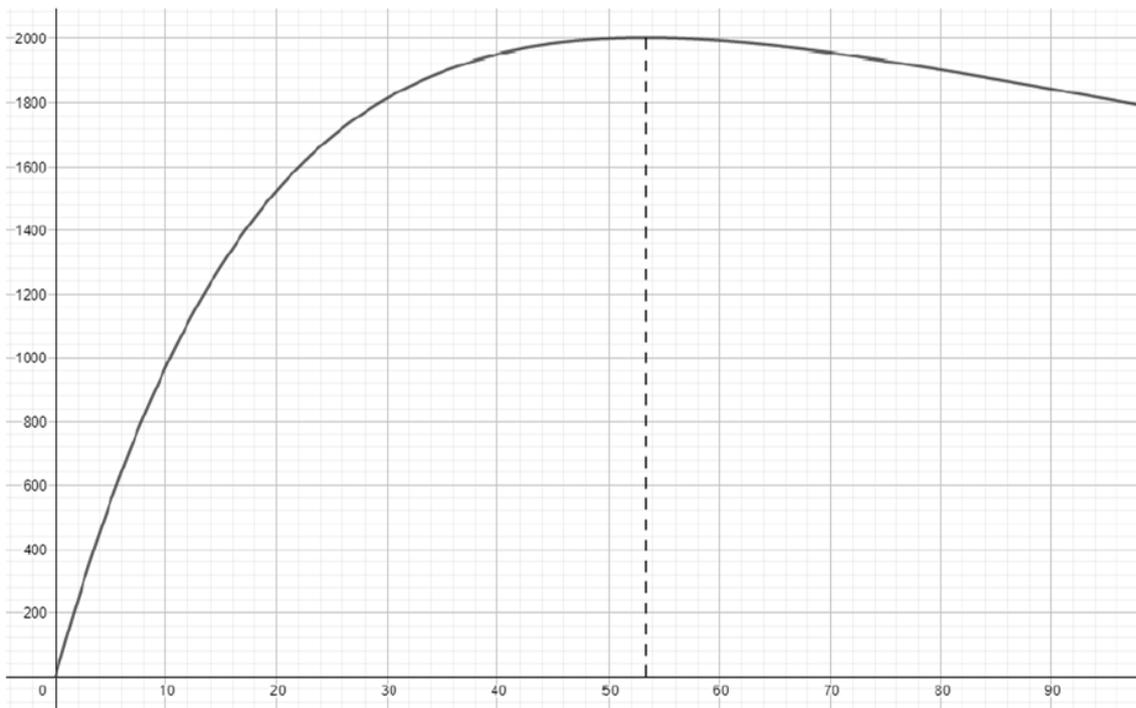
$$d_s = 8 + 0.2V + \frac{V^2}{335}$$

2- Le débit maximum (la capacité) Graphiquement :

La formule du débit,  $Q$ , en fonction de  $V$

$$Q = \frac{3600 * 1 \text{ véh}}{\frac{ds}{v}} = \frac{3600 * v}{\frac{ds}{v}} = \frac{3600 * v^2}{ds} = \frac{1000 * V}{ds} \text{ avec } V \text{ en km/h.}$$

Graphiquement, la courbe de variation du débit en fonction de la vitesse est représentée dans la figure ci-dessous : on peut lire la même valeur du débit est 1998  $V/v/h$ .



### Corrigé de l'exercice 6:

Le temps pour exécuter le dépassement

$$t = \frac{d_1 + d_2 + l + L}{v_1 - v_2} = \frac{30 + 30}{22.22 - 15.27} = \frac{60}{5.56} = 10.79s$$

Calculant E :

$$E = v_1 t = 22.22 * 10.79 = 192m$$

Ou « sans convertir l'unité de la vitesse » :

239m > 180m, Non la voiture A n'a pas le temps pour exercer le dépassement,

### Corrigé de l'exercice 7 :

Détermination de la distance de sécurité :

$$ds = 0.003 * (90)^2 + 0.2 * (90) + 8 = 50.3m ;$$

Une très forte probable collision.

### Corrigé de l'exercice 8 :

1- Calcul dMd, dn, dm :

$$dMd = \frac{60v}{\Delta v} = \frac{60 * 80}{20} = 240 m$$

Pour  $V < 90 \text{ km/h} \rightarrow dm = 4.V = 320 m$  et  $dn = 6.V = 480 m$

2- Distance de visibilité :

$$dMd = 240 < 300 < dm = 320 \rightarrow \text{on trace ligne discontinue avec rabattement.}$$

## Corrigé de l'exercice 9:

Signalisations horizontales liées à la distance de visibilité :

Ligne continue



Ligne discontinue avec  
des flèches de  
rabattement



Ligne discontinue



# **Série de TD № 03**

## **Tracé en plan : Inscription de véhicule dans un virage**

## Série de TD № 03 (Inscription de véhicule dans un virage)

Un virage est composé essentiellement d'un raccordement progressif et d'un arc de cercle de rayon  $R$ . Ce dernier dépend de :

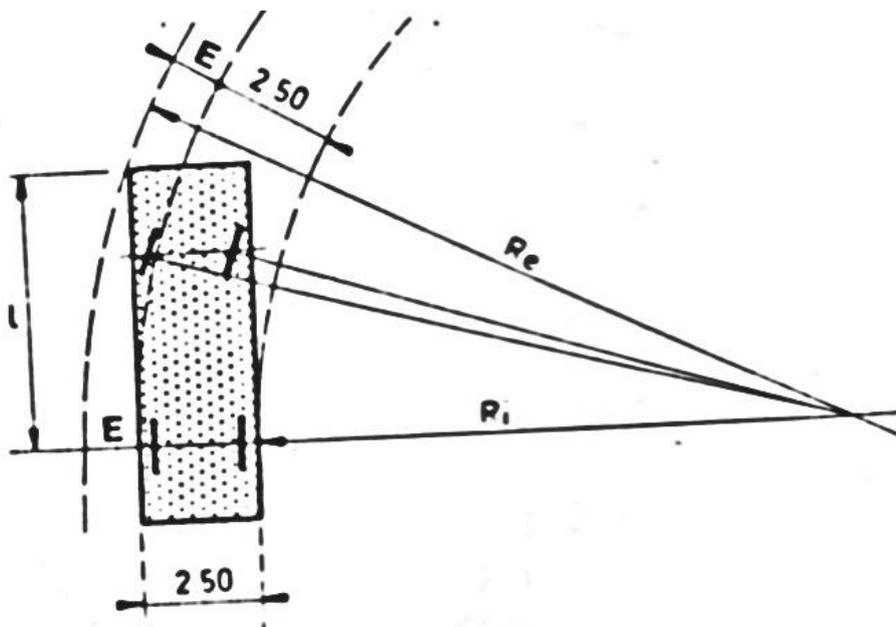
- Une surlargeur qui doit être prévu pour un virage en courbe à faible rayon horizontal.
- Une visibilité en courbe qui est la visibilité manquée dans une sinuosité.
- Une stabilité afin d'éviter le drapage du véhicule sous l'effet de l'accélération centrifuge.

### Exercice 1 :

Soit des véhicules de chantier qui circule sur une route souvent d'une largeur de 7 m.

Soit, la longueur en moyenne de ces véhicules est donnée de 13 m.

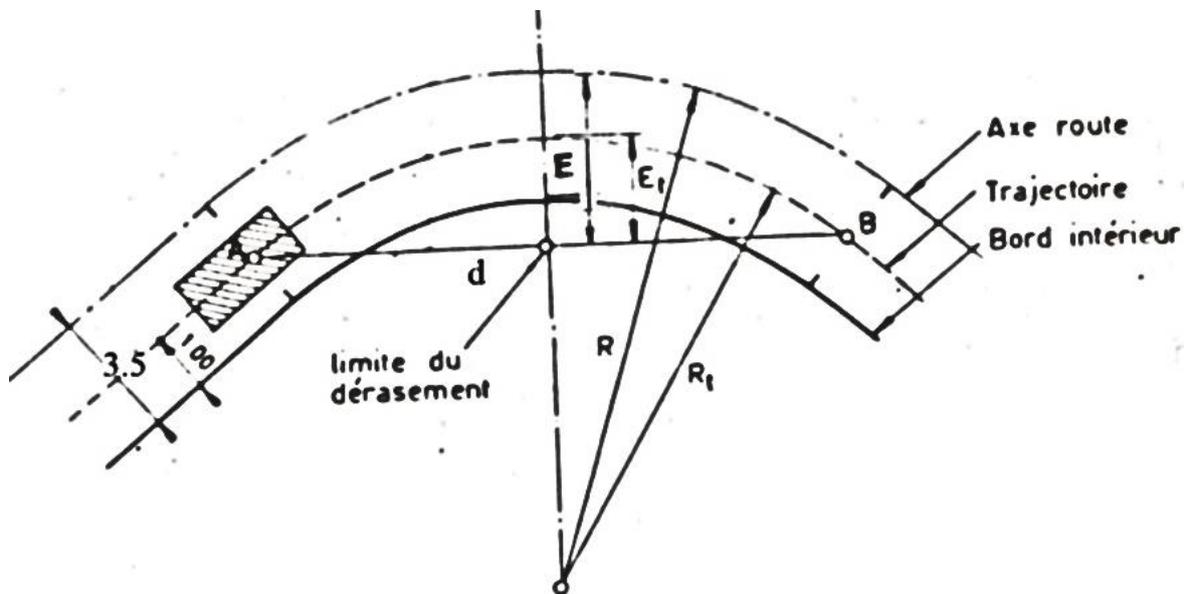
Trouver la nouvelle largeur afin faciliter l'inscription de ce type de véhicules le long d'un rayon en plan de 155 m.



## Exercice 2 :

Calculer la largeur à dégraser « E-l » le long d'un tronçon circulaire. Le de rayon de ce dernier est 175 m.

La route est unidirectionnelle de 7 m de largeur. Elle est caractérisée par une vitesse de référence  $V_r = 50$  km/h et Cat1 ; Env.2.  $d$  : longueur de visibilité =  $d_a$  (Distance d'arrêt en courbe)



## Exercice 3 :

- 1- Quelle serait la largeur de chaussée à prévoir pour un virage dans une route de 3.5m de large fréquentée par des camions de 12 m de longueur. Le rayon horizontal du virage égale 165 m.
- 2- Idem mais pour un rayon de 100m, une route de 7m de largeur et des véhicules longs de 12 m de longueur.

## Solution série n°3 (Inscription de véhicule dans un virage)

### Corrigé de l'exercice 1 :

La largeur de la chaussée à prévoir sera déterminée en calculant la surlargeur de part et d'autre

de la route par la formule suivante :  $s = \frac{L^2}{2R}$ .

Avec  $L=13\text{m}$  et  $R=155\text{ m}$  ; On obtient :  $s = 0.55\text{m}$

La largeur de la chaussée à prévoir est de :

$$7 + 2*s = 7 + 2*0.55 = 8.1\text{ m.}$$

### Corrigé de l'exercice 2 :

La formule de calcul :

$$E = E_t + 2.5 = \frac{d^2}{8R_t} + 2.5$$

$$\text{et le rayon : } R_t = R - 2.5 = 172.5\text{m}$$

- La distance d'arrêt en courbe est donnée par:

avec  $i=0$  (terrain plat)

$$\text{Comme : } R = 175 \leq 5*V = 250 \Rightarrow d_2 = 1.25d_f + 0.556*V_r$$

$$d_2 = 1.25d_f + 0.556*V_r = 1.25*\frac{50^2}{254*0.435} + 0.556*50 = 56.08\text{m}$$

- Calcul de E:

$$E = E_t + 2.5 = \frac{56.08^2}{8 * 172.5} + 2.5 = 4.77m$$

Donc E=7.77 m (dérasement par rapport à l'axe).

- La largeur à déraser égale à « E - l » :

l=3.5m la largeur de la voie de circulation ;

La largeur réelle à déraser est : E-3.5= **1.28 m**.

### **Corrigé de l'exercice 3 :**

1- cas n°1 :

La largeur de la chaussée à prévoir est de  $3.5 + s = 3.5 + 0.44 = 3.94$  m.

2- cas n°1 :

La largeur de la chaussée à prévoir est de  $7 + 2*s = 7 + 2*0.55 = 8.1$  m.

**Série de TD № 04**  
**(Tracé en plan :**  
**Rayons Horizontaux)**

## Série de TD № 04 (Rayons Horizontaux)

Le rayon horizontal garantit la stabilité d'un véhicule dans un virage à la vitesse de référence lorsqu'il est associé au devers. Il existe quatre rayons horizontaux remarquables qui sont :

- Rayon minimum absolu (RHm)
- Rayon minimum normal (RHN)
- Rayon au devers minimum (RHd)
- Rayon minimal non déversé (RHnd)

### Exercice 1 :

Soit une route de **Cat2 et Env.1**. On doit réaliser un virage pour relier deux alignements droits d'un tronçon routier caractérisé par une vitesse de référence **V<sub>r</sub>**.

- a- Donner le dévers à ce tronçon routier et le coefficient de frottement transversal pour les vitesses suivantes :
  - V<sub>r</sub> = 60 Km/h    -V<sub>r</sub> = 75 Km/h    -V<sub>r</sub> = 87 Km/h
- b- Calculer la valeur minimale du rayon admise pour ce virage.

### Exercice 2 :

Soit une route **Cat1 ; Env.2**. On doit réaliser un virage pour relier deux alignements droits d'un tronçon routier caractérisé par une vitesse de référence **V<sub>r</sub> = 100 km/h**.

- a- Donner le devers pour ce tronçon routier et le coefficient de frottement transversal ;
- b- Déterminer la valeur minimale du rayon admise pour ce virage.

### **Exercice 3 :**

Soit une route **Cat1 ; Env.2**. On doit réaliser un virage pour relier deux alignements droits d'un tronçon routier caractérisé par une vitesse de référence  **$V_r = 90 \text{ km/h}$** .

- a- Calculer  $R_{Hm}$ ,  $R_{HN}$ , donner les devers correspondants
- b- Donner le devers correspondant à  $R=700\text{m}$  (travailler avec des valeurs calculées)

### **Exercice 4 :**

Vérifier l'état de situation d'un virage en arc de cercle de rayon horizontal de 240 m et d'un devers de 7% dans d'un tronçon de route de Cat1 caractérisé par une vitesse de référence  $V_r = 90 \text{ km/h}$ . Proposer les solutions possibles.

### **Exercice 5 :**

Soit une route de Cat3 ; Env 3 ;  $V_r=60 \text{ km/h}$ .

- 1- Calculer les 4 rayons remarquables  $R_{hm}$ ,  $R_{HN}$ ,  $R_{hd}$ ,  $R_{hnd}$  et leurs devers.
- 2- Calculer, par interpolation linéaire en  $1/R$ , le devers correspondant à :
  - a)  $R_1=180\text{m}$
  - b)  $R_2=360\text{m}$
  - c)  $R_3=600\text{m}$
  - d)  $R_4=800\text{m}$ .

### **Exercice 6 :**

- 1- Tracer la variation des rayons de courbure en fonction de du dévers  $d$  pour l'environnement 1 et catégorie 1/2.
- 2- Tracer la variation du rayon minimal absolu ( $R_{Hm}$ ) en fonction de la vitesse pour l'environnement 1 et catégorie 1/2.

### **Exercice 7 :**

Route Cat1 ; Env 2 ;  $V_r=60$  km/h

3- Calculer RHM, RHN, donner les devers correspondants à partir des catalogues.

4- Donner le devers correspondant à :

- R=200m      - R=300m      - R=600m

### **Exercice 8 :**

Dessiner les coupes transversales de la chaussée en plein virage pour les 4 types de rayons remarquables.

## Exercices à résoudre de la série TD 4 :

### Exercice:

Soit une route de **Cat2 et Env.1**. On doit réaliser un virage pour relier deux alignements droits d'un tronçon routier caractérisé par une vitesse de référence  **$V_r=100\text{Km/h}$** .

- a- Calculer  $R_{Hm}$ ,  $R_{HN}$ ,  $R_{Hd}$  et  $R_{Hnd}$ .
- b- Donner les dévers correspondants.

### Exercice :

Soit une route de Cat2 ; Env 2 ;  $V_r=80 \text{ km/h}$

- 1- Calculer les quatre rayons remarquables en utilisant leurs formules de définition, donner les dévers correspondants
- 2- Donner le dévers correspondant à :
  - b)  $R=300\text{m}$     b)  $R=500\text{m}$     c)  $R=1200\text{m}$     d)  $R=1500\text{m}$

Dessiner la coupe transversale de la chaussée pour chaque valeur de Rayon,  $R$ .

### Exercice :

Quelle serait la valeur minimale du rayon à donner à un arc de cercle après un long alignement droit de 600m situé dans un tracé caractérisé par (Cat3-E2- $V_r=85\text{Km/h}$ ).

## Exercice :

Soit une route en chaussée séparée de largeur 7m chacune, caractérisée par une vitesse de référence  $V_r=100\text{km/h}$ , d'une longueur de 17 km et de catégorie 1.

La longueur totale des sinus (les rayons sont inférieurs à 200m) est de 2.2 km et qui présente un relief plat.

- 1- Après avoir trouvé l'environnement de la route, quelle serait la largeur de chaussée à prévoir le long du tracé total si on vous donne quelques informations pour certains rayons dont les rayons sont inférieurs à 200m,  $R_1=160\text{m}$  et  $R_2=170\text{m}$  ? On prend  $L=11\text{m}$ , la longueur véhicule le plus long qui fréquente cette route ?
- 2- Donner les caractéristiques du couples  $(R,d)$  d'une section du tracé constituée de deux virages  $>$  à 200m : un rayon  $R_3=R_{Hnd}$  et un autre  $R_4= 900\text{m}$ .
- 3- Calculer la distance d'arrêt dans les deux rayons suivants  $R=R_5=450\text{m}$  et  $R=R_3$ .  
Avec  $i=0$ .

## Solution Série de TD № 04 (Rayons Horizontaux)

### Corrigé de l'exercice 1 :

A/ Le divers à ce tronçon routier et le coefficient de frottement :

$$V_r = 60 \text{ KM/H} \rightarrow D_{\max} = 7\% ; f_t = 0.16$$

$$V_r = 75 \text{ KM/H} \rightarrow D_{\max} = 7\% ; F_t = (F(70) + F(80))/2 = 0.135$$

$$V_r = 87 \text{ KM/H} \rightarrow D_{\max} = 7\% ; F_t = 0.117$$

B/ La valeur minimale du rayon admise pour ce virage :

on a :

$$RH_m = V_r^2 / 127(F_t + D_{\max})$$

$$V_r = 60 \text{ KM/H} \rightarrow RH_m = 123.24 \text{ m}$$

$$V_r = 75 \text{ KM/H} \rightarrow RH_m = 216.05 \text{ m}$$

$$V_r = 87 \text{ KM/H} \rightarrow RH_m = 318.7 \text{ m}$$

### Corrigé de l'exercice 2:

a- Détermination du devers et le coefficient de frottement transversal

**Env2 + Cat1 =====>**

Le devers correspondant est 7%.

**Cat1 + Vr = 100 km/h=====>**

$$f_t(100) = 0.11.$$

b- La valeur minimale du rayon : RHm

$$Rhm = \frac{V_r^2 (Km/h)}{127(f_t(v_r) + d_{max})} = \frac{(100)^2}{127(0.11 + 0.07)} = 437.44m$$

A partir du B40 : Rhm=450m.

Donc, le virage assurant la stabilité du véhicule, pour une vitesse de 100 km/h, doit être réalisé avec un rayon au moins égal à 450m auquel on est tenu d'associer un devers de 7%.

### Corrigé de l'exercice 3 :

On utilise la même formule :

a- RHm= 335.7m et d<sub>ass</sub>=d<sub>max</sub> =7%

et RHN= 544.4m et d<sub>ass</sub>=d<sub>max</sub>-2%=5%.

b- d<sub>ass</sub>(700m)= 4.02%.

avec RHN=544.4 < R=700m < RHd=1275m

### Corrigé de l'exercice 4 :

1- Vérification :

La valeur minimale du rayon horizontal pour la Cat1, Vr=90 km/h :

D'abord, on détermine le coefficient de frottement transversal : Cat1 + Vr = 90 km/h →

(ft(100)+ ft(80))/2=0.12.

$$Rhm = \frac{(90)^2}{127(0.12 + 0.07)} = 335m > 240m$$

Avec cette situation le véhicule va déraper.

2- Les solutions possibles sont :

- Soit de construire le virage avec un rayon  $RHm = 335 \text{ m}$ .
- Ou soit de placer un panneau de signalisation avec vitesse limite en virage égale :  $75 \text{ km/h}$ .

$$Rhm = \frac{V_r^2 (km/h)}{127(f_t(v_r) + d_{\max})} = \frac{(80)^2}{127(0.13 + 0.07)} = 252m > 240m \quad \text{non vérifié}$$

$$Rhm = \frac{V_r^2 (Km/h)}{127(f_t(v_r) + d_{\max})} = \frac{(75)^2}{127(0.1375 + 0.07)} = 213m < 240m \quad \text{OK}$$

### Corrigé de l'exercice 5 :

1- Calcul de  $RHm$ ,  $RHN$ ,  $RHd$ ,  $RHnd$  :

$$RHm = \frac{60^2}{127(0.18 + 0.07)} = 113.38 \text{ m ; } d = 7\%$$

$$RHN = \frac{80^2}{127(0.15 + 0.07)} = 229.06 \text{ m ; } d = 5\%$$

$$RHd = \frac{Vr^2}{127 \times 2 \times d_{\min}} = \frac{60^2}{127 \times 2 \times 0.03} = 472.44 \text{ m ; } d = 3\%$$

$$RHm = \frac{Vr^2}{127 \times (f'' - 0.03)} = \frac{60^2}{127 \times (0.07 - 0.03)} = 708.66 \text{ m ; } d = -3\%$$

2- Les devers correspondants aux rayons suivants :

$$-RHm < R_1 = 180 \text{ m} < RHN \quad \text{=====} > \quad d_1 = 5.53 \%$$

$$d = d_{\max} - \frac{\frac{d_{\max} - d_{RHN}}{1} - \frac{1}{RHm}}{\frac{1}{RHN} - \frac{1}{R}}$$

$$-RHN < R_2 = 360 \text{ m} < RHd \quad \text{=====} > \quad d_2 = 3.45 \%$$

$$d = d_{RHN} - \frac{d_{RHN} - d_{\min}}{\frac{1}{RHN} - \frac{1}{RHd}} \left( \frac{1}{RHN} - \frac{1}{R} \right)$$

$$-RHd < R_3 = 600 \text{ m} < RHnd \quad \text{=====} > \quad d_3 = 3\%$$

$$-RHnd < R_4 = 800 \text{ m} \quad \text{=====} > \quad d_1 = -3\% \text{ (en toit).}$$

### Corrigé de l'exercice 6 :

La variation des rayons de courbure ( $1/R$ ) en fonction de du dévers  $d$  pour l'environnement 1 et catégorie 1/2.

### 3.3.2. Détermination des devers associés au rayon en plan

Catégories 1 - 2

(Tous environnements)

$$C_{sa} : V_{VL} = 120E1/100E2/80E3$$

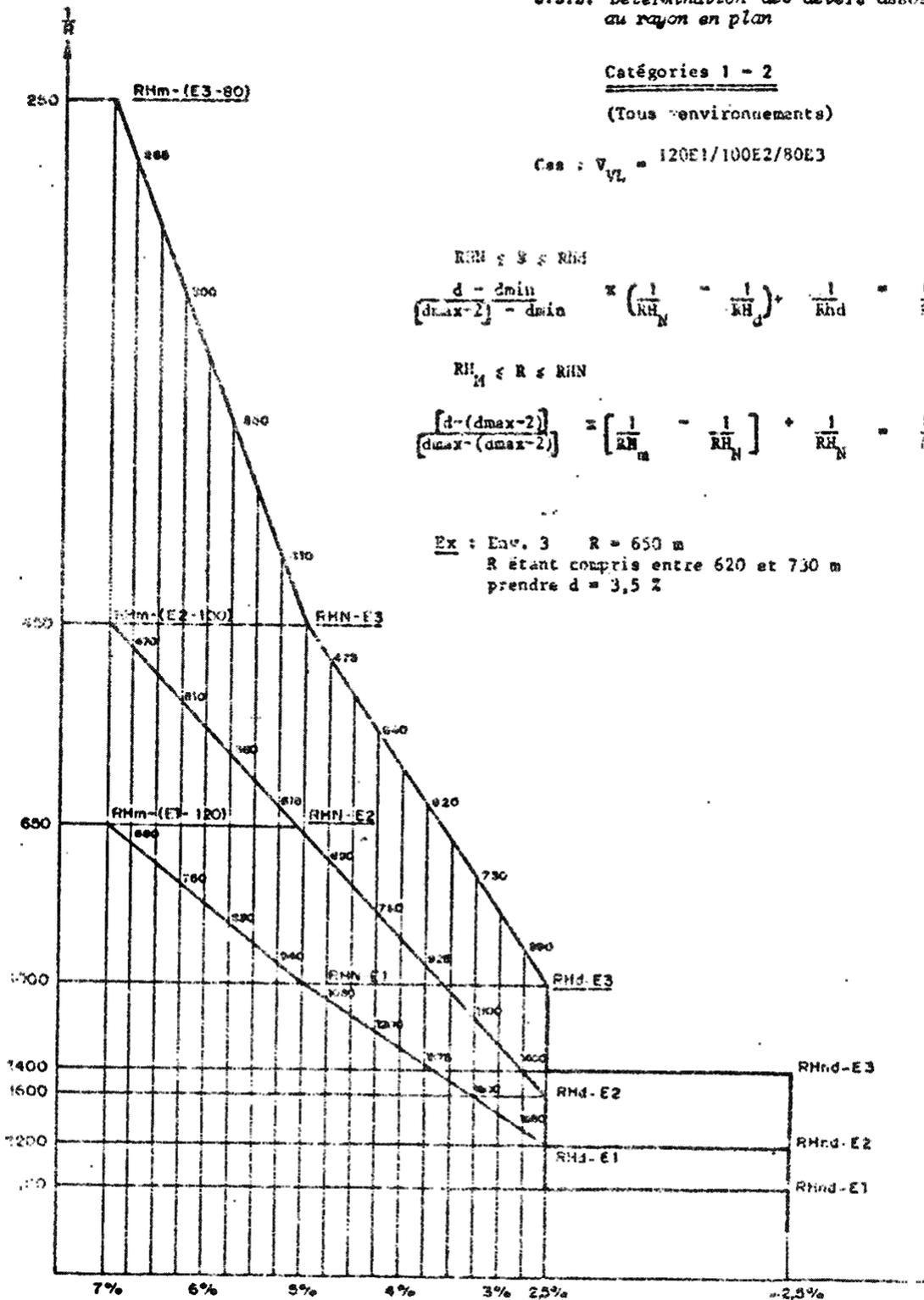
$$RH_M \leq R \leq RH_N$$

$$\frac{d - d_{min}}{d_{max} - 2} = \frac{1}{RH_M} - \frac{1}{RH_N} + \frac{1}{RH_d} = \frac{1}{R}$$

$$RH_M \leq R \leq RH_N$$

$$\frac{[d - (d_{max} - 2)]}{d_{max} - (d_{max} - 2)} = \left[ \frac{1}{RH_M} - \frac{1}{RH_N} \right] + \frac{1}{RH_N} = \frac{1}{R}$$

Ex : Ex. 3 R = 650 m  
R étant compris entre 620 et 730 m  
prendre d = 3,5 %



## Corrigé de l'exercice 7 :

Déterminer les rayons suivants :  $R_{HN}$  ,  $R_{Hm}$  ,  $R_{HD}$  ,  $R_{Hnd}$  ainsi que les valeurs du devers correspondant à chaque rayon :

Les valeurs des rayons dépendent de la catégorie de la route, l'environnement et la vitesse de référence  $V_r$ , les valeurs sont récapitulés dans le tableau suivant :

D'après le tableau, pour une route de Cat 1 , Env2 ,  $V_r=60\text{km/h}$  :

$$R_{HN} = 125 \text{ m} \quad d_{max} = 7\%$$

$$R_{Hm} = 250 \text{ m} \quad d_{max} = 5\%$$

$$R_{Hd} = 550 \text{ m} \quad d_{max} = 2,5\%$$

$$R_{Hnd} = 800 \text{ m} \quad d_{max} = -2,5\%$$

### 1- Calculer les devers pour des valeurs quelconques de R :

-R= 200 m :

$$R_{Hm} < R = 200 < R_{HN}$$

$$\frac{d_{max} - d}{\frac{1}{R_{Hm}} - \frac{1}{R}} = \frac{d_{max} - d_{R_{HN}}}{\frac{1}{R_{Hm}} - \frac{1}{R_{HN}}} \Rightarrow d = \frac{\frac{1}{R} - \frac{1}{R_{Hm}}}{\frac{1}{R_{HN}} - \frac{1}{R_{Hm}}} \times (d_{R_{HN}} - d_{max}) + d_{max}$$

$$d = \frac{\frac{1}{200} - \frac{1}{125}}{\frac{1}{250} - \frac{1}{125}} \times (5 - 7) + 7$$

$$= 5.5\%$$

- R = 300 m :

$$R_{HN} < R = 300 < R_{Hd}$$

$$\Rightarrow d = \frac{\frac{1}{R} - \frac{1}{R_{HN}}}{\frac{1}{R_{Hd}} - \frac{1}{R_{HN}}} \times (d_{min} - d_{R_{HN}}) + d_{R_{HN}}$$

$$d = \frac{\frac{1}{300} - \frac{1}{250}}{\frac{1}{550} - \frac{1}{250}} \times (2,5 - 5) + 5$$

$$= 4,23\%$$

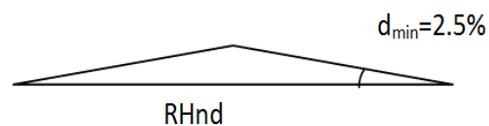
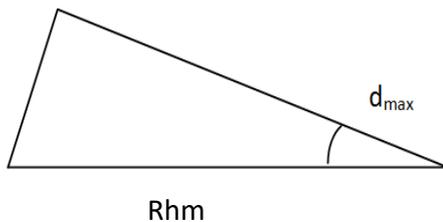
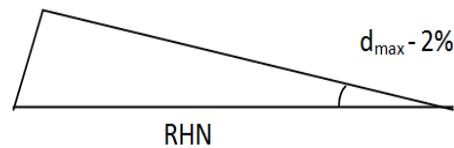
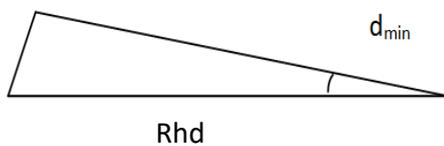
- R = 600m

$$R_{Hd} < R = 600 < R_{Hnd}$$

donc  $d = d_{min} = 2,5\%$

### Corrigé de l'exercice 8 :

Les coupes transversales de la chaussée en plein virage pour les différents types de rayons remarquables.



# **Série de TD № 05**

## **(Tracé en plan :**

### **Raccordements progressifs)**

## Série de TD № 05 (Raccordements progressifs)

Les raccordements progressifs sont des courbes de raccordement à courbure progressive et relient les arcs de cercles et les alignements droits. Ils sont essentiels afin de vaincre progressivement la force centrifuge en absorbant la vitesse du véhicule. La clothoïde est la forme la plus connue pour raccordements progressifs.

### **Exercice 1 :**

Une route bidirectionnelle est réalisée pour une vitesse de référence  $V_r=80$  km/h, Cat2 ; Env2.  
Etudier le virage d'un rayon minimal normal reliant deux AD faisant un angle  $\theta=12^\circ$ .

### **Exercice 2 : cas de chevauchement**

Une route bidirectionnelle est réalisée pour une vitesse de référence  $V_r=60$ Km/h, Cat2 ; Env2.  
On considère 2 alignements droits faisant un angle  $\theta=12$ degrés. On réalise le virage avec un RHN déversé selon les Normes.

- 1- Etudier le virage.
- 2- Lever le chevauchement s'il existe.
- 3- Proposer la solution qui vous satisfait le plus.
- 4- Faire le schéma.

### **Exercice 3 :**

Une route bidirectionnelle est réalisée pour une vitesse de référence  $V_r=70$ Km/h, Cat2 ; Env3.  
On réalise le virage avec un RHN déversé selon les Normes.

### Partie 1 :

On considère 2 alignements droits faisant un angle  $\theta=12$  degrés.

1- Etudier le virage.

- RHN (utiliser le rayon calculé et pas celui des tables)

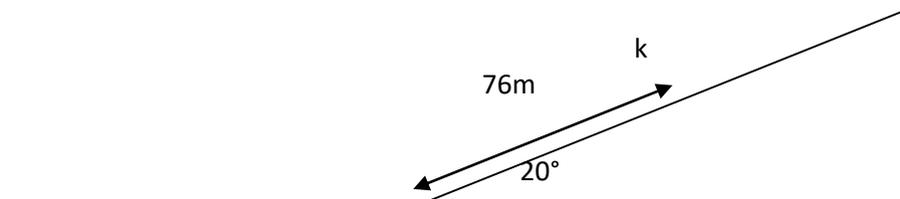
-  $L_{min}$ ,

- Lever le chevauchement s'il existe en étudiant les deux possibilités (fixer la valeur de  $L$  et chercher le rayon  $R$ ).

2- Tracer le virage retenu.

### Partie 2 : Point Obligé

3- Soit  $p$  un point obligé (le virage (A.C + R.P) ne doit pas l'atteindre), refaire l'exercice pour ce tracé.



#### Coefficient de frottement

|                    | Coef-frot/ Vr | 120  | 100   | 80   | 60   | 40   |
|--------------------|---------------|------|-------|------|------|------|
| <b>Cat : 1-2</b>   | $F_t$         | 0.10 | 0.11  | 0.13 | 0.16 | 0.20 |
| <b>Cat : 3-4-5</b> | $F_t$         | 0.11 | 0.125 | 0.15 | 0.18 | 0.20 |

### **Exercice 4 :**

Une route bidirectionnelle est réalisée pour une vitesse de référence  $V_r=60$  km/h, Cat1 ; Env2.

On voudrait construire un virage de rayon minimal normal reliant deux AD faisant un angle  $\theta=16^\circ$ .

- 1- Etudier le virage en rappelant la condition de non chevauchement.
- 2- Tracer le virage.

### **Exercice 5 :**

Une route bidirectionnelle est réalisée pour une vitesse de référence  $V_r=60$  km/h, Cat1 ; **Env3**.

On voudrait construire un virage de rayon minimal normal reliant deux AD faisant un angle  $\theta=15^\circ$ .

Etudier le virage en rappelant la condition de non chevauchement.

## **Exercices à résoudre de la série TD 5 :**

### **Exercice :**

Une route bidirectionnelle est réalisée pour une vitesse de référence  $V_r=60\text{Km/h}$ , Cat2 ; Env2.

On considère 2 alignements droits faisant un angle  $\theta=10$  degrés. On réalise le virage avec un

RHN déversé selon les Normes.

- 1- Etudier le virage.
- 2- Lever le chevauchement s'il existe.
- 3- Faire le schéma

### **Exercice :**

Une route bidirectionnelle est réalisée pour une vitesse de référence  $V_r=100 \text{ km/h}$ , Cat2 ;

Env2.

Etudier le virage d'un rayon minimal normal reliant deux AD faisant un angle  $\theta=14^\circ$ .

## Solution Série de TD № 05 (Raccordements progressifs)

### Corrigé de l'exercice 1 :

a- **Calcul de RHN :**

$$RHn = \frac{(Vr + 20)^2}{127(0.11 + 0.07)} = 437 = 450 \implies d \text{ ass} = 5 \%$$

b- **Vérification** de chevauchement des deux clothoïdes :

$$\alpha_0 = \frac{l}{2R} \text{ ? } \frac{\theta_0}{2} = 6^\circ$$

$$L_{min} = \text{Max} \left[ \frac{R}{9}; 5\Delta d \frac{Vr}{36} \right]$$

Route bidirectionnelle  $\rightarrow \Delta d = 5 + 2.5 = 7.5\%$

$L_{min} = 83 \text{ m.}$

$$\alpha_0 = \frac{83}{2(450)} = 5.27 \% < 6^\circ$$

$\rightarrow$  pas de chevauchement

c- **Le ripage :**

$$\Delta R = \frac{L^2}{24R} = \frac{83^2}{24(250)} = 0,63\text{m}$$

Vérification  $R < 1000 \text{ m} \rightarrow$

$$0.5 < \Delta R < 1 \rightarrow \text{Ok}$$

## Corrigé de l'exercice 2 :

### 1) Etude du virage

$V_r=60\text{Km/h}$ , Cat2 ; Env2. $\theta=12$  degrés

$$\text{RHN} = \frac{(V_r+20)^2}{127*(Ft(V_r+20)+d_{max})} = 250\text{m} \text{ et } d=5\%$$

$$L_{\min} (\text{m}) = \max\left(\frac{5}{36} \Delta d * V_r; \frac{R_{hn}}{9}\right) = \max(62,5 ; 27,78)=62,5\text{m}$$

- $\Delta R = \frac{L^2}{24*R} = 0.65 \text{ m}$  vérifiée

- $\alpha_0 = \frac{L}{2R} = 0,125 \text{ rad} = 7,16 \text{ degrés}$ ,

- Condition de non chevauchement  $\alpha_0 < \frac{\theta}{2}$

$$\alpha_0 > \frac{\theta}{2} = 12/2 = 6^\circ ; \text{ donc condition non vérifiée}$$

On a un chevauchement.

### 2) Levé du chevauchement :

On fixe la valeur de  $L= 62,5\text{m}$  et chercher le rayon  $R$  :

$$\alpha_0 = \frac{\theta}{2} = 6^\circ$$

$$\rightarrow R = \frac{L}{2*\alpha_0} = 298\text{m}$$

$$\Delta R = \frac{L^2}{24*R} = 0.55\text{m} \text{ valeur acceptable car } (0,5 < \Delta R < 1)$$

### Détermination du dévers :

$$d = d_{RHN} - \frac{d_{RHN} - d_{min}}{\frac{1}{RHN} - \frac{1}{RHd}} \left( \frac{1}{RHN} - \frac{1}{R} \right)$$

Avec:

$R_{hn} = 300\text{m}$  ,  $d = 5\%$

$R_{hd} = 550\text{m}$  ( $V_r = 60 \text{ km/h}$  , E2 , CAT2) ,  $d = 2,5\%$

On obtient :  $d = 4,1\%$

- Les coordonnées :

$$A = (-L/2 , 0) = (-31,25 , 0)$$

$$N = (0 , \Delta R/2) = (0 , 0,275)$$

$$E = (L/2 , 4 \Delta R) = (31,25 , 1,1)$$

### Corrigé de l'exercice 3 :

$V_r=70\text{Km/h}$ , Cat2 ; Env3.

#### 1- Calcul du virage :

$$RHN = \frac{(V_r+20)^2}{127*(Ft(V_r+20)+d_{max})}$$

Le dévers maximum en courbe: du tableau :  $d_{max}=7\%$

**Dévers en alignements droits et en courbe**

|                                   |           | E1   | E2   | E3   |
|-----------------------------------|-----------|------|------|------|
| <b>Dévers min. en coute et AD</b> | Cat 1-2   | 2.5% | 2.5% | 2.5% |
|                                   | Cat 3-4-5 | 3%   | 3%   | 3%   |
| <b>Dévers max. en courbe</b>      | Cat 1-2   | 7%   | 7%   | 7%   |
|                                   | Cat 3-4   | 8%   | 8%   | 7%   |
|                                   | Cat 5     | 9%   | 9%   | 9%   |

Coefficient de frottement :

$$ft(V_r+20) = Ft(90) = \frac{Ft(100)+Ft(80)}{2} = \frac{0.11+0.13}{2} = 0.12$$

Donc :  $RHN = 335.68 \text{ m}$

$$L_{\min} \text{ (m)} = \max \left( \frac{5}{36} \Delta d * V_r; \frac{R}{9} \right)$$

$$= \max (73 ; 37.29) = 73\text{m}$$

$$\alpha_0 = \frac{L}{2R} = 0.108 \text{ rad} = 6.2^\circ$$

$$\alpha_0 > \frac{\theta}{2} = 6^\circ$$

La construction du virage est impossible.

On lève le chevauchement :

**1ère méthode :**

On fixe  $L = 73\text{m}$  et on pose  $\alpha_0 = 6^\circ$  et augmente le  $R$

$$\rightarrow R = \frac{L}{2 \cdot \alpha_0} = 350\text{m}$$

$$\text{On aura: } \Delta R = \frac{L^2}{24 \cdot R} = 0.634\text{m}$$

Le nouveau devers :

$$R_{HN} < R < R_{Hd}$$

$$d_{\min} < d < d_{RHN}$$

$$R_{Hd}(70) = \frac{R_{Hd}(80) + R_{Hd}(60)}{2} = \frac{1000 + 550}{2} = 775\text{m}$$

$$\rightarrow 2.5\% < d < 5\%$$

$$\text{Et : } 335.68 < R < 775\text{m}$$

$$\text{Donc : } d = d_{RHN} - \frac{d_{RHN} - d_{\min}}{\frac{1}{R_{HN}} - \frac{1}{R_{Hd}}} \left( \frac{1}{R_{HN}} - \frac{1}{R} \right);$$

$$d = 4.82\%$$

**2ème méthode :**

On fixe  $R = 335.68\text{ m}$  et diminue le  $L$

$$L = R \cdot 2\alpha_0 = 69.82\text{ m}$$

$$\Delta R = 0.605\text{m}$$

## 2- Traçage du virage :

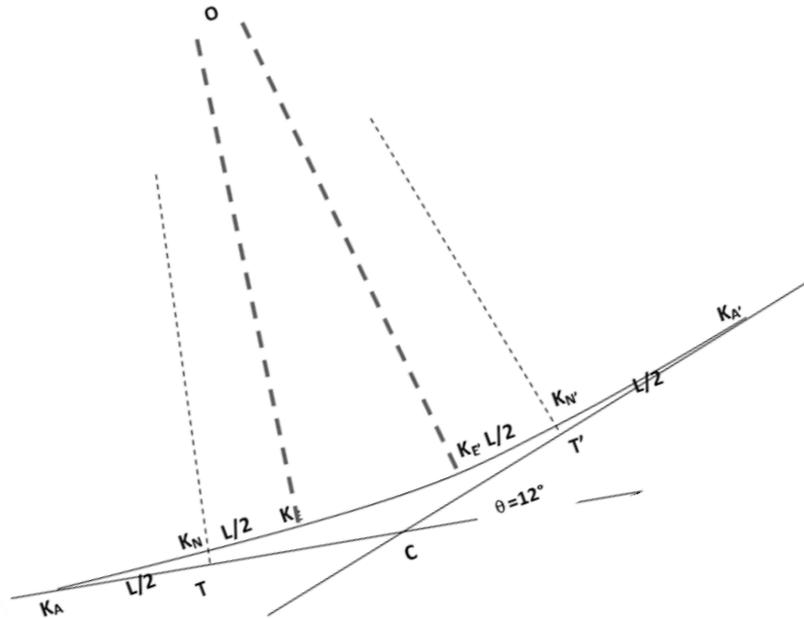
### avec la méthode 1

$$CT=CT'=R*\text{tg}(\theta/2)=74.39\text{m}$$

$$A(-L/2, 0) = (-36.5 ; 0) ; N(0, \Delta R/2) = (0, 0.317) ; E(L/2, 4\Delta R) = (36.5, 2.53)$$

et

$$A'(-L/2, 0) = (-36.5 ; 0) ; N'(0, \Delta R/2) = (0, 0.317) ; E'(L/2, 4\Delta R) = (36.5, 2.53)$$



## Partie 2:

### Calcul du virage :

On a :  $\theta = 20^\circ$

$\alpha_0 = 6.2^\circ < \frac{\theta}{2} = 10^\circ \rightarrow$  pas de chevauchement

(Le virage n'atteint pas p)  $\rightarrow CA' \leq 76m$

On pose :  $CA' = Cp = 76m$

donc :  $CA' = CT' + L/2 = R \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) + L/2 \rightarrow R = \frac{CA' - L/2}{\tan(10)}$

$R = 224 \text{ m} ; \Delta R = \frac{L^2}{24 \cdot R} = 0.99m$

### Le nouveau dévers :

$RH_m < R < RH_N$

$RH_m(70) = \frac{RH_m(80) + RH_m(60)}{2} = \frac{250 + 125}{2} = 187.5m$

$d_{RH_N} < d < d_{\max}$

$\rightarrow 5\% < d < 7\%$

$187.5 < R < 335.68 \text{ m}$

Donc :  $d = d_{\max} - \frac{d_{\max} - d_{RH_N}}{\frac{1}{RH_m} - \frac{1}{RH_N}} \left( \frac{1}{RH_m} - \frac{1}{R} \right) =$

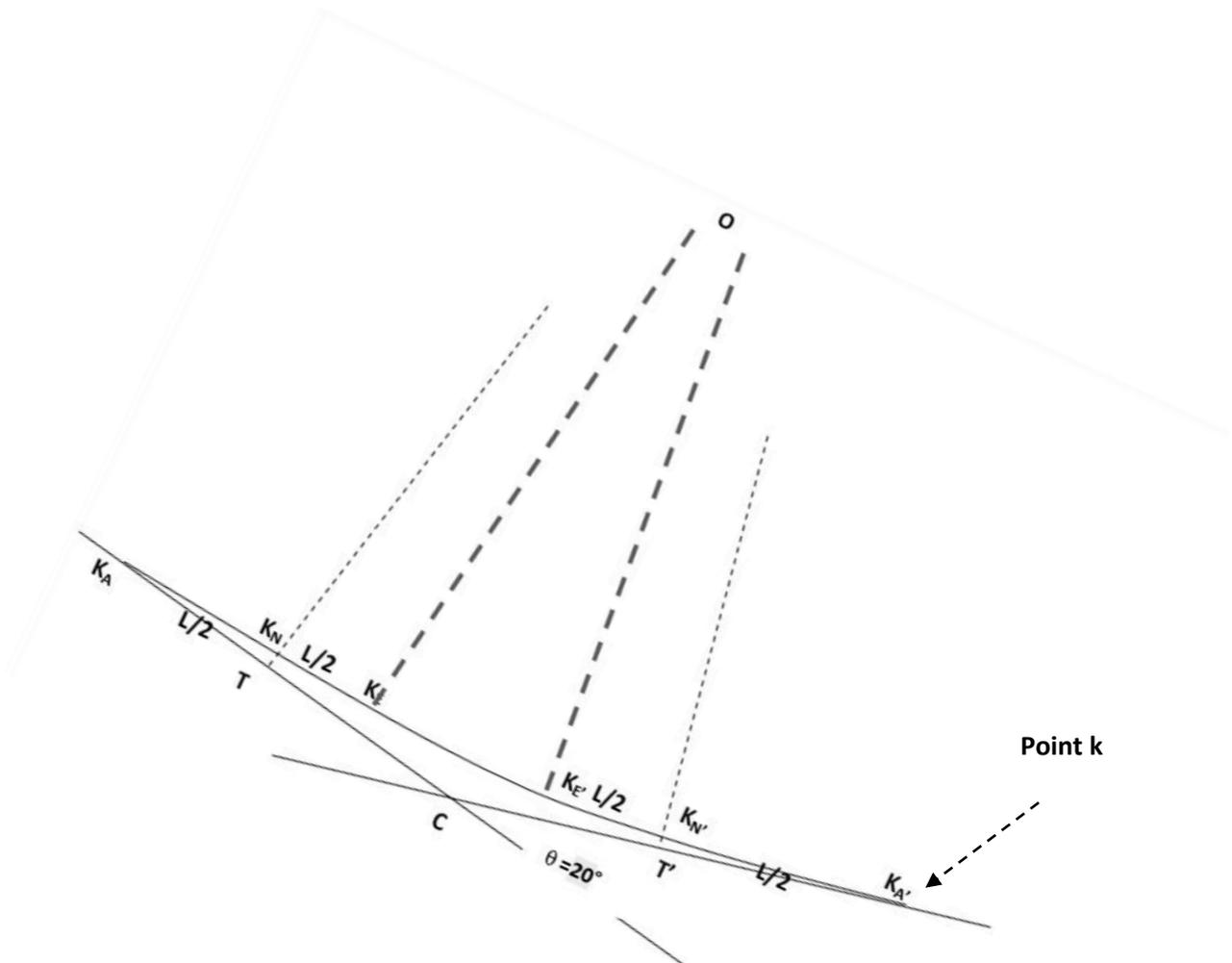
$d = 6.26\%$

$$CT=CT'=R*\text{tg}(\theta/2)=68.23\text{m}$$

$$A(-L/2, 0) = (-36.5 ; 0) ; N(0, \Delta R/2) = (0, 0.495) ; E(L/2, 4\Delta R) = (36.5, 3.99)$$

et

$$A'(-L/2, 0) = (-36.5 ; 0) ; N'(0, \Delta R/2) = (0, 0.495) ; E'(L/2, 4\Delta R) = (36.5, 3.99)$$



## Corrigé de l'exercice 4 :

### 1/ Etude du virage :

Pour l'étude de notre clothoïde ayant une cat.1, Env.2 et une vitesse de référence = 60 km/h :

Depuis le tableau ci-dessous, on peut donner le  $R=RHN=250m$

Pour poursuivre notre étude on se doit de calculer la longueur de la clothoïde minimale.

$$L_{min} = \max\left\{\frac{R}{9}, \frac{5 \cdot \Delta d \cdot V r}{36}\right\} = \max\left\{\frac{250}{9}, \frac{5 \cdot (5 - (-2,5)) \cdot 60}{36}\right\}$$

$$= \max\{27,78m, 62,5m\}$$

$$= 62,5m.$$

La condition de non chevauchement stipule que pour dire qu'il y'a aucun chevauchement dans la clothoïde il faut satisfaire cette condition :

$$\alpha_0 < \frac{\theta}{2} = \frac{16}{2} = 8^\circ; \text{ telque } \alpha_0 = \frac{L}{2R} = \frac{62,5}{2 * 250}$$

$$= 0,125rad = 7,16^\circ$$

On peut constater qu'elle est vérifiée ( $7,16^\circ < 8^\circ$ ), donc on déduit l'absence du chevauchement dans notre cas.

**3/Tracé du virage:** Les conditions (liées au ripage) à satisfaire pour pouvoir cette méthode du cercle conservé sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_0 \leq 60^\circ = \frac{\pi}{3} \rightarrow L \leq \frac{2\pi R}{3} \\ \Delta R \lll R; \text{ telque } \Delta R = \frac{L^2}{24R} \end{array} \right.$$

Dans notre cas on a :  $\Delta R = \frac{62,5^2}{24 \cdot 250} = 0,65m \lll 250m$  Vérifiée

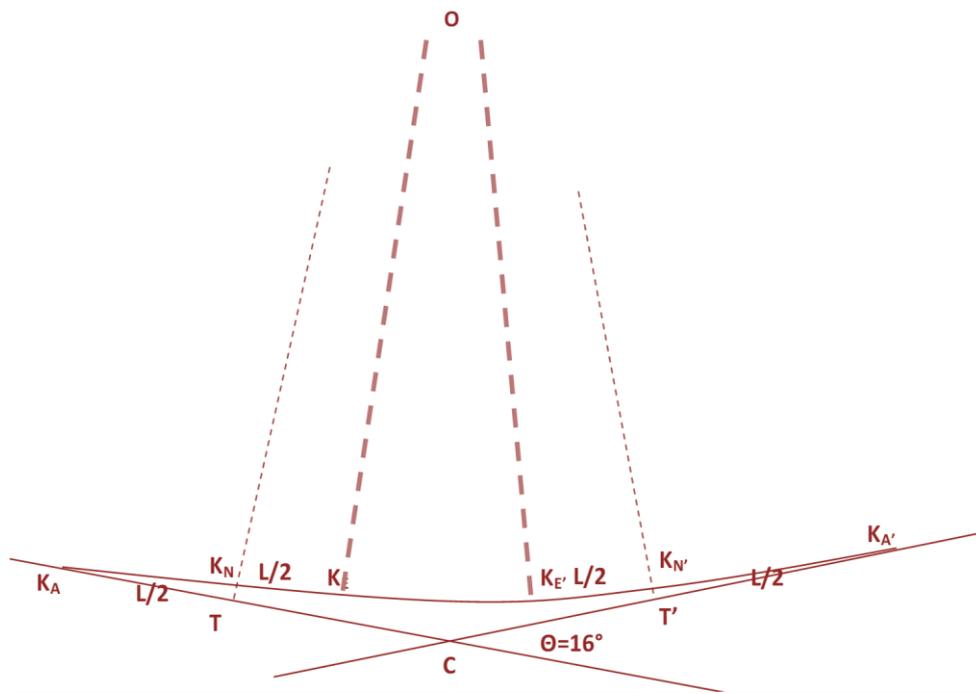
$$L \leq \frac{2\pi R}{3} = \frac{2 * \pi * 250}{3} = 523,59m$$

**250m < 523,59m Vérifiée**

On constate que les 2 conditions sont bien vérifiées, donc on peut déduire qu'on peut utiliser la méthode du cercle conservé.

Pour tracer notre virage, on aura besoin de quelques points qui sont :

$$K_A \left( -\frac{L}{2}, 0 \right); K_N \left( 0, \frac{\Delta R}{2} \right); K_E \left( \frac{L}{2}, 4 * \Delta R \right)$$



## Corrigé de l'exercice 5 :

### 1.1- Détermination du rayon RHn :

À partir du tableau nous avons : Cat 1 ; Env 3 ;  $V_r = 60km/h$ .

$$\Rightarrow RHN = 250m$$

### 1.2- Longueur minimale de raccordement :

$$\begin{aligned} L_{min} &= \max\left(\frac{5}{36}\Delta d \times V_r ; \frac{R}{9}\right) = \max\left(\frac{5}{36}(5 - (-2.5)) \times 60 ; \frac{250}{9}\right) \\ &= \max(62.5 ; 27.77) = 62.5m \end{aligned}$$

### 1.3- Décalage $\Delta R$ du cercle :

$$\Delta R = \frac{L^2}{24R} = 0.65m$$

### 1.4- Chevauchement :

$$\text{Condition de non chevauchement : } \alpha_0 = \frac{L}{2R} = \frac{62.5}{2 \times 250} = 0.08rad = 7.16^\circ$$

$$\Rightarrow \alpha_0 = 7.16^\circ < \frac{\theta}{2} = 7.5^\circ$$

Donc, il y a donc il n'a pas de chevauchement.

# **Série de TD № 06**

## **(Profil en long- raccordement vertical -)**

## Série de TD № 06 (profil en long- raccordement vertical-)

Le rayon vertical se caractérise par le passage d'une déclivité à une autre. Les déclivités sont reliées par un raccordement circulaire vertical afin de satisfaire aux conditions de confort, de visibilité et d'esthétique.

### **Exercice 1 :**

Soit une route bidirectionnelle caractérisée par une de référence  $V_r=80\text{Km/h}$ . On construit les raccordements avec un rayon minimal normal. Cat2 ; Env2.

On prend deux cas :

a) Rampe=+5% et Rampe =4%

b) Pente= - 5% et Pente = -4%

Étudier cette route avec un raccordement circulaire : On demande

A partir des tables, Donner le rayon correspondant à RR et à PP.

Déterminer les coordonnées des points A, B, I et J

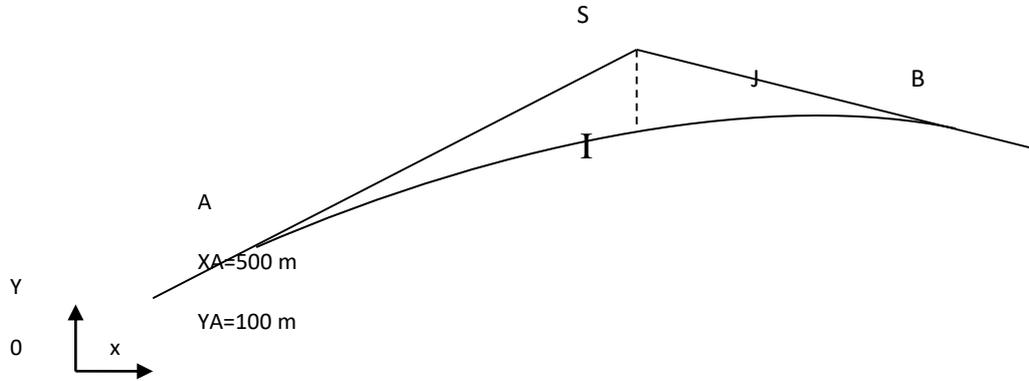
Faire un schéma détaillé du profil en long

### **Exercice 2 :**

La figure suivante présente un profil en long d'une section de route.

On prend : Rampe=+5% et Pente =3% et un rayon minimal normal  $R= 4500\text{m}$ .

Déterminer les coordonnées des points A, B, S, I et J.

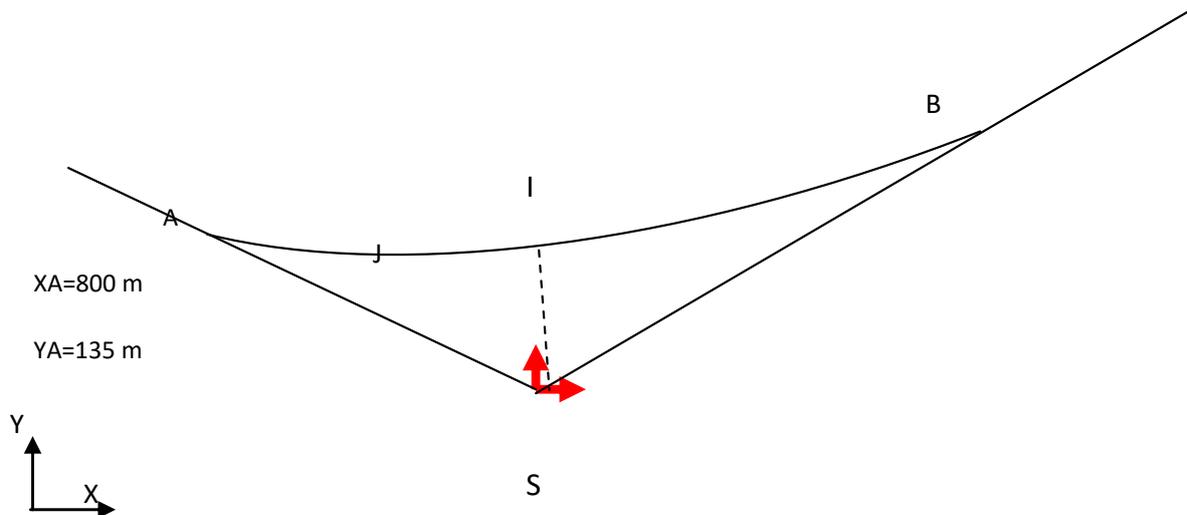


### Exercice 3 :

La figure suivante donne un profil en long d'une section de route.

On prend : Pente =2% et Rampe =+3% et un rayon minimal normal  $R=10000\text{m}$ .

Déterminer les coordonnées des points A, B, S, I et J sachant que les coordonnées du point A sont 800m et 135m.



### **Exercice 4 :**

Soit une route bidirectionnelle caractérisée par une de référence  $V_r=100\text{Km/h}$ . On construit les raccordements avec un rayon minimal normal. Cat1 ; Env2.

On prend deux cas:

a) Rampe=+4% et Pente=-3%

b) Pente= - 4% et Rampe=+3%

Répondre aux mêmes questions que l'exercice 2.

### **Exercice 5 :**

On veut relier deux déclivités de sens contraires, en angle convexe, par un arc de cercle. Le conducteur A (situé à  $h_1$ -hauteur de visibilité-) doit disposer d'une distance de visibilité égale à  $d$  sur un objet B (placé à  $h_2$  – hauteur de l'objet). Cette distance  $d=AB$ .

Etablir une relation du Rayon,  $R$ , en fonction de  $d$ ,  $h_1$  et  $h_2$ . On supposera que  $h_1$  et  $h_2$  sont d'ordre 1 par rapport à  $d$  et  $R$ .

## Exercices non résolus de la série TD 6 :

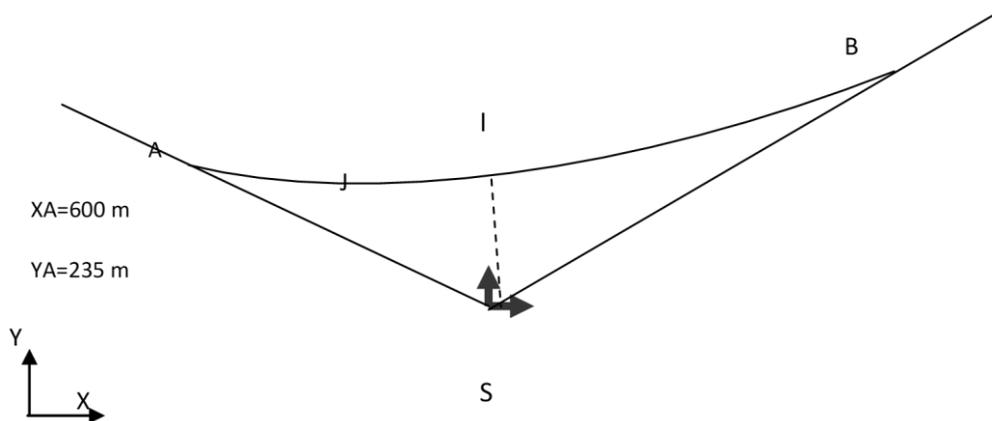
### Exercice :

La figure suivante présente un profil en long d'une section de route. Pente =3% et

Rampe=+5% et un rayon minimal normal  $R=10\ 000\text{m}$ .

Déterminer les coordonnées des points A, B, S, I et J par rapport au repère global (X, Y).

Qu'est-ce qu'il représente le point J ?



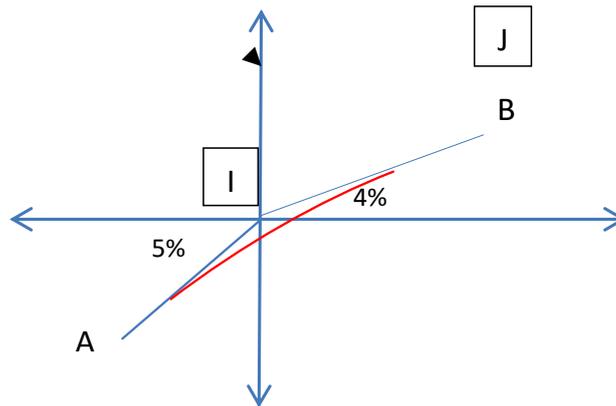
Les coordonnées des points A, B, S, I et J :

$$A\left(\begin{smallmatrix} 600 \\ 235 \end{smallmatrix}\right)m ; B\left(\begin{smallmatrix} 1400 \\ 235 \end{smallmatrix}\right)m ; S\left(\begin{smallmatrix} 1000 \\ 215 \end{smallmatrix}\right)m ; I\left(\begin{smallmatrix} 1000 \\ 223 \end{smallmatrix}\right)m ; J\left(\begin{smallmatrix} 900 \\ 222.5 \end{smallmatrix}\right)m$$

## Solution Série de TD № 06 (profil en long- raccordement vertical-)

### Corrigé de l'exercice 1:

**Cas : Rampe/Rampe :**  $V_r=80\text{km/h}$  ;  $\text{Cat}2, \text{Env}2 \rightarrow R_v=10000\text{m}$



Détermination les coordonnées des points A, B, I et J :

#### 1- Points A et B :

$$|X_A|=|X_B|=R (|P - P'|)/2 = 10000(|0.05 - 0.04|)=50\text{m}$$

$$|Y_A|=|X_A|*P=2.5\text{m}$$

$$|Y_B|=|X_B|*P'=2\text{m}$$

→ Les points : A (-50 ; -2.5m)    B (50 ; 2 m)

#### 2- Point I :

$$|X_I|=0$$

$$Y_I = \frac{Y_A + Y_B}{4} = \frac{-2.5 + 2}{4} = -0.125 \text{ m (Valeurs algébriques voir le schéma)}$$

→ I(0 ; -0.125m)

### 3- Point J :

$$|X_J| = R (|P - P'|)/2 = 10000(|0.05 - 0.04|) = 50m$$

$$|Y_J| = R (|P * P'|)/2 = 10000(|0.05 * 0.04|) = 10m > Y_B$$

$$\rightarrow J (50 ; 10m)$$

Ici, le point J n'existe car dans le cas « « Rampe – Rampe » les pentes sont de même signes).

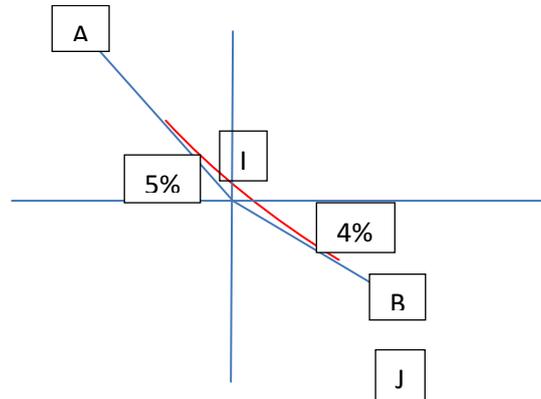
En résumant :

A (-50 ; -2.5m)

B (50 ; 2 m)

I (0 ; -0.125m)

Cas : Pente/Pente :  $V_r=80\text{km/h}$  ; Cat2, Env2  $\rightarrow R_v=3000\text{m}$



Détermination les coordonnées des points A, B, I et J :

**1- Points A et B :**

$$|X_A|=|X_B|=R*|P-P'|/2 = 15\text{m}$$

$$|Y_A|=|X_A|*P = 0.75\text{m}$$

$$|Y_B|=|X_B|*P' = 0.6\text{m}$$

$\rightarrow$  On regarde le schéma : A(-15 ; 0.75m) et B(15 ; -0.6 m)

**2- Point I :**

$$|X_I|=0$$

$$Y_I=(Y_A+Y_B)/2 = 0.0375 \text{ m}$$

$\rightarrow$  I(0 ; 0.0375m)

**3- Point J :**

$$|X_J|=R*|P-P'|/2 = 15\text{m}$$

$$|Y_J|=R*|P*P'|/2 = 3\text{m} > Y_B$$

$\rightarrow$  J(15 ; -3 m) : le point J n'existe

En résumant : A (-15 ; 0.75m)    B(15 ; -0.6 m)    I(0 ; 0.0375m)

## Corrigé de l'exercice 2 :

- Rampe : 5%
- Pente : -3%

Les coordonnées des points A, B, S, I et J. :

- **Point S:**

$$X_s = X_a + R(/p + p'/)/2 = 680\text{m}$$

$$Y_s = Y_a + P(X_s - X_a) = 109\text{m}$$

- **Point B :**

$$X_b = X_s + R(/p + p'/)/2 = 860\text{m}$$

$$Y_b = Y_s - P'(X_b - X_s) = 109.6\text{m}$$

- **Point J :**

$$X_j = X_s + R(/p - p'/)/2 = 725\text{m}$$

$$Y_j = Y_s - R(/p * p'/)/2 = 105.625\text{m}$$

- **Point I :**

$$X_i = X_s = 680\text{m}$$

$$Y_i = Y_s - ((Y_s - Y_a) + (Y_s - Y_b))/4 = 105.4\text{m}$$

### Corrigé de l'exercice 3:

Eléments de réponse : Les coordonnées des points A, B, S, I et J :

$$A(800|135)m ; \quad B(1300|137.5)m ; \quad S(1050|130)m ; \quad I(1050|133.125)m ;$$

$$J(1000|133)m.$$

### Corrigé de l'exercice 4:

On demande d'étudier cette route avec un raccordement circulaire

**1- Rampe=+4% et Pente= -3% :**

D'après le tableau : RVn -> cat1 -> ENV2 -> Vr=100km/h -> R(P,R)=20000\*m

- **Les points A et B ?**

$$|Xa|=R.(P \pm P')/2 ; \text{on prend + car rampe-pente} \rightarrow |Xa|=700m$$

$$|Ya|=P. |Xa|=28m$$

$$A[Xa , Ya]=[-700,-28]$$

$$|Xa|=|Xb|=700m$$

$$|Yb|=P'. |Xb|=-21m$$

$$B=[Xb,Yb]=[ 700,-21]$$

- **Le point I ?**

$$XI=0$$

$$YI=(Ya + Yb)/2 =-24.5m \rightarrow I=[0 ; -24.5]$$

- **Le point J ?**

$$XJ=R \cdot (P - P')/2 = 100\text{m}$$

$$YJ=R \cdot (P \cdot P')/2 = -12\text{m} \quad \rightarrow J=[100 ; -12]$$

- Quand  $p=p'$  alors A est symétrique a B / l'axe y et I=J sont identique

**2- Pente= -4% et Rampe=+3%**

D'après le tableau : R'Vn -> cat1 -> ENV2 -> Vr=100km/h -> R'(P,R)=4200m

- **Les points A et B ?**

$$|Xa|=R \cdot (P \pm P')/2=147\text{m}$$

$$|Ya|=P \cdot |Xa|=5.88\text{m}$$

$$A[Xa , Ya]=[-147,5.88]$$

$$|Xa|=|Xb|=147\text{m}$$

$$|Yb|=P' \cdot |Xb|=-4.41\text{m}$$

$$B=[Xb, Yb]=[147, -4.41]$$

- **Le point I ?**

$$XI=0$$

$$YI=(Ya + Yb)/2 = -5.145\text{m} \quad \rightarrow I=[0 ; -5.145]$$

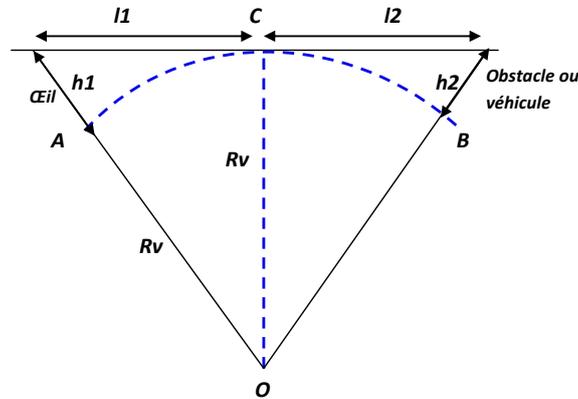
- **Le point J ?**

$$XJ=R \cdot (P - P')/2 = 21\text{m}$$

$$YJ=R \cdot (P \cdot P')/2 = -2.52\text{m} \quad \rightarrow J=[21; -2.52]$$

## Corrigé de l'exercice 5 :

La configuration suivante sera appliquée :



On applique le théorème de Pythagore sur les triangles dont l'arête commune OC.

$$\begin{cases} (R_v + h_1)^2 = l_1^2 + R_v^2 \\ (R_v + h_2)^2 = l_2^2 + R_v^2 \end{cases} \text{ après développement, on aura } \begin{cases} l_1 = \sqrt{2h_1R_v} \\ l_2 = \sqrt{2h_2R_v} \end{cases}$$

D'autre part, par approximation  $d = l_1 + l_2$

$$d^2 = (l_1 + l_2)^2 = (\sqrt{2h_1R_v} + \sqrt{2h_2R_v})^2 = 2R_v(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2$$

$$\text{Donc, } R_v = \frac{d^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} = \frac{d^2}{2(h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1h_2})}$$

avec  $d = d_a$  ou  $d_{Md}$ , Distance de visibilité nécessaire,  $h_1$  : Hauteur de l'œil au-dessus de la chaussée,  $h_2$  : hauteur de l'obstacle ou véhicule.

# **Série de TD № 07**

## **(Profil en long - Etude des profils -)**

## Série de TD № 07 (Profil en long – Etude des profils -)

L'étude des profils en long consiste à faire une étude complète du tracé :

- Etude le tracé en plan (étude des virages + l'ébauche du tracé)
- Etude le profil en long (étude des buttes et creux + + l'ébauche du profil)
- Etude du profil en travers

### Exercice 1 :

On considère un tronçon AB défini comme suit :

En tracé en plan : par trois segments droits :  $AC_1$ ,  $C_1C_2$  et  $C_2B$

$$\left\{ \begin{array}{l} AC_1=1000\text{m} \\ C_1C_2=1050\text{m} \\ C_2B = 600\text{m} \end{array} \right. \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} \theta_1= - 60^\circ \\ \theta_2= + 20^\circ \end{array} \right.$$

En profil en long :

$$\left\{ \begin{array}{l} AS_1= 600 \text{ m} \\ C_1S_2=560 \text{ m} \\ S_3 \equiv C_2 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Pente } AS_1 = - 2\% \\ \text{Rampe } S_1S_2 = + 1\% \\ \text{Rampe } S_2S_3 = + 5\% \\ \text{Pente } S_3B = - 3\% \end{array} \right.$$

## Exercice 2 :

Soit une route 2x2 voies, cat1 et Env3,  $V_r=80$  km/h.

On considère un tronçon AB défini comme suit :

En tracé en plan : avec  $R_{Hn}$  : rayon normal.

$AC_1=950m$                        $\theta=18^\circ$

$C_1B=1300m$

En profil en long : avec  $R'V$  et  $RV$  sont des rayons normaux.

$AS_1=450 m$                       Rampe + 3%

$S_1S_2=1150 m$                       Pente - 2%

$S_2B=650 m$                       Rampe + 4%

Travail demandé :

- 1- Etudier le tracé en plan
- 2- Etudier le profil en long
- 3- Etude du tracé (étude des virages + le tracé)
- 4- Etudier le profil en long avec les différents renseignements (étude des buttes et creux + le profil).

### Exercice 3 :

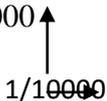
Soit une route unidirectionnelle, caractérisée par :

- un environnement E2
- appartenant à la catégorie 2
- avec une vitesse de référence  $V_r = 60 \text{ Km/h}$ .

Répondre aux questions suivantes :

- 1- Tracer l'ébauche du tracé en plan (En étudiant : rayons, chevauchement et vérifications), justifier votre choix à chaque étape.
- 2- Etude des virages avec le tracé (en traçant les clothoïdes)
- 3- Tracer l'ébauche du profil en long (rayons, calcul des quatre points caractéristiques), justifier votre choix à chaque étape.

Positionne ensuite les différents raccordements paraboliques.

Echelle : 1/1000 

Données du tracé sont :

On considère un tronçon AB défini comme suit :

En tracé en plan : par trois segments droits :  $AC_1$ ,  $C_1C_2$  et  $C_2B$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} AC_1 = 1000 \text{ m} \\ C_1C_2 = 1050 \text{ m} \\ C_2B = 600 \text{ m} \end{array} \right. \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} \theta_1 = -60^\circ \\ \theta_2 = +20^\circ \end{array} \right.$$

En profil en long : par quatre déclivités :  $AS_1$ ,  $S_1S_2$ ,  $S_2S_3$ ,  $S_3B$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} AS_1 = 600 \text{ m} \\ S_1S_2 = 960 \text{ m} \\ S_2S_3 = 490 \text{ m} \\ S_3B = 600 \text{ m} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Pente } AS_1 = - 2\% \\ \text{Rampe } S_1S_2 = + 1\% \\ \text{Rampe } S_2S_3 = + 5\% \\ \text{Pente } S_3B = - 3\% \end{array} \right.$$

Les alignements sont reliés par virages de rayon minimal normal ( $RH_n = R1$ ) et de rayon minimal déversé ( $RH_d = R2$ ).

Les rayons utilisés dans les raccordements paraboliques sont des rayons minimaux normaux.

#### **Exercice 4:**

Soit une route caractérisée par :

- 2x2 voies,
- Catégorie Cat2,
- Environnement E2,
- Vitesse  $V_r = 80$  km/h.

On considère un tronçon AB défini comme suit :

1- En tracé en plan :

$$AC1 = 1000\text{m} \quad \theta = 18^\circ$$

$$C1B = 1200\text{m} \quad RH_n : \text{rayon normal.}$$

2- En profil en long :

AS1=500 m                      Rampe + 3%

S1S2=1100 m                  Pente - 2%

S2B=600 m                      Rampe + 4%

R'V et RV sont des rayons normaux.

Travail demandé :

Etablir le profil en long avec les différents renseignements (étude des buttes et creux + le profil).

## Exercices non résolus de la série TD 7 :

### Exercice :

Soit une route 2x2 voies, cat1 et Env2,  $V_r=100$  km/h.

On considère un tronçon AB défini comme suit :

1- En tracé en plan : avec  $R_{Hn}$  : rayon normal.

$AC_1=900m$                        $\theta= 20^\circ$

$C_1B=1200m$

2- En profil en long : avec  $R'V$  et  $RV$  sont des rayons normaux.

$AS_1=400$  m                      Rampe + 3%

$S_1S_2=1100$  m                      Pente - 2%

$S_2B=600$  m                      Rampe + 4%

Travail demandé :

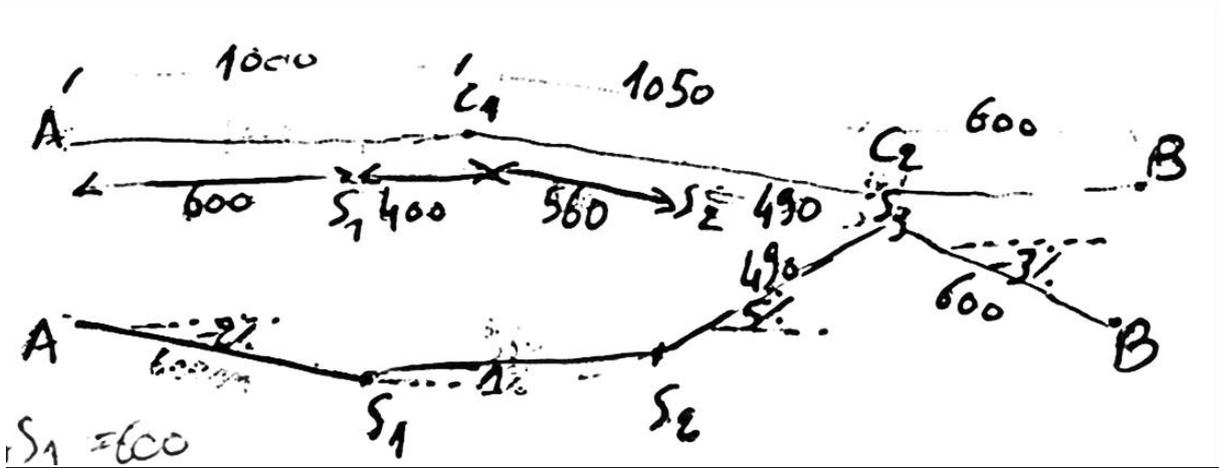
- 1- Etudier le tracé en plan
- 2- Etudier le profil en long
- 3- Etude du tracé (étude des virages + le tracé)
- 4- Etudier le profil en long avec les différents renseignements (étude des buttes et creux + le profil).

Solution Série de TD № 07 (Profil en long – Etude des profils -)

**Corrigé Exercice 1 :**

Détermination des longueurs des déclivités  $AS_1$ ,  $S_1S_2$ ,  $S_2S_3$  et  $S_2B$ :

Les schémas suivants montrent le tracé en plan et le profil en long ci-dessous



A partir de la superposition des deux profils, on obtient:

$$AS_1 = 600 \text{ m}$$

$$S_1S_2 = 400 + 560 = 960 \text{ m}$$

$$S_2S_3 = 1050 - 560 = 490 \text{ m}$$

$$S_2B = 600 \text{ m}$$

Vérification:

$$\text{La somme} = 600 + 960 + 490 + 600 = 2650 \text{ m} = 1000 + 1050 + 600 \text{ m.}$$

C'est vérifié.

## Corrigé Exercice 2 :

### 1. L'ébauche du tracé en plan :

-Rayon en plan et devers associés :

Le tableau récapitulatif des rayons en plan et devers associés :  $RHN = 450m$  ;  $dRHN = 5\%$

(Une route CAT1 et ENV3 avec  $Vr = 80Km/h$ ).

-Position de T1 et T1' :

Calcul de la position des points T1 et T1' :  $C1T1 = C1T1' = R \times \tan(\theta/2) = 71.27m$

-Calcul de la longueur de la clothoïde :

$$L_{min} = \max\left(\frac{R}{9}; \frac{5}{36} \cdot \Delta d \cdot Vr\right)$$

Variation de devers de la courbe :  $\Delta d = d_c - d_{AD} = 5 - (-2.5) = 7.5\%$

Donc :  $L_{min} = \max\left(\frac{450}{9}; \frac{5}{36} \times 7.5 \times 80\right) = \max(50; 83.33)$

$$L_{min} = 83.33m$$

-Calcul de la position des points A1 et A1' :  $C1A1 = C1A1' = C1T1 + \frac{L}{2} = 112.935m$

Vérification :  $C1A1 < C1A \Rightarrow 112.935m < 950m$  vérifié

$$C1A1' < C1B \Rightarrow 112.935m < 1200m \text{ vérifié}$$

## 2. L'ébauche du profil en long :

Une route 2x2 voies (chaussée bidirectionnelle), CAT2 et E2 avec  $Vr = 80Km/h$ , donc d'après le tableau des valeurs retenues des rayons en angle saillant et le tableau des valeurs des rayons verticaux en angle rentrant:  $RVN = 8000m$  et  $RV'N = 2400m$ .

- Détermination de la position des points  $A1, B1$  et  $A2, B2$  :

### **Sommet 1 :**

$$A1 \left( R \cdot \frac{P+P'}{2}; P|X_{A1}| \right) = (200, 6) \quad ; \quad B1 \left( R \cdot \frac{P+P'}{2}; P'|X_{B1}| \right) = (200; 4)$$

Donc les coordonnées des points par rapport repère local du sommet 1 :

$$A1(-200; -6) \quad ; \quad B1(200; -4)$$

### **Sommet 2 :**

$$A2 \left( R' \cdot \frac{P+P'}{2}; P|X_{A2}| \right) = (72, 1.44) \quad ; \quad B2 \left( R' \cdot \frac{P+P'}{2}; P'|X_{B2}| \right) = (72; 4.5)$$

Donc les coordonnées des points par rapport repère local du sommet 2 :

$$A2(-72; 1.44) \quad ; \quad B2(72; 4.5)$$

## 3. Etude du tracé :

### Etude du virage :

- Vérification du chevauchement :

$$\alpha_0 = \frac{L}{2R} < \frac{\theta}{2}$$

$$\alpha_0 = \frac{L}{2R} = \frac{83.33}{2 \times 450} = 0.0925rad$$

$$\alpha_0 = 5.3^\circ < 9^\circ \text{ vérifie (pas de chevauchement)}$$

- Le ripage :

$$\Delta R = \frac{L^2}{24 \cdot R} = \frac{83.33^2}{24 \times 450} = 0.64m$$

**Vérification :**

Pour  $R \leq 1000m$  :  $0.5 < \Delta R \leq 1, Ok$ .

**Le tracé :**

- Vérification des conditions de la méthode du centre conservé :

$$\begin{cases} \alpha_0 \leq 60^\circ \Leftrightarrow 5.3^\circ < 60^\circ \text{ vérifie} \\ \Delta R \ll R \Leftrightarrow 0.64m < 450m \text{ vérifie} \end{cases}$$

- La position des points  $A1, N1, E1$  et  $A1', N1', E1'$  par rapport

$T1$  et  $T1'$  respectivement :

Par rapport  $T1$  :

$$A1\left(-\frac{L}{2}; 0\right) = (-41.665; 0) ; N1\left(0; \frac{\Delta R}{2}\right) = (0; 0.32) ; E1\left(\frac{L}{2}; 4 \cdot \Delta R\right) = (41.66; 2.56)$$

Par rapport  $T1'$  :

$$A1'\left(\frac{L}{2}; 0\right) = (41.665; 0) ; N1\left(0; \frac{\Delta R}{2}\right) = (0; 0.32) ; E1'\left(-\frac{L}{2}; 4 \cdot \Delta R\right) = (-41.66; 2.56)$$

#### 4. Etablissement du profil en long :

- Détermination de la position des points  $I1, J1$  et  $I2, J2$  :

##### **Butte S1:**

$$I1 \left( 0; \frac{Y_{A1} + Y_{B1}}{4} \right) = (0; -1.14) ; J1 \left( R \cdot \frac{P-P'}{2}; R \cdot \frac{P \cdot P'}{2} \right) = (40; 2.4)$$

Donc, les coordonnées des points par rapport repère local du sommet 1 :

$$I1(0; -1.14) ; J1(-40; -2.4)$$

##### **Creux S2:**

$$I2 \left( 0; \frac{Y_{A2} + Y_{B2}}{4} \right) = (0; 1.35) ; J2 \left( R' \cdot \frac{P-P'}{2}; R' \cdot \frac{P \cdot P'}{2} \right) = (24; 1.2)$$

Donc les coordonnées des points par rapport repère local du sommet 2 :

$$I2(0; 1.35) ; J2(24; 0.96)$$

### Corrigé Exercice 3 :

#### I. L'ébauche du tracé en plan:

##### 1) VIRAGE N°1 :

1/

$$\theta = -60^\circ \text{ (Cat 2, E2, } V_r = 60 \text{ Km/h)}$$

$$R_1 = R_{HN} = 250\text{m, } d=5\%$$

$$C_1T_1 = C_1T_1' = R_1 \operatorname{tg} \left( \frac{\theta_1}{2} \right) = 250 \times \operatorname{tg} (30^\circ) = 144.34\text{m}$$

$$L_1 = \operatorname{Max} \left( \frac{R}{9}; \frac{5}{36} \Delta d \times V_r \right) = 62.5\text{m} \approx 63\text{m}$$

2/ vérification :

$$C_1A_1 = C_1T_1 + \frac{L_1}{2} \leq C_1A \Leftrightarrow 144.34 + \frac{62.5}{2} = 175.6\text{m} < 1000\text{m}$$

c'est bien vérifiée (et aussi pour C1C2)

3/ Condition de chevauchement :

$$\alpha_\circ = \frac{L_1}{2R_1} = \frac{62.5}{2 \times 250} = (0.125\text{rad} * 180^\circ) / 3.14 = 7,165^\circ < \frac{\theta_1}{2} = 30^\circ$$

Donc, pas de chevauchement

Le choix du rayon  $R_1=R_{HN}$  est Applicable

## 2) VIRAGE N°2 :

1/

$$\theta = 20^\circ \text{ (Cat 2, E2, } V_r = 60 \text{ Km/h)}$$

$$\begin{cases} R_2 = R_{Hd} = 550m \\ d = 2.5\% \end{cases}$$

$$C_2 T_2 = C_2 T'_2 = R_2 \operatorname{tg} \left( \frac{\theta_2}{2} \right) = R_2 \times \operatorname{tg} (10^\circ) = 96.98m$$

$$L_2 = \operatorname{Max} \left( \frac{R}{9}; \frac{5}{36} \Delta d \times V_r \right) = \operatorname{Max} \left( \frac{550}{9}; \frac{5}{36} (2.5 + 2.5) \times 60 \right) = \operatorname{Max} (61.11; 48.61) = 61.11m$$

2/vérification :

$$C_2 A'_2 = C_2 T'_2 + \frac{L_2}{2} \leq C_2 B \Leftrightarrow 96.98 + \frac{61.11}{2} = 127.6 < 600m ;$$

c'est bien vérifiée (et aussi pour C1C2)

3/ Condition de chevauchement :

$$\alpha_o = \frac{L_2}{2R_2} = \frac{61.11}{2 \times 550} = 0.0555 \text{ rad} = 3.18^\circ < \frac{\theta_2}{2} = 10^\circ$$

donc pas de chevauchement

Le choix du rayon  $R_2 = R_{Hd}$  est Applicable

## 3) Vérification de longueur en AD $L_{\min} < L < L_{\max}$

$$L_{\min} = \frac{5}{36} V_r = 83,3m$$

$$L_{\max} = \frac{60}{36} V_r = 1000m$$

$$L = A_1'A_2 = C_1C_2 - (C_1A_1') - (C_2A_2) = C_1C_2 - \left(C_1T_1' + \frac{L_1}{2}\right) - \left(C_2T_2 + \frac{L_2}{2}\right)$$

$$= 1050 - \left(144.34 + \frac{62.5}{2}\right) - \left(96.98 + \frac{61.11}{2}\right) = 1050 - 175.6 - 127.6 = 746.8m$$

On peut facilement vérifier que  $L_{\min} < L < L_{\max}$ .

#### 4) Temps de conduite :

Les secondes de conduite nécessaires pour parcourir la longueur d'AD entre C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> est :

$$L = A_1'A_2$$

L=746.8m correspond à 44.8 secondes de conduite

Puisque  $((L*3.6)/V_r) = ((634*3.6)/60) = 44.8s$ .

#### 5) Les longueurs totales des virages :

Les longueurs totales des virages sont égales à :

$$A_1A_1' + A_2A_2' = (L_1 + L_1 + E_1E_1') + (L_2 + L_2 + E_2E_2')$$

$$= (2 * L_1 + R_1(\theta_1 - 2\alpha_0^1)) + (2 * L_2 + R_2(\theta_2 - 2\alpha_0^2))$$

$$= (2 * 62.5 + 250 * (1.0467 - 2 * 0.125)) + (2 * 61.11 + 550 * (0.349 - 2 * 0.0555))$$

$$= 324.17m + 253.12m$$

$$= 577.29m$$

L'ébauche du tracé en plan est donnée par la figure suivante :

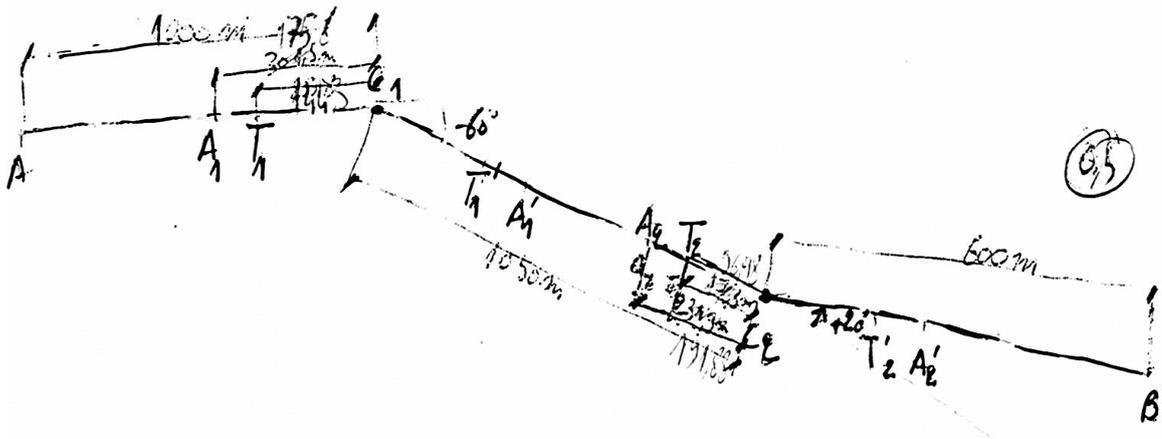


Fig. Ebauche du tracé en plan

## II. Etude des virages avec le tracé (en traçant les clothoïdes)

### 1- VIRAGE 1:

Ripage :

$$\Delta R = \frac{L^2}{24R} = \frac{62.5^2}{24 \times 250} = 0.65m \in [0,5;1] \text{ donc } \Delta R \ll R=250m$$

Condition de chevauchement

$$\text{On a } \alpha_0 = \frac{L}{2R} = \frac{62.5 \times 180}{2 \times 250} = 7,16^\circ \leq 30^\circ \Rightarrow \text{pas de chevauchement}$$

$$\text{et } \Delta R \ll R1 \text{ et } \alpha_0 < 60^\circ$$

Méthode du centre conservé (MCC) est applicable :

On a :

$$T1A1 = T1E1 = L1/2 = 31.25 \text{ m}$$

$$T'1A'1 = T'1E'1 = L1/2 = 31.25 \text{ m}$$

$$A_1\left(-\frac{L}{2}; 0\right) = A(-31, 25; 0); N_1\left(0; \frac{\Delta R}{2}\right) = N(0; 0, 325); E_1\left(\frac{L}{2}; 4\Delta R\right) = E(31, 25; 2, 6)$$

$$A_1'\left(-\frac{L}{2}; 0\right) = A(-31, 25; 0); N_1'\left(0; \frac{\Delta R}{2}\right) = N(0; 0, 325); E_1'\left(\frac{L}{2}; 4\Delta R\right) = E(31, 5; 2, 84)$$

$$C_1T_1 = C_1T_1' = Rtg\left(\frac{\theta_1}{2}\right) = 175.6m$$

## 2- VIRAGE 2 :

Ripage :

$$\Delta R = \frac{L^2}{24R} = \frac{61.11^2}{24 \times 550} = 0.283m < 0.5m$$

On fixera  $\Delta R = 0.5m$  et on cherche L ?

On a :  $R = 550m$

$$L = \sqrt{24 * R * \Delta R} = 81.24m$$

Condition de chevauchement

$$\alpha_o = \frac{L}{2R} = \frac{81.29}{2 \times 550} = 0.0738 = 4.23^\circ < 20^\circ / 2 = 10^\circ \quad \text{Ok}$$

$$\Delta R \ll R \text{ et } \alpha_o < 60^\circ$$

Méthode du centre conservé (MCC) est applicable :

On a :

$$T_2A_2 = T_2E_2 = L / 2 = 40.62 \text{ m}$$

$$T_2'A_2' = T_2'E_2' = L / 2 = 40.62m$$

$$A_2 \left( -\frac{L}{2}; 0 \right) = A(-40.62; 0); N_2 \left( 0; \frac{\Delta R}{2} \right) = N(0; 0,25); E_2 \left( \frac{L}{2}; 4\Delta R \right) = E(40.62; 2)$$

$$A'_2 \left( -\frac{L}{2}; 0 \right) = A(-31,5; 0); N'_2 \left( 0; \frac{\Delta R}{2} \right) = N(0; 0,355); E'_2 \left( \frac{L}{2}; 4\Delta R \right) = E(31,5; 2,84)$$

$$C_2 T_2 = C_2 T'_2 = R \operatorname{tg} \left( \frac{\theta_2}{2} \right) = 127.6m$$

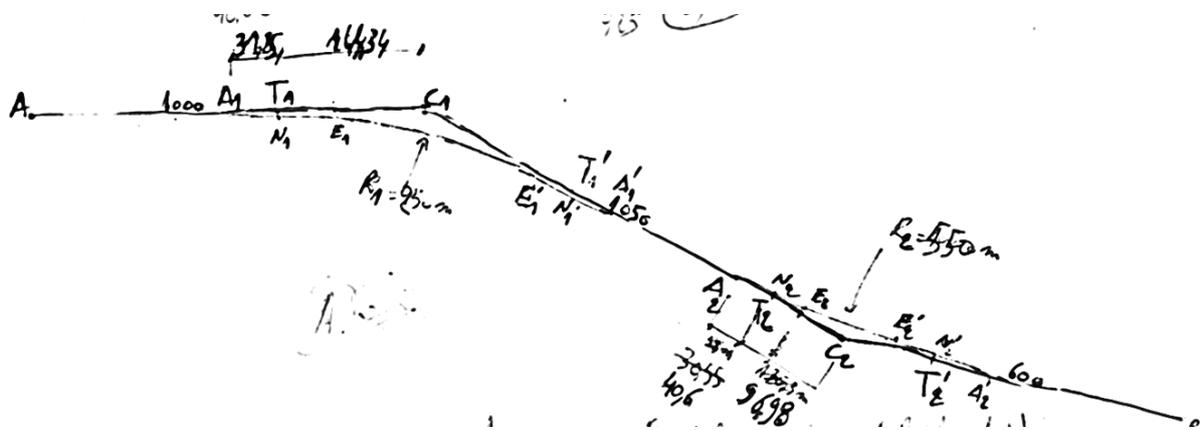


Fig. Ebauche du tracé en plan (virages)

### III. Ebauche du profile en long

Creux S1 : Pente-Rampe (-2% ;+1%) : angle rentrant R'V, Cat2, RVN, Vr=60Km/km

Angle rentrant ;  $R'_{VN} = 2400m; [Cat 2; R_{Normal}]$

$$|X_{A1}| = |X_{B1}| = R \left| \frac{0.02 + 0.01}{2} \right| = 36m$$

$$|Y_{A1}| = |X_{A1}| \times P = 36 * 0.02 = 0.72m$$

$$|Y_{B1}| = |X_{B1}| \times P' = 36 * 0.01 = 0.36m$$

$$X_{I1} = 0$$

$$Y_{I1} = \frac{0.72 + 0.36}{4} = 0,27m$$

$$|X_{j1}| = R \left| \frac{0.02 - 0.01}{2} \right| = 12m;$$

$$|Y_{j1}| = R \left| \frac{0.02 \times 0.01}{2} \right| = 0,24m$$

Creux S2 : Rampe-Rampe (1% ;+5%) : angle rentrant R'V, Cat2, RVN, Vr=60Km/km

$R_{V2} = R'_{VN} = 2400m; [Cat 2; R_{Normal}]$

$$|X_{A2}| = |X_{B2}| = R \left| \frac{0.01 - 0.05}{2} \right| = 48m$$

$$|Y_{A2}| = |X_{A2}| \times P = 48 * 0.01 = 0.48m$$

$$|Y_{B2}| = |X_{B2}| \times P' = 48 * 0.05 = 2.4m$$

$$X_{I2} = 0$$

$$Y_{I2} = \frac{-0.48 + 2.4}{4} = 0,48m$$

$$|X_{j2}| = R \left| \frac{0.01 - 0.05}{2} \right| = 48m;$$

$$|Y_{j2}| = R \left| \frac{0.01 \times 0.05}{2} \right| = 0,6m$$

Le point J n'existe pas (le point le plus haut)

Butte S3 : Rampe- Pente (+5% ; -3%) : angle saillant RV, chaussée unidirectionnelle, Cat2,

RVN, Vr=60Km/km

$$RV2 = R_{VN} = 2500m; [Cat2; R_{Normal}]$$

$$|X_{A3}| = |X_{B3}| = R \left| \frac{0.05 + 0.03}{2} \right| = 100m$$

$$|Y_{A3}| = |X_{A3}| \times P = 100 * 0.05 = 5m$$

$$|Y_{B3}| = |X_{B3}| \times P' = 100 * 0.03 = 3m$$

$$X_{I3} = 0$$

$$Y_{I3} = \frac{-5 - 3}{4} = -2m$$

$$|X_{j3}| = R \left| \frac{0.05 - 0.03}{2} \right| = 25m;$$

$$|Y_{j3}| = R \left| \frac{0.05 \times 0.03}{2} \right| = 1.873m$$

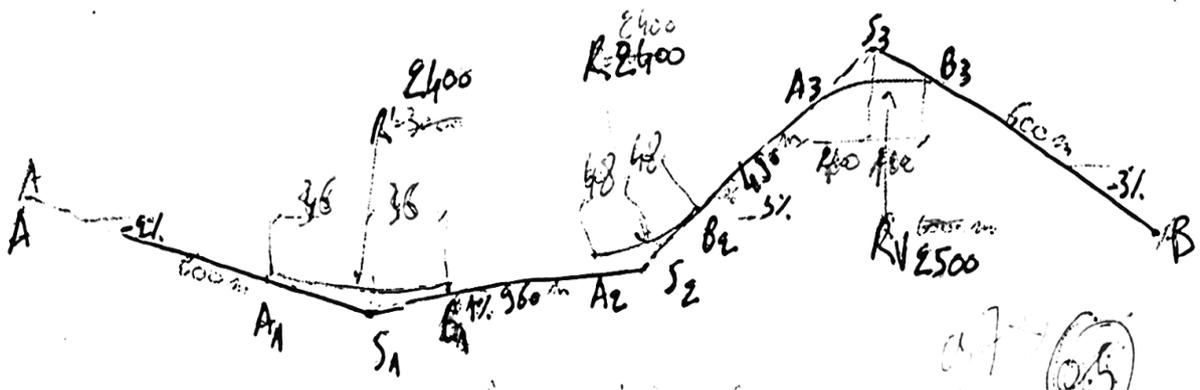


Fig. Ebauche du profil en long

### Corrigé Exercice 4 :

Dessin du profil en long complet :

Pour plus de détails voir l'étude similaire dans l'exercice 1.

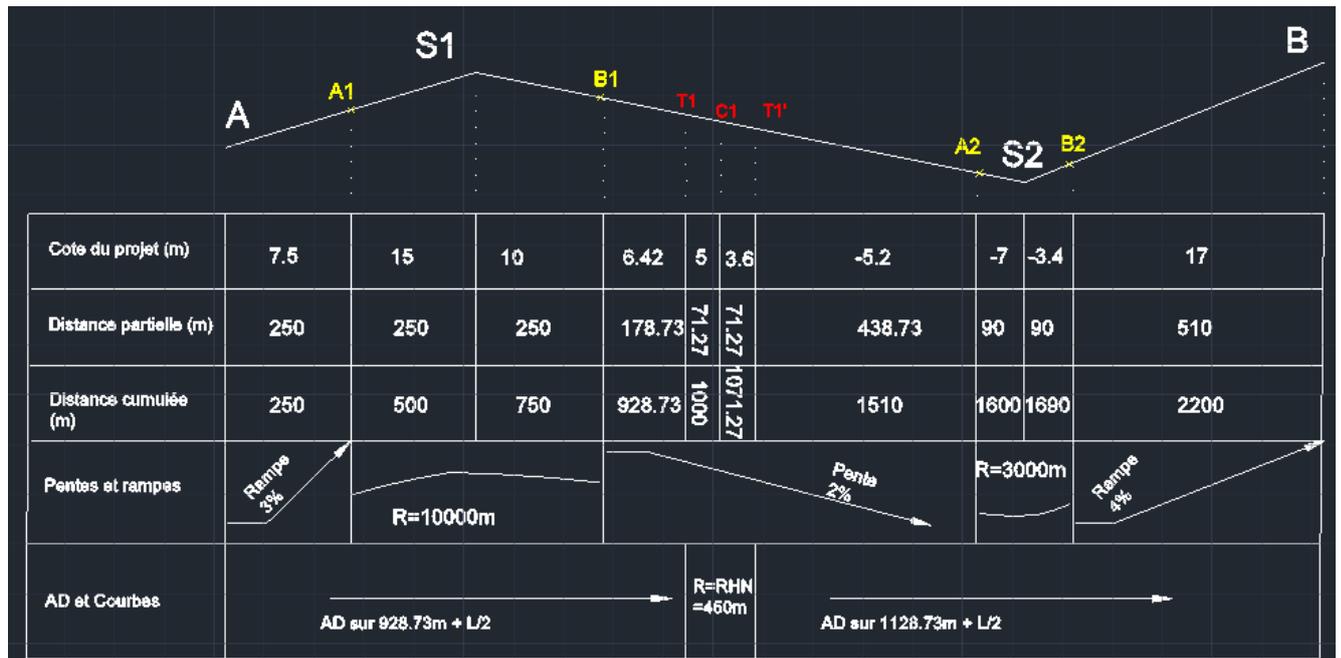


Figure. Profil en Long complet

# **Série de TD № 08**

## **(Profil en travers)**

## Série de TD № 08 (profil en travers)

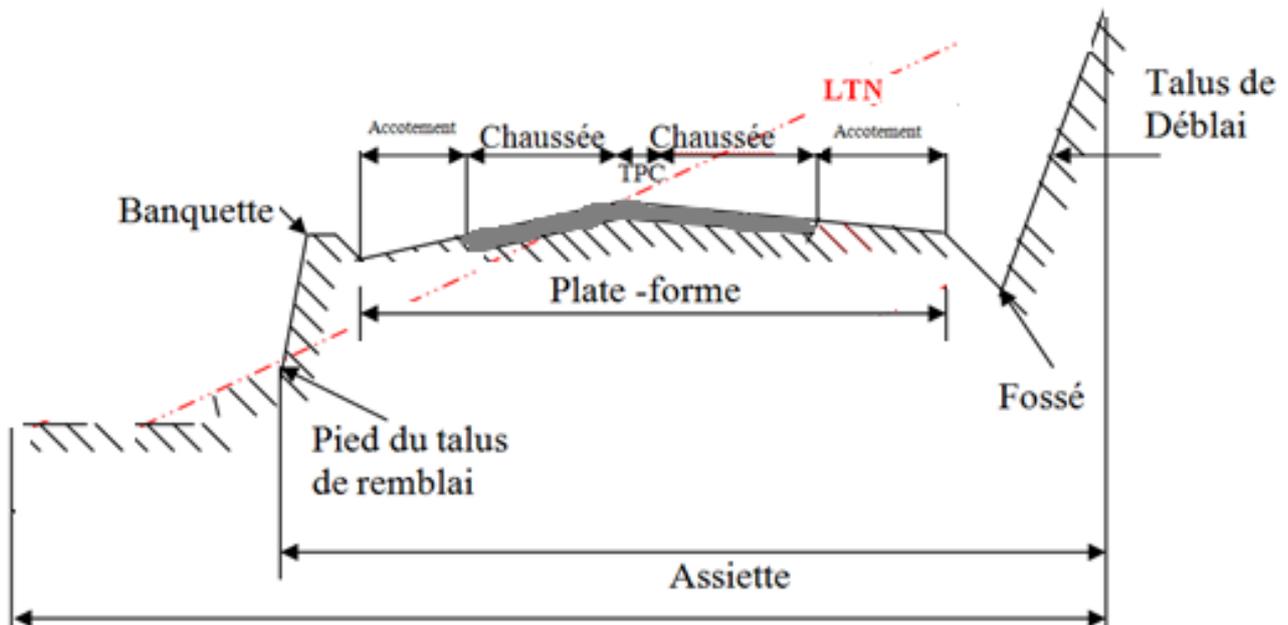
Le profil en travers est la coupe transversale dans le plan perpendiculaire de l'axe de la route.

Il est constitué des plusieurs éléments à savoir l'assiette, la plate-forme, la chaussée, les accotements, le terre-plein central et etc.... On distingue deux types de profils :

- Profil unique
- Profil courant

### Exercice 1 :

La figure suivante présente la coupe transversale de la route. Donner une brève définition de chaque élément.



### Exercice 2 :

On voudrait construire un virage de rayon minimal normal reliant deux AD faisant un angle  $\theta=15^\circ$ .

On donne aussi  $\alpha_0=7.16^\circ$ ,  $\Delta R=0.65m$ . Notant que la route bidirectionnelle est réalisée pour une vitesse de référence  $V_r=60$  km/h, Cat1 ; Env3.

- a- Rappeler de la condition de non chevauchement.
- b- Peut-on utiliser la méthode du centre conservé ?
- c- Calculer le devers de la clothoïde
- d- Dessiner la variation du devers

## Solution de la série de TD № 08 (profil en travers)

### Corrigé de l'exercice 1 :

Les éléments constitutifs de la chaussée sont :

**Ligne du terrain naturel (LTN):** Ligne qui représente le terrain tel qu'il était avant tous travaux de construction par rapport à cette ligne, la route est soit en remblai, soit en déblai ou soit mixte.

**Assiette :** c'est une partie de l'assiette. Elle est la surface de terrain occupée par la route et ses ouvrages annexes. Ses limites sont les pieds de talus en remblai et crête de talus en déblai.

**Plate-forme :** Surface de l'assiette, elle comprend la ou les deux chaussées, les accotements et éventuellement le terre-plein central.

**Chaussée :** Au sens géométrique du terme, c'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.

**Talus :** Ligne d'équilibre de la terre.

**Baquette :** Surélévation terrassée à la limite extérieure dominant un remblai afin d'assurer la sécurité des usagers des accotements.

**Terre-plein central (TPC) :** Au sens géométrique, le terre-plein central, s'étend entre les limites intérieures de deux chaussées.

**Accotement :** zone latérale qui s'étend de la limite de la chaussée à la limite de la plate-forme, généralement aménagée pour piétons, motocycles...etc. Il peut comprendre une surlargeur de la chaussée (supportant la bande de guidage) et une berme engazonnée.

**Fossé :** Ouvrage hydraulique aménagée latéralement qui est destiné à recevoir les eaux de ruissellement (ou de drainage) recueillies de la route et des talus.

### Corrigé de l'exercice 2 :

a- La condition de non chevauchement :  $\alpha_0 < \frac{\theta}{2}$

$$\alpha_0 = \frac{L}{2R} = 7.169^\circ$$

b- Méthode de centre conservé est applicable car elle vérifie les conditions suivantes :

$$\alpha_0 < 60^\circ \Rightarrow 7.16^\circ < 60^\circ$$

$$\Delta R \ll R \rightarrow 0.65 \ll 250\text{m.}$$

Pour  $Vr = 60\text{km}$  ;  $R_{hn}=250\text{m}$

#### Calcul du devers du R.P (la clothoïde):

La variation du devers en fonction de la longueur de la clothoïde est calculée en utilisant la formule suivante :

$$L = \frac{5}{36} \cdot \Delta d \cdot Vr \Rightarrow L_{final} = \frac{(d_{max} - d_{min(-)})}{7.2} \cdot Vr$$

Données de l'exercice :

$L=62.5\text{m}$  ;  $d_{ass}=d_{max}-2\%=5\%$  et  $d_{min(-)} = -2.5\%$  et  $Vr = 60\text{km} / h$

On obtient la variation du devers en fonction de la longueur de la clothoïde:

$$d_{\max} = 0.12 * L_{\text{final}} - 2.5\%$$

On prend chaque 10 mètres et on calcule son « devers » en supposant que c'est le max jusqu'à atteindre L=62.5m.

On cherche la valeur de L, pour un devers nul (=0%) :

$$d_{\text{pour:d=0\%}} = 0 = 0.12 * L_{\text{pour:d=0\%}} - 2.5\%$$

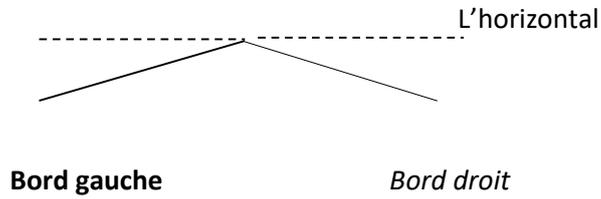
On trouve :  $L = (2.5/0.12) = 20.83\text{m}$

Les valeurs de devers calculés sont données dans le tableau suivant :

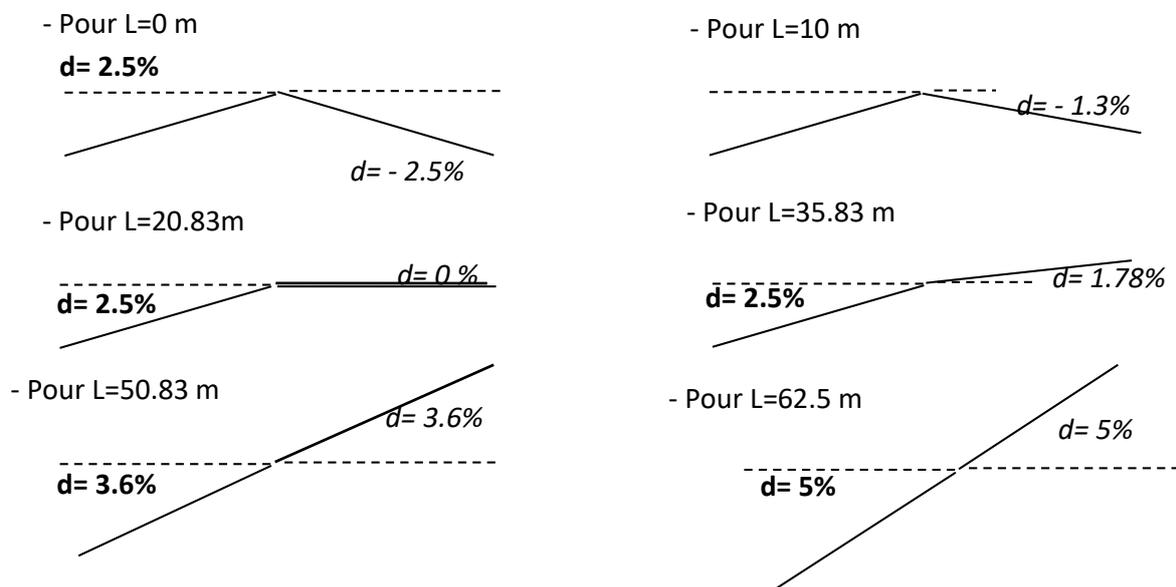
Tableau : La variation du devers en fonction de la longueur de la clothoïde

| Abscisse (m) | Devers gauche (%) | Devers droit (%) |
|--------------|-------------------|------------------|
| 0            | 2.5               | -2.5             |
| 10           | 2.5               | -1.3             |
| 20           | 2.5               | -0.1             |
| <b>20.83</b> | 2.5               | <b>0</b>         |
| 35.83        | 2.5               | 1.78             |
| 50.83        | 3.60              | 3.60             |
| 62.5         | 5                 | 5                |

La variation des devers sera présentée comme la figure ci-dessous :



La schématisation de variation du devers pour chaque abscisse de la clothoïde :



## **Exercices non résolus de la série TD 8 :**

### **Exercice :**

Une route bidirectionnelle est réalisée pour une vitesse de référence  $V_r=60$  km/h, Cat1 ; Env2.

On voudrait construire un virage de rayon minimal normal reliant deux AD faisant un angle  $\theta=16^\circ$ .

- 1- Etudier le virage en rappelant la condition de non chevauchement.
- 2- Tracer le virage.
- 3- Calculer le devers de la clothoïde
- 4- Dessiner la variation du devers

# Références bibliographiques

Benazzouz. B.K, Les Routes : Eléments géométriques du tracé routier/ Cours et Applications, Pages Bleues Editions, 2023.

Crottaz. R ; Moussally. N, Tracé des voies de circulation, tome 1 : éléments du tracé, école polytechnique fédérale de Lausanne, DGC, 1982.

Faure. M et al, Route, tome 1, les cours de l'ENTPE, 1997.

Gandil. P, Paute. J.L, Polycopié Cours de Route, École Nationale des Ponts et chaussées, 1988.

Kalli-Rahal, F.Z, Cours de route, Office des publications universitaires, 2014

Morsli. M, Polycopié Cours de Route, école nationale polytechnique, 2015.

MTP, Ministère des Travaux Publics, Réseaux routiers et autoroutier en Algérie : Consistance et perspectives, <http://www.mtp.gov.dz>, 2017.

MTP1 Ministère des Travaux Publics, Etude générales techniques et économiques des aménagements routiers : B40- Niveaux de service et normes, , direction des études générales et de la réglementation technique, Algérie, 1977.

MTP2, Ministère des Travaux Publics, Etude générales techniques et économiques des aménagements routiers : B40- Manuel du projeteur, direction des études générales et de la réglementation technique, Algérie, 1977.

MTP3, Ministère des Travaux Publics, Etude générales techniques et économiques des aménagements routiers : B40- Manuel d'application, direction des études générales et de la réglementation technique, Algérie, 1977.