

IV.1 Introduction :

Pour réussir tout projet de génie civil que ce soit des bâtiments ou travaux publics il faut procéder à une étude géotechnique poussée du site d'implantation. Car la pérennité de tout projet repose de la résistance du sol support et de sa fondation. Ainsi pour un projet routier il faut étudier minutieusement le terrain. Connaissant les propriétés et les caractéristiques nous arrivons donc à bien dimensionner le corps de chaussée.

Dans ce chapitre nous allons dans un premier temps définir la géotechnique et ses différents essais puis du dimensionnement du corps de chaussée.

IV.2 Géotechnique :

IV.2.1 Définition et objectifs :

La géotechnique est l'ensemble des activités liées aux applications de la Mécanique des Sols, de la Mécanique des Roches et la géologie.

La géotechnique constitue une partie incontournable lors de la réalisation d'une route ou d'un bâtiment. La géotechnique routière est la branche de la géotechnique qui traite des problèmes intéressant la route, dans toutes ses parties. Elle étudie notamment : les remblais, les fondations de chaussée, la construction des diverses couches de la chaussée.

Les objectifs d'une étude géotechnique permettent :

La géotechnique routière a pour but de :

- Déterminer les formations géologiques rencontrées ;
- Prévoir les modalités d'extraction des sols (nature des déblais et utilisation des engins à lame, ripeurs ou brise roche...) ;
- Prévoir les modalités de réemploi des sols en remblais ;
- Détecter les points durs du tracé, instabilité du talus de déblais, les fonds de vallées ;
- Apprécier l'hydrologie des sites traversés.

Pour cela on fait des essais au laboratoire permettant de déterminer les caractéristiques du sol support.

IV.2.2 Etapes lors d'une étude géotechnique :

Une étude géotechnique peut se faire en quatre étapes comme suit :

- Étude géotechnique préliminaire où l'ingénieur et un géologue expérimenté connaissant parfaitement la région concernée par le projet doivent effectués une visite du terrain pour choisir les futurs points de sondages ;
- Étude géotechnique complémentaire afin d'obtenir des informations géotechniques additionnelles en fonction des exigences du maitre de l'ouvrage concepteur ou pour la préparation des documents de soumission.
- Vérification géotechnique durant la construction pour s'ajuster aux nouvelles données du projet ;
- Suivi géotechnique à long terme du comportement des fondations et de la construction.

IV.2.3 Les moyens de la reconnaissance :

Les moyens de la reconnaissance d'un tracé routier sont essentiellement :

- L'étude des archives et documents existants.
- Les visites de site et les essais « **in-situ** ».
- Les essais de laboratoire

IV.2.3.1 L'étude des archives et documents existants :

Les études antérieures effectuées au voisinage du tracé sont source précieuse d'informations préliminaires sur la nature des terrains traversés.

Les cartes géologiques et géotechniques de la région, lorsqu'elles existent, peuvent aussi apporter des indications assez sommaires mais tout aussi précieuses pour avoir une première idée de la nature géologiques et géotechniques des formations existantes

IV.2.3.2 La visite de site et les essais « **in-situ** » :

Les visites sur site permettent de vérifier et de préciser les informations déjà recueillies sur les documents précédemment cités. Cependant, la connaissance précise des caractéristiques des sols en présence nécessite des investigations « **in-situ** » permettant :

- ✓ Soit la mesure de certaines caractéristiques en place.
- ✓ Soit le prélèvement d'échantillons pour les besoins d'essais de laboratoire.

Dans la plupart des cas, ces deux éléments sont combinés.

IV.2.3.2.a La reconnaissance « in-situ » :

La première reconnaissance visuelle, permet d'arrêter un premier programme de Reconnaissance « in-situ » en fonction des sols rencontrés et des problèmes géotechniques pressentis.

Le programme peut comprendre une gamme assez variée d'investigation que l'on présentera succinctement dans ce qui suit :

❖ Les forages :

C'est le seul moyen précis pour reconnaître l'épaisseur et la nature des couches des sols en présence, on y prélève généralement des échantillons de sols remaniés ou intacts pour les besoins d'essais de laboratoire.

Les forages permettent aussi de reconnaître le niveau des nappes éventuelles et le suivi de leur niveau à l'aide de types piézométrique.

Les forages peuvent être réalisés :

- **Manuellement :**

Ce sont des puits creusés à la main ou à la pelle mécanique, la profondeur ne dépasse pas **3 à 4m**.

Ils permettent la reconnaissance visuelle directe des parois du puits et le prélèvement d'échantillons intacts **et/ou** remaniés.

- **A la tarière :**

La tarière est un outil hélicoïdal que l'on enfonce dans le sol et permettent de remonter en surface les terrains traversés à l'état remanié.

La profondeur de la reconnaissance est limitée à une **dizaine de mètres** et la nature de sols est identifiée visuellement.

- **A la sondeuse :**

On peut atteindre plusieurs **dizaines de mètres** de profondeur en utilisant des tubes carottiers et couronnes diamantées.

Les couches de sols sont identifiées visuellement, des échantillons intacts ou remaniés sont prélevés pour les essais de laboratoire

- **Les méthodes géophysique :**

1. **La prospection sismique :**

Le principe consiste à mesurer la vitesse de propagation des ondes primaires ou ondes **P** (les plus rapides) et à en déduire la nature du sol traversé.

Tableau IV.1 : Les valeurs de vitesses d'ondes P en fonction de la nature du sol

Nature du sol	Vitesse Vp (m/s)
Argiles et limons	400-1500
Sables et gravies	300-1200
Roches altérées	800-2500
Roches massives	200-6000

Ces méthodes permettent de déterminer de façon approximative l'épaisseur des différentes couches et leur nature, elles ne s'appliquent pas dans le cas de fortes teneurs en eau.

1. **La prospection électrique :**

Cette méthode est basée sur la mesure de la résistance électrique d'un volume de sol entre deux électrodes placées en surface, elle permet de connaître les différentes couches de sols et leurs épaisseurs, et en général de contrôler l'homogénéité des terrains.

La méthode est bien adaptée pour les sols à fortes teneurs en eau.

- **Les essais de pénétration :**

Le principe consiste à enfoncer dans le sol un train de tiges muni d'une pointe ou d'une trousse coupante à son extrémité et de mesure de la résistance du sol à l'effort de pénétration.

Les types de pénétromètres qui sont utilisés :

- Pénétromètre dynamique.
- Le standard pénétromètre test ou **SPT**.
- Pénétromètre statique.

IV.2.3.3. Essais au laboratoire :

Ses essais sont nombreux et se divisent principalement en essais d'identification, mécaniques, physico-chimiques, de béton et aux produits noirs.

Les essais au laboratoire ont été basés essentiellement sur les échantillons récupérés au niveau des sondages carottés.

a. Essais d'identification :

Ses essais permettent la classification des sols et la connaissance de leur état in situ particulièrement la teneur en eau et la densité. Ces deux paramètres sont primordiaux pour définir les conditions d'extraction des matériaux et de leur mise œuvre.

Il existe :

- L'analyse granulométrique ;
- Mesures des limites d'Atterberg ;
- La masse volumique absolue et apparente ;
- Le coefficient d'aplatissement, etc....

b. Essais physico-chimiques :

- Teneur en carbonate ;
- Teneur en sulfates ;
- Valeur au bleu de méthylène.

c. Essais mécaniques :

Ils permettent de déterminer la résistance des sols au cisaillement. Il existe :

- Essai Proctor Normal/ Modifié ou **CBR** ;
- Essai de Marshall ;
- Essai Micro-deval ;
- Compressibilité à l'odomètre.
- Cisaillement rectiligne, etc....

d. Essais aux produits noirs :

Ses essais sont nombreux et nous pouvons citer :

- Essai d'extraction du liant ;
- Essai Marshall ;
- Essai de détermination de la densité,
- Essai de Micro-deval, etc.

IV.4. Dimensionnement d'une chaussée :

IV.4.1 Définition de la chaussée :

IV.4.1.a Au sens géométrique :

C'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.

IV.4.1.b Au sens structurel :

C'est l'ensemble des couches des matériaux superposées de façon à permettre la reprise des charges.

Les chaussées se présentent comme des structures multicouches mises en œuvre sur un ensemble appelé plate-forme support de chaussée, constituée du sol terrassé, dit sol support, le plus souvent surmonté d'une couche de forme.

IV.4.2 Constitutions et rôles d'une chaussée

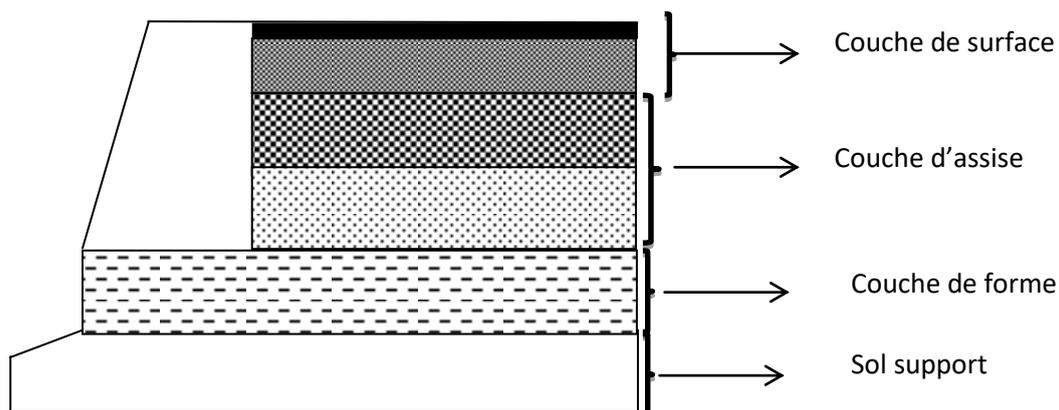


Figure IV.1 : Coupe transversale d'une chaussée

Une coupe transversale de la chaussée ci-dessus montre qu'elle est constituée de :

IV.4.2.1. Couche de surface :

Elle comprend la couche de roulement et de celle de liaison. Elle est en contact direct avec les pneumatiques des véhicules et les charges extérieures.

➤ La couche de roulement joue plusieurs rôles dont :

- ✓ Transmission des charges provoquées par la circulation à la couche suivante ;
- ✓ Encaisse les efforts de cisaillement ;

- ✓ Imperméabilité de la couche à l'eau ;
- ✓ Assure la sécurité et le confort des usagers ;
- La couche de liaison a pour rôle essentiel :
 - ✓ Assurer une transition avec les couches inférieures plus rigides ;
 - ✓ Boucher les trous de la couche inférieure par le cut-back ;
 - ✓ Stabiliser la couche de base.

IV.4.2.2. La couche d'assise :

Elle comprend la couche de base et de celle de fondation.

➤ Couche de base :

La couche de base a pour rôle essentiel de reprendre les efforts verticaux reçus de la couche de surface et de les transmettre aux couches sous-jacentes. Elle constitue la couche la plus importante de tout le corps de la chaussée.

➤ Couche de fondation :

Elle joue le même rôle que la couche de base en transmettant les charges au sol support et éventuellement à la couche de forme.

IV.4.2.3. Couche de forme :

Cette couche est généralement utilisée dans certains cas exceptionnels en fonction de l'état de la nature du sol support :

- Sur un sol rocheux, on utilise la couche de forme pour effectuer un nivellement afin d'aplanir la surface avant de mettre en œuvre la couche de fondation ;
- Lorsqu'un sol est de faible capacité portante, la mise en œuvre de la couche de forme intervient pour augmenter la résistance du sol.

IV.4.3 Les différents types de chaussée :

Il existe quatre (3) types de chaussée :

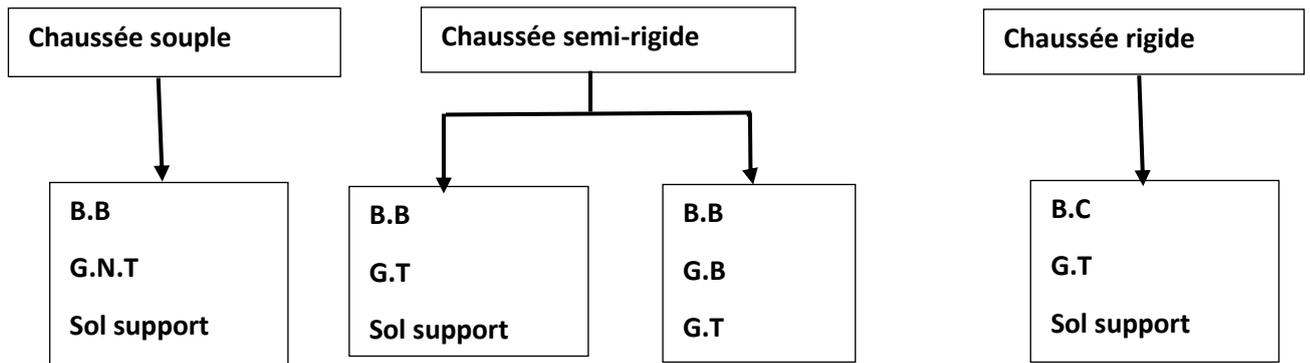


Figure IV.2 : Dessin Explicatif de types de chaussée

B.B : Béton Bitumineux

G.N.T : Grave Non Traitée

G.T : Grave Traitée

G.B : Grave bitume

BC : Béton Ciment

IV.4.3.1 Chaussée souple :

Elle est la plus utilisée car elle offre des bonnes qualités mécaniques et elle est constituée par un ensemble de couches à base de bitume ;



Figure IV.3 : chaussée souple

IV.4.3.2 Chaussée semi – rigide :

Elle comporte une couche de surface bitumineuse reposant sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une ou deux couches ;

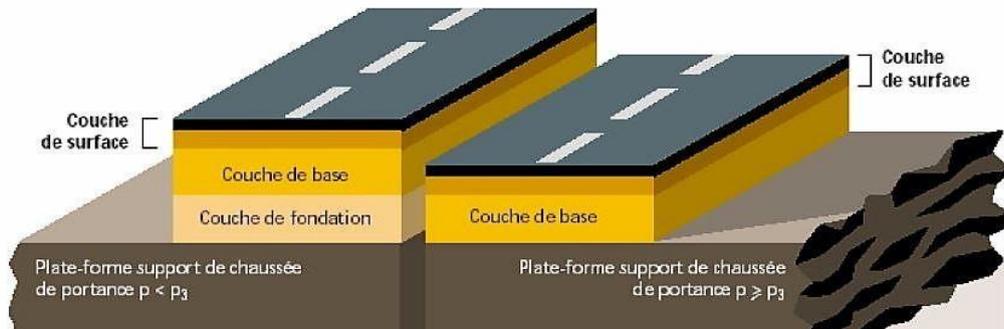


Figure IV.4 : structure de chaussée semi-rigide

IV.4.3.3 Chaussée rigide :

Elle est constituée par une couche de surface reposant sur une dalle en béton armé et par une couche de fondation dont le matériau dépend de la nature du sol.

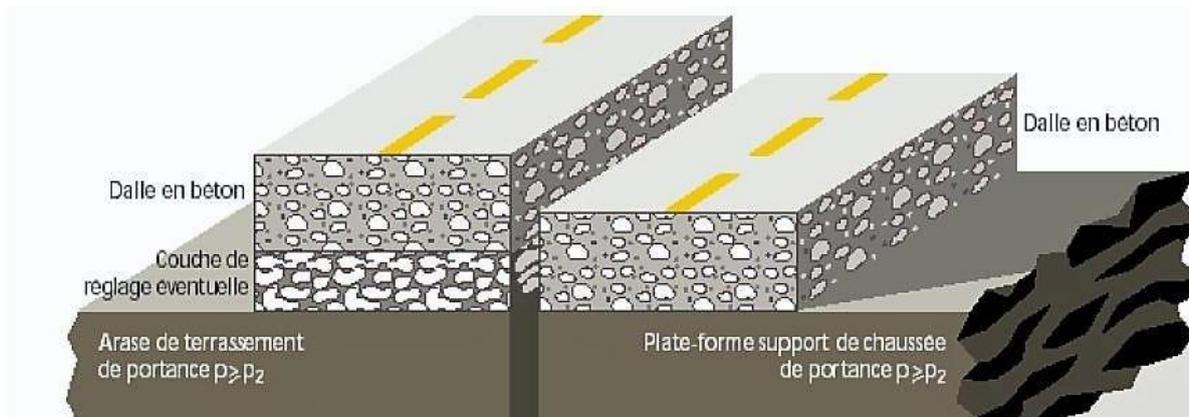


Figure IV.5 : structure de chaussée rigide

IV.4.4 Les différents facteurs déterminants pour le dimensionnement de la chaussée :

Le nombre des couches, leurs épaisseurs et les matériaux d'exécution, sont conditionnés par plusieurs facteurs parmi les plus importants sont :

IV.4.4.1 Le Trafic :

La connaissance du trafic et principalement du poids lourd, constitue un des éléments essentiels pour un bon dimensionnement de la structure de chaussée.

Ce trafic s'exprime généralement par deux paramètres :

Le **TJMA** à la mise en service qui permet de choisir les matériaux nécessaires pour la construction de la chaussée.

Le nombre cumulé d'essieux de référence passant sur la chaussée tout au long de sa durée de vie et qui sert à faire le calcul de dimensionnement proprement dit.

Trafic « poids lourd » comprend tous les véhicules dont la charge utile est supérieure ou égale à 5 tonnes.

IV.4.4.2 Le climat et l'environnement :

Le climat et l'environnement influent considérablement sur la bonne tenue de la chaussée en termes de résistance aux contraintes et aux déformations.

L'amplitude des variations de température et la température maximum interviennent dans le choix du liant hydrocarboné.

Les précipitations liées aux conditions de drainage conditionnent la teneur en eau du sol support et donc sa portance ainsi que les possibilités de réemploi des matériaux de déblai en remblai.

IV.4.4.3 Le sol support :

Les sols support sont, en général, classés selon leur portance, elle même fonction de l'indice CBR.

Tableau IV.2 : classe de portance des sols Si

Portance (Si)	CBR	Interprétation
S4	< 5	Très mauvaise portance
S3	5-10	Mauvaise portance
S2	10-25	Portance moyenne
S1	25-40	Bonne portance
S0	> 40	Très bonne portance

➤ Sur classement des sols support :

Pour améliorer la portance d'un sol (< S4 en RP2, <S4 et S3 en RP1), on a recours aux couches de formes.

Le (CTTP) a fait des recherches sur la variation du CBR selon les différentes épaisseurs de **CF**, le mode de sa mise en place (nombre de couches) et la nature du matériau utilisé (les plus

répandus en Algérie) pour la réalisation de la couche de forme.

Les résultats de ces recherches sont résumés dans tableau suivant :

Tableau IV.3 : sur classement de sol support

Classe portance du sol terrassé (Si)	Matériaux de C.F	Épaisseur de C.F	Classe portance du sol support visée (Sj)
<S4	Matériau N.T	50cm (en 2c)	S3
S4	Matériau N.T	35cm	S3
S4	Matériau N.T	60cm (en 2c)	S2
S3	Matériau N.T	40cm (en 2c)	S2
S3	Matériau N.T	70cm (en 2c)	S2

IV.4.4.4 Les matériaux :

Les matériaux utilisés doivent être conformes aux exigences en fonction de la couche de chaussée concernée et du trafic PL.

IV.4.5 Méthodes de dimensionnements :

Il existe deux grandes méthodes de dimensionnement :

- Les méthodes empiriques et semi-empiriques qui utilisent les résultats des essais au laboratoire ;
- Les méthodes rationnelles ou théoriques basées sur un modèle mécanique théorique du comportement des chaussées pour la détermination des contraintes et déformations.

IV.4.5.1 Méthodes empiriques :

IV.4.5.1.a Méthode C.B.R (California Bearing Ratio) :

C'est une méthode semi empirique qui se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon du sol support en le compactant dans des éprouvettes normalisées.

- ❖ Si : $T_{JMA} \times 365 \times 1.5(t) < 100000$ t/ans, l'épaisseur est donnée par la formule suivante :

$$e(cm) = \frac{100 + 150\sqrt{P}}{I_{CBR} + 5}$$

- ❖ Si : $T_{JMA} \times 365 \times 1.5(t) \geq 100000$ t/ans

- ❖ En tenant compte de l'influence du trafic, la formule de l'épaisseur devient :

$$e(cm) = \frac{100 + (\sqrt{p})(75 + 50 \log \frac{N}{10})}{I_{CBR} + 5}$$

Avec :

I_{CBR} : indice **CBR** ;

N : désigne le nombre de poids lourds de plus 1500 kg à vide ;

P : charge par roue $P = 6.5 \text{ t}$

Log : logarithme décimal.

Les formules précédentes donnent une épaisseur équivalente correspondant à un même matériau pour toutes les couches de la chaussée. Sachant que le matériau utilisé pour chaque couche diffère, il faudra alors utiliser les coefficients (a_i), tel que : $e = \sum a_i x e_i$

a_i : coefficient d'équivalence de chacun de matériau à utiliser.

Tableau IV.4 : Les valeurs des coefficients d'équivalence

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence a_i
Béton bitumineux (BB)	2.00
Grave ciment (GC)	1.50
Sable ciment	1.00 à 1.20
Grave concassée ou gravier	1.00
Grave roulée – grave sableuse	0.75
Sable	0.50
Grave bitume	1.60 à 1.70
Tuf	0.60

IV.4.5.1.b Méthode d'asphalte institue :

Cette méthode est basée sur les résultats obtenus des essais «AASHO » : American Association of Highway Official. On prend en considération le trafic composite par échelle de facteur d'équivalence et utilise un indice de structure tenant compte de la nature des diverses couches.

L'épaisseur sera déterminée en utilisant l'abaque de l'asphalte institue.

IV.4.5.1.c Méthode AASHO :

Cette méthode empirique est basée sur des observations du comportement, sous trafic des chaussées réelles ou expérimentales.

- Chaque section reçoit l'application d'environ un million des charges roulantes qui permet de préciser les différents facteurs :
- L'état de la chaussée et l'évolution de son comportement dans le temps.
- L'équivalence entre les différentes couches de matériaux.

- L'équivalence entre les différents types de charge par essieu.
- L'influence des charges et de leur répétition.

IV.4.5.2 Méthodes rationnelles :

L'approche rationnelle utilise les catalogues de dimensionnement.

Elles sont basées sur la mécanique de milieu continu et sur la résistance des matériaux. Ces dernières présentent l'avantage de pouvoir être appliquées à des structures des différents types et divers chargement du trafic.

Le comportement des matériaux de chaussées et de la plateforme sera représenté avec des modèles mathématiques. Les sollicitations subies par les mouvements sous l'effet du trafic seront déterminés, elles sont ensuite comparées aux sollicitations admissibles.

IV.4.5.2.1 Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves :

L'utilisation de catalogue de dimensionnement fait appel aux mêmes paramètres utilisés dans les autres méthodes de dimensionnement de chaussées : trafic, matériaux, sol support et environnement.

Ces paramètres constituent souvent des données d'entrée pour le dimensionnement, en fonction de cela on aboutit au choix d'une structure de chaussée donnée.

La Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves est une méthode rationnelle qui se base sur deux approches :

- ✓ Approche théorique.
- ✓ Approche empirique

IV.5 Application au projet :

IV.5.1 Méthode de l'indice CBR :

IV.5.1.1 Données de trafic :

Les paramètres considérés dans le calcul sont :

- ✓ Taux de trafic année 2013 ($T = 11\ 651\ \text{V/J/2 sens}$)
- ✓ Taux de poids lourd = 17.6 %
- ✓ Taux d'accroissement = 4%
- ✓ Durée de vie = 20 ans
- ✓ Année de mise en service 2018

- ✓ $TPL_i = T/2 \times (1.04)^5 \times 0.176$ (classe **TPL5**) = 1248 PL/J/sens
- ✓ Tialet appartient à la zone climatique II : pluviométrie $600 > 350$ mm/an

IV.5.1.2 Répartition du trafic :

- ✓ $T_{2013} = 11651$ (V/j/2sens).
- ✓ $TJMA_{2013} = 5826$ (V/j/sens).
- ✓ $TPL_{2018} = \frac{T}{2} \times (1+\tau)^5 \times 0.176 = 5826 \times (1+0,04)^5 \times 0.176 \approx 1248$
(PL/j/sens)
- ✓ $TPL_{2038} = TPL_{2018} \times (1+\tau)^{20} = 1248 \times (1+0.04)^{20} \approx 2735$ (PL/j/sens)

Entre le PK 38+00 et le PK 43+00 IC.B.R=3.2

$TMJA \times 365 \times 1.5t \geq 100000$ t/ans $\Rightarrow 11651 \times 365 \times 1.5 = 6378922$ (t/ans) > 100000
(t/ans)

$$\text{Donc } e = \frac{100 + \sqrt{P} (75 + 50 \log \frac{N}{10})}{I_{CBR} + 5} \Rightarrow e = \frac{100 + \sqrt{6.5} (75 + 50 \log \frac{2735}{10})}{3.2 + 5} = 73.39 \text{ cm}$$

✓ L'épaisseur totale : $e = 73.39$ cm ≈ 73 cm.

✓ Epaisseur équivalente : $e_{\text{équivalente}} = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3$.

Pour proposer le dimensionnement de la structure de notre chaussée, il nous faut résoudre l'équation suivante :

$$a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3 = 73 \text{ cm.}$$

Pour résoudre l'équation précédente, on fixe 2 épaisseurs et on calcule la 3^{ème}

✓ **Couche de roulement** en béton bitumineux (**B.B**) : $a_1 \times e_1 = 6 \times 2 = 12$ cm.

✓ **Couche de base** en grave bitume (**G.B**) : $a_2 \times e_2 = 20 \times 1.7 = 34$ cm.

Donc L'épaisseur de la **couche de fondation** e_3 en (**G.N.T**) est

de : $a_3 \times e_3 = 27 \times 1 = 27$ cm

$$e_{\text{équivalent}} = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3 = 6 \times 2 + 20 \times 1.7 + 1 \times 27 = 73$$

NB : Pour des considérations pratiques on prend $e_{\text{GNT}} = 30$ cm

Tableau IV.5 : structure de la chaussée selon la méthode CBR

Couches	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence (ai)	Epaisseur équivalente (cm)
BB	06	2.0	12
GB	20	1.7	34
GNT	25	1.0	27
TOTALE	51		73

Couche de roulement = 06 cm BB

Couche de base = 20 cm GB

Couche de fondation = 30 cm GNT

06BB+20GB+30GNT

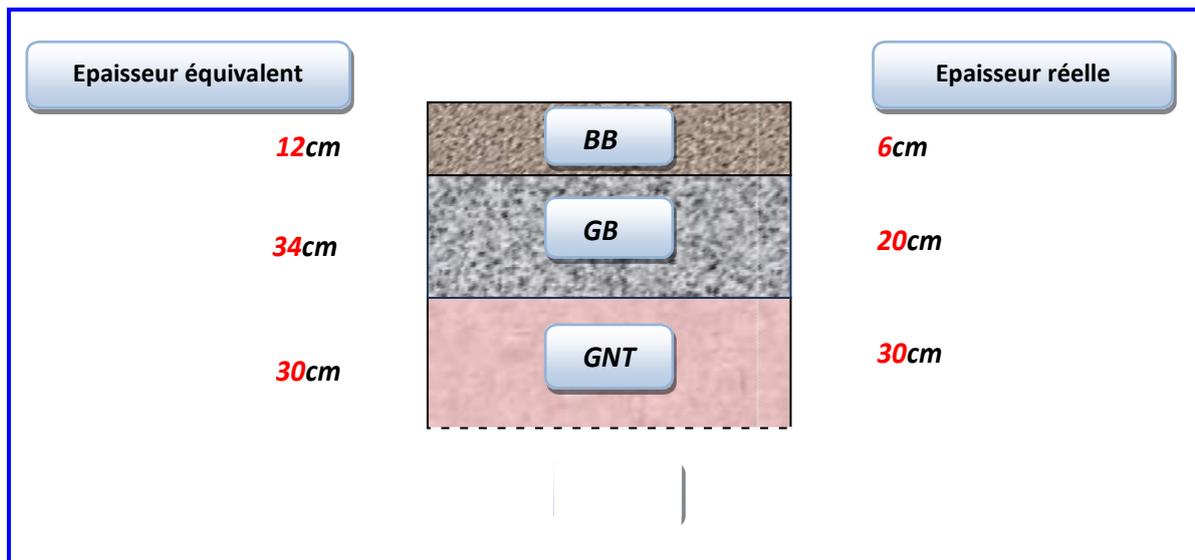


Figure IV.6 : structure de chaussée par la méthode CBR