

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN DE TIARET



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Spécialité : Génie Civil

Option : V.O.A

Présenté par :

KHELIL Mhamed

Ghلام Mustapha

Sujet du mémoire

**DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES
ROUTIERES CAS RN40A**

Soutenu publiquement ledevant le jury composé de :

Mr, DRAICHE Kada

Mr, TLIDJI Youcef

Mme, KHELIFA Zoubida

Mr, ABDELAZIZ Hadj Henni

Président

Rapporteur

Examineur

Examineur

PROMOTION : 2019-2020

Résumé

La route est un instrument indispensable au développement d'un pays. A cet effet, l'homme cherche toujours à développer la route en réalisant des chaussées assurant à la fois la sécurité et le confort aux usagers, le développement technologique a donné au monde l'invention de l'automobile, cette dernière fait l'objectif des ingénieurs routiers pour la préoccupation relative à la vitesse c'est-à-dire de chercher un uni parfait et des caractéristiques géométriques nouvelles adaptées à la circulation rapide en incluant les paramètres de sécurité. Le présent mémoire traite l'étude de dimensionnement de renforcement de corps de chaussée de la route nationale RN 40A wilaya de Tiaret sur une distance de 18 kms par deux méthodes, méthode CBR et celle du catalogue algérien (CTTP) et la comparaison entre eux.

Mot clés : Chaussée, Dimensionnement, Méthode CBR, Catalogue algérien.

Abstract

The road is an essential instrument for the development of a country. To this end, man is always seeking to develop the road by creating pavements ensuring both safety and comfort to users, technological development has given the world the invention of the automobile, the latter being the objective road engineers for the concern relating to speed, that is to say to seek a perfect uniformity and new geometric characteristics adapted to fast traffic by including the safety parameters. This brief deals with the dimensioning study for the reinforcement of the road body of the RN 40A national road wilaya of Tiaret over a distance of 18 km by two methods, the CBR method and that of the Algerian catalog (CTTP) and the comparison between them.

Key words: Pavement, Design, CBR method, Algerian catalog.

ملخص

الطريق أداة أساسية لتنمية أي بلد. تحقيقاً لهذه الغاية ، يسعى الإنسان دائماً إلى تطوير الطريق من خلال إنشاء أرصفة تضمن السلامة والراحة للمستخدمين ، وقد أعطى التطور التكنولوجي للعالم اختراعاً للسيارة ، وكان الأخير هو مهندسو الطرق الموضوعيون للقلق المتعلق بالسرعة ، وذلك هو السعي لتحقيق التوحيد المثالي والخصائص الهندسية الجديدة التي تتكيف مع حركة المرور السريعة من خلال تضمين معايير الأمان. يتناول هذا العمل دراسة الأبعاد لتقوية جسم الرصفة للطريق الوطني A40 بولاية تيارت على مسافة 18 كم بطريقتين ، طريقة CBR وطريقة النموذج الجزائري (CTTP) والمقارنة بينهما.

الكلمات المفتاحية : رصفة , تصميم , طريقة CBR , النموذج الجزائري.

SOMMAIRE

Résumé	i
Abstract	ii
ملخص.....	iii
SOMMAIRE	iv
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	vii
Introduction générale:	1
CHAPITRE I ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE	2
I. Généralités sur les chaussées :	3
I.1. Historique :	3
I.2. Introduction :	3
I.3. Constitution d'une chaussée :	3
I.4. Types des chaussées :	6
I.5. Méthode de dimensionnement des structures de chaussée :	7
I.6. Les modèles de la mécanique des chaussées :	13
CHAPITRE II CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES DE CHAUSSEE	18
II.1 Principe de dimensionnement d'une chaussée :	19
II.2 Conception de la plate-forme :	20
II.3. Le dimensionnement des couches d'assises ou (conception du corps de chaussée) : .	32
II.4 Dégradations des chaussées :	39
CHAPITRE III <i>PRESENTATION DU PROJET</i>	44
III.1. Introduction :	45
III.2. Aperçu Général sur la Wilaya de Tiaret :	45
III.3. Description générale du tracé :	53
III.4. Historique de la RN40A :	53
III.5. Recueil des données :	54
III.6. Relevé de dégradations de la chaussée :	55
III.7. Données sur les sondages sous chaussée :	57
III.7.1. Reconnaissance du Sol support :	58
III.8 Conclusion :	77
CHAPITRE IV DIMENSIONNEMENT DE CORPS DE CHAUSSEE; CAS RN 40A.	78

IV.1 Introduction :	79
IV.2 METHODE DE C.B.R (CALIFORNIA – BEARING – RATIO) :	79
IV.3 Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves Algérien CTTP : .	81
IV.4 Conclusion:	88
CONCLUSION GENERALE	89
Conclusion générale	90
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIE	91

Liste des figures

Fig. (I.1) : Nomenclature d'une chaussée	6
Fig. (I.2) : Diffusion des pressions dans un massif de Boussinesq.....	13
Fig. (I.3) : Modèle Bicouche	15
Fig. (I.4) : Schéma du modèle de Westergaard.....	16
Fig. (I.5) : Schéma du modèle de Burmister [Burmister. 1943].....	16
Fig. (III.1) : Les limites de la wilaya de Tiaret	46
Fig. (III.2) : Topographie et morphologie de Tiaret.....	47
Fig. (III.3) : Etages bioclimatiques.....	48
Fig. (III.4) : Indice de Pluviosité (IP) durant la période 1984-2015	49
Fig. (III.5) : Extrait des cartes géologique et hydrogéologique de Tiaret	51
Fig. (III.6) : Les plus importants séismes d'Algérie entre 1900 à 2003.....	52
Fig. (III.7) : Préparation des échantillons.....	59
Fig. (III.8) : Mode opératoire l'essai analyse granulométrique par tamisage	60
Fig. (III.9) : Matériel pour détermination de la limite de liquidité et la limite de plasticité	61
Fig. (III.10): Mode opératoire pour détermination de la limite de liquidité.....	62
Fig. (III.11): Mode opératoire pour détermination de la limite de plasticité	63
Fig. (III.12): Mode opératoire d'essai de bleu méthylène.....	64
Fig. (III.13): Mode opératoire	65
Fig. (III.14): Appareillage pour l'essai Proctor.....	66
Fig. (III.15): Mode opératoire de l'essai Proctor	68
Fig. (III.16): Mode opératoire de l'essai CBR	72
Fig (III-17) : Analyse granulométrique	74
Fig (III-18) : Limites d'Atterberg.....	75
Fig. (IV.1) : Position de projet dans la carte climatique de l'Algérie (fascicule N° 1 (2001CTTP)).	83

Liste des tableaux

Tableau (I.1): Types d'essieu standard et performance du sol support.....	11
Tableau (I.2): Performance mécanique des couches de chaussée	12
Tableau (II.1) : synoptique de classification des matériaux selon leur nature	21
Tableau (II.2) : extrait du GTR, fascicule I: Rappel des différents cas possibles de P.S.T. 28	
Tableau (II.3) : classe de plate-forme.....	29
Tableau (II.4) : classe d'arase	30
Tableau (II.5) : Durée de vie adoptée.....	34
Tableau (II.6) : Risques adoptés pour le réseau RP1	35
Tableau (II.7) : Risque adoptés pour le réseau RP2.....	35
Tableau (II.8) : Zones climatiques de pluviométrie	36
Tableau (II.9) : Choix des températures équivalents.....	37
Tableau (II.10) : Classes de portance à long terme du sol-support	38
Tableau (III.1) Précipitations moyennes annuelles de Tiaret.....	48
Tableau (III.2) Les Températures minimales et maximales de Tiaret	49
Tableau (III.3) : Résultats des essais d'identifications.....	73
Tableau (III.4) : Résultats des essais de portance	73
Tableau (IV.1) : les coefficients d'équivalence pour chaque matériau.....	80
Tableau (IV.2) : La répartition des épaisseurs	81
Tableau (IV.3) : Choix des températures équivalentes (fascicule N°2(CTTP2001)).	84
Tableau (IV.4) : Type de réseau.....	84
Tableau (IV.5) : Classe du trafic	85
Tableau (IV.6): Risque adopté pour le réseau RP1	85
Tableau (IV.7): Présentation des classes de portance des sols.....	86
Tableau (IV.8): Sur classement avec couche de forme en matériau non traité.....	86
Tableau (IV.9): Structures proposées par le catalogue Algérien (fascicule N° 03)	87

Introduction générale:

A l'instar de nombreux réseaux routiers dans le monde, le réseau Algérien est constitué principalement de structures de chaussées souples comportant des assises de fondation granulaires de qualités diverses reposant sur des sols-supports de portances différentes présentant souvent d'importantes variations de rigidité en profondeur. Par ailleurs, un dimensionnement adéquat d'une structure de chaussée souple ou en d'autres termes, la détermination optimale des épaisseurs des couches constitutives du corps de chaussée passe inévitablement par une bonne connaissance des caractéristiques réelles des plates-formes de sols-supports et notamment du comportement mécanique non-linéaire des matériaux utilisés dans les assises de fondation.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres :

Le premier chapitre commence par les généralités sur les routes à travers lequel la constitution et les différents types de chaussées sont exposés ainsi que les matériaux utilisés en corps de chaussée.

Le second chapitre présente dimensionnement routier, en faisant un bref rappel des différentes étapes dans le processus de mise en place des techniques et méthodes de dimensionnement des chaussées ainsi les dégradations des chaussées.

Les deux dernier chapitre présentent l'étude de dimensionnement de renforcement de la route nationale RN40A entrant dans le cadre de l'opération de remise à niveau des routes nationales lancée par la direction des travaux publics de la wilaya de Tiaret.

CHAPITRE I
BIBLIOGRAPHIQUE

ETUDE

I. Généralités sur les chaussées :

I.1. Historique :

De tout temps, l'homme a besoin de circuler. L'idée du matelas pierreux a survécu de nombreux siècles. Elle s'est développée à l'époque des Romains pour donner naissance à la chaussée romaine: le dallage.

Plus tard la route empierrée «macadam» a fait son apparition et avec elle, les premières spécifications en construction routière.

Ce pendant le développement des véhicules lourds au début du XX^{ème} siècle, les premiers problèmes ont surgi et entre autre:

- Apparition de nids de poule,
- Poinçonnement du hériçon (bloc de moellons de 20 à 25 cm disposés en Hériçon posé à la main et cylindré par des rouleaux tri cycliques à jantes métalliques).
- Effondrement de la chaussée aux premières pluies.

Une mutation s'imposait alors pour obtenir une route moderne ; Elle a été initiée par l'emploi de matériau à granulométrie continue et de calibre déterminé et aussi avec l'émergence des matériaux traités au ciment.

I.2. Introduction :

Une chaussée peut être définie comme une structure plane, conçue et dimensionnée pour garantir l'écoulement du trafic dans de bonnes conditions de visibilité, de sécurité et de confort pour les usagers et assurer une fonction pour une période de service minimale fixée au stade de l'élaboration du projet.

I.3. Constitution d'une chaussée :

Une chaussée est constituée d'une superposition de couches de matériaux différents dont l'ensemble est appelé superstructure et reposant sur une infrastructure. Dans l'infrastructure nous avons le sol de plate de forme et une couche de forme en cas de remblai; pour la superstructure nous avons la couche de fondation, la couche de base et la couche de surface ou le revêtement.

I.3.1. Infrastructure :**Constitution de l'infrastructure :**

L'infrastructure d'une chaussée peut être définie comme le terrassement nécessaire à la constitution de l'assise de la superstructure. Elle est composée d'une plate-forme et d'une couche de forme. Le sol d'infrastructure peut être:

- soit le terrain naturel (sol convenable),
- soit un sol à consolider (traitement du sol en place par un liant) ;
- soit un sol d'apport (sol à consolider pour supporter le passage des engins de chantier).

Rôle de l'infrastructure :

La préparation de l'infrastructure vise à :

- Nivelier le terrain pour la mise en place d'une superstructure d'épaisseur constante,
- Présenter une surface de roulement apte à recevoir la circulation des engins durant la construction;
- Disposer d'une interface supérieure ou réduisant le risque de remontée d'eau dans la fondation (en conjonction avec un drainage latéral).

I.3.2. La superstructure :**Constitution de superstructure :**

La superstructure est constituée par l'ensemble des couches de matériaux mise en œuvre au-dessus de l'infrastructure. Elle est composée d'une couche de fondation, d'une couche de base et d'une couche de surface.

Rôle de la superstructure :

D'une manière générale, la superstructure routière doit pouvoir supporter les charges de trafic et assurer leur diffusion selon les niveaux de contraintes supportables par l'infrastructure; elle doit pouvoir, par ailleurs, subir l'agression des agents atmosphériques sans dégâts. Ces couches assurent les fonctions suivantes :

∴ Couche de surface:

- Présenter un uni de surface durable, de façon à assurer, durant toute sa durée de vie, un confort de roulement aux véhicules, garantir une adhérence optimale pneu-chaussée.
- empêcher l'infiltration des eaux superficielles (imperméabilité) ; résister sans déformation, ni usure trop rapide, aux efforts de cisaillement transmis par les roues.
- La couche de surface est généralement en bitume, en béton de ciment ou en béton bitumineux. Elle doit être de bonne qualité pour protéger l'assise contre l'action du trafic et des intempéries.

∴ Couche de base:

La couche de base joue les rôles suivants:

- supporter les charges de trafic transmises par le revêtement, constituer la couche rigide pour le compactage de la couche de roulement; neutraliser les effets négatifs des agents atmosphériques.
- Elle est prépondérante et doit être constituée de matériaux suffisamment durs pour résister à l'attrition. Il est spécifié que le matériau cru doit avoir un grand indice portant (CBR > 80%) ou qu'il soit traité (CBR > 160%).
- La couche de base est faite en graveleux naturels ou concassé, de granularité dense ou ouverte, et peut être stabilisée.

∴ Couche de fondation :

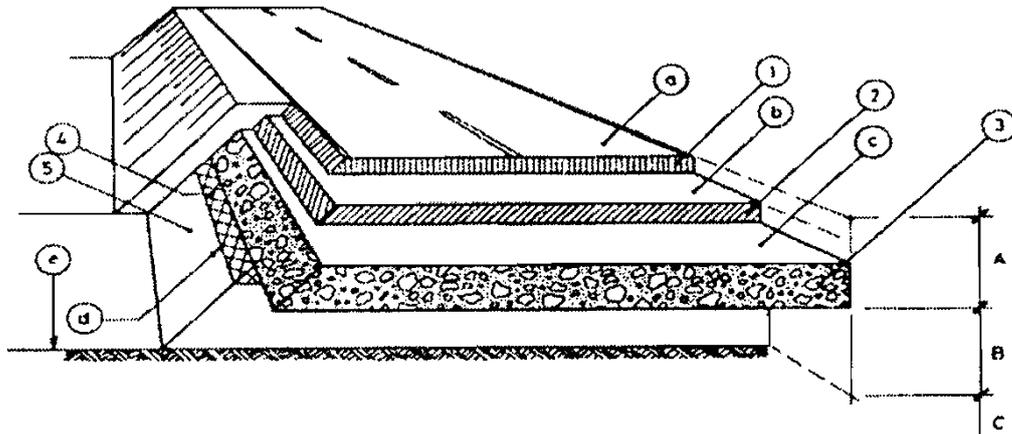
C'est la couche immédiatement au-dessus de la plateforme, elle joue comme rôle la répartition de façon homogène les contraintes sur le sol support. Cette couche doit être bien compactée pour éviter les tassements ultérieurs.

Les matériaux qui la composent doivent avoir un CBR > 30%. Entre l'infrastructure et superstructure on interpose une couche de transition, mise en œuvre exclusivement dans le cas d'un déblai. Elle joue:

- le rôle anti contaminant en séparant le sol d'assise de la couche de fondation, elle empêche ainsi les particules fines d'un sol d'infrastructure de remonter dans une fondation grossière, le rôle de drainage de la fondation; le rôle d'empêcher la montée capillaire de l'eau provenant de la nappe phréatique.

Son inconvénient est qu'elle est difficile à mettre en œuvre. On a tendance à la remplacer par:

- une feuille de matière plastique ou géotextile posé sur la plate-forme, un traitement à la chaux ou au ciment de la plateforme.
- En résumé nous présentons une coupe de chaussée pour montrer les différentes parties.



A- Superstructure	B- Infrastructure	C- Terrain naturel
a- surface de roulement 1- couche de roulement b- surface de la couche de base 2- couche de base c - surface de la couche de fondation 3- couche de fondation	d- plate-forme de l'infrastructure 4- couche de transition 5- couche de forme	e- surface du terrain naturel (+évent. Remblai)

Fig. (I.1) : Nomenclature d'une chaussée

I.4. Types des chaussées :

Un véhicule transmet une charge sous forme de forces verticales par l'intermédiaire des pneumatiques. Le sol n'étant pas assez porteur. Il est donc nécessaire d'interposer un écran qui aura pour but de réduire et de répartir les charges. La chaussée constitue cet écran. Selon le mode fonctionnement mécanique de la chaussée, nous avons des chaussées souples, des chaussées semi rigides et des chaussées rigides.

I.4.1. Les chaussées souples ou flexibles :

Elles sont constituées d'une couche bitumineuse en surface au-dessus d'une couche de base et d'une couche de fondation en matériaux granulaires traités ou non. La chaussée souple distribue les efforts de surface à travers les couches de base et de fondation. Cette distribution se fait de façon à ce que l'effort sur la plate-forme soit compatible avec la résistance de l'infrastructure et du sol support.

I.4.2. Les chaussées semi-rigides :

Une chaussée semi rigide est une chaussée avec une couche de surface en béton bitumineux reposant sur une couche de base en matériaux stabilisés aux liants hydrauliques et d'une couche de fondation granulaire. Les couches bitumineuses assurent:

- la qualité d'uni de surface,
- la limitation de la remontée des fissures transversales de la couche de matériaux traités en liants hydrauliques. La couche de base diffuse et atténue les efforts transmis de par sa rigidité élevée offerte par le liant hydraulique.

I.4.3. Les chaussées rigides :

Elles sont constituées d'une dalle de béton en ciment portland reposant directement sur la couche de fondation ou sur la plate-forme. La dalle de béton joue un double rôle: elle est à la fois la surface de roulement et la couche de base. Elle répartit les efforts de surface dus aux charges de cisaillement sur une large surface afin d'éviter une déformation sur la couche de fondation ou sur l'infrastructure.

Dans ce qui va suivre, nous nous intéressons à la présentation des méthodes de dimensionnement de structures de chaussée.

I.5. Méthode de dimensionnement des structures de chaussée :**I.5.1. Introduction :**

Sous l'effet des sollicitations externes (environnementales, conditions de chargements, etc.), les structures de chaussées sont soumises à des phénomènes complexes (mécaniques, thermiques, physiques et chimiques) qui apparaissent souvent de manière couplée.

Le but de dimensionnement des chaussées est de concevoir une structure capable de supporter un trafic pour une durée de vie fixée.

Plusieurs approches ont été développées à cet effet, à savoir : l'approche empirique et l'approche théorique.

I.5.2. L'approche empirique :

Devant la complexité des problèmes observés, les méthodes de dimensionnement développées sont basées sur des règles empiriques tirées de l'observation du comportement en service des structures de chaussée ou de sections expérimentales. Cette méthode présente des limites qui sont d'autant plus visibles que de nouveaux types de structures et des matériaux plus performants se développent et que le trafic est en constante augmentation. Un développement de méthodes de dimensionnement plus rationnelles apparaît donc nécessaire.

Cette nécessité a conduit au développement et à l'application dès les années 1970 de la méthode rationnelle française, et plus récemment, le développement aux Etats-Unis dans le cadre du programme SHRP (*Strategic Highway Research Program 1988-1993, poursuivi après 1996*), de la méthode « Super pave » et la mise en place du guide de dimensionnement AASHTO 2002.

On présente ci-après les concepts des méthodes de dimensionnement des structures de chaussées adoptées en France, aux Etats-Unis et au Royaume-Uni.

Les principales sollicitations auxquelles sont soumises les structures routières sont liées aux contraintes imposées par le passage des véhicules et aux effets engendrés par les variations de température.

I.5.2.1. La méthode française de dimensionnement [LCPC – SETRA] :

Les fondements de la méthode de dimensionnement des chaussées ont été dégagés dès le début des années 1970. Dans la démarche adoptée, la détermination des épaisseurs des différentes couches de chaussée ainsi que leurs caractéristiques mécaniques des matériaux relève, soit d'une approche expérimentale empirique, soit de calculs de vérification (méthode rationnelle). Par opposition aux modèles empiriques, ces méthodes rationnelles font appel à l'utilisation combinée de modèles mécaniques et de données expérimentales. C'est par le biais de modèles de calculs qu'est vérifié le dimensionnement de la structure vis-à-vis des critères de durabilité.

D'un point de vue mécanique, la démarche de la méthode française de dimensionnement peut être scindée en deux étapes. Dans une première étape, il convient de calculer, sous l'effet de l'essieu standard de référence de 130 KN (Tableau 1.2), la réponse

d'une structure de chaussée choisie à priori (type de structure, matériaux et épaisseurs des couches constitutives).

Ce calcul repose sur l'évaluation, sous l'effet d'une charge circulaire appliquée à la surface d'un massif multicouche, les champs de contraintes maximales dans les couches de matériaux et de sol. Dans ce calcul, la charge appliquée symbolise l'action de l'essieu de référence, et le modèle semi-analytique de Burmister, développé aux Etats-Unis à 1943 [18], est utilisé pour obtenir la réponse mécanique. Dans une seconde étape, il s'agit de calculer les valeurs de sollicitations admissibles des matériaux de la structure, en fonction de leur localisation dans la structure, de leurs modes de dégradation (rupture par fatigue des couches en matériaux liés et orniérage du sol et des couches en matériaux non liés), et du trafic cumulé (nombre de poids lourds) devant circuler sur la chaussée pendant sa durée de vie sur une plate-forme.

La structure convient si les sollicitations induites par le passage de l'essieu de référence restent inférieures ou égales aux sollicitations admissibles pour chaque couche (Tableau 1.3). Le choix de la structure finale se fait par calculs itératifs. Le calcul des valeurs admissibles s'appuie sur le comportement en fatigue des matériaux liés, traduisant la rupture d'une éprouvette en laboratoire pour l'application d'un grand nombre de cycles de sollicitations, et sur le caractère plastique des matériaux non liés, expliquant l'apparition de déformation permanente.

I.5.2.2. La méthode de dimensionnement [AASHTO] :

La méthode américaine de dimensionnement des chaussées AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) est basée sur une analyse empirique des résultats des essais de l'AASHTO Road test réalisés à la fin des années 1950 sur plus de 500 sections tests de chaussées. A l'heure actuelle, la dernière version du guide de dimensionnement date de fin 2002, mais la version de 1993 reste encore la plus utilisée.

Dans cette version de 1993, aussi bien pour les chaussées souples que rigides, le dimensionnement se fait à l'aide d'équations de régression traduites sous forme d'abaques et de formules (Tableau 1.3) permettant de choisir l'épaisseur de la chaussée en fonction du trafic cumulé considéré et la dégradation de la qualité d'usage de la route. La notion de qualité d'usage de la route est définie par l'indice PSI (Present Service ability Index) qui varie de zéro (chaussée impossible à circuler) à six (chaussée en parfait état). Cette échelle a été déterminée sur la base des dégradations de la chaussée et de leurs effets perçus par les

usagers. Les données de trafic sont converties en nombre cumulé d'essieux standards W18 (Tableau 1.2).

En fin, pour une structure de chaussée choisie, un nombre structurel SN (Structural Number) est calculé et comparé à sa valeur minimale. Cette valeur minimale correspond à la somme pondérée des épaisseurs des différentes couches, et tient compte de la nature des matériaux et des conditions de drainage de chaque couche.

D'un point de vue mécanique, on remarque que la méthode américaine de dimensionnement AASHTO n'aborde pas, de manière explicite, la modélisation du plan de contact entre deux couches de matériaux. On peut cependant comprendre que dans cette méthode, le fait de pouvoir déterminer une épaisseur globale des couches bitumineuses sous-entend l'hypothèse qu'un collage parfait se développe à l'interface des couches en contact. En effet, l'épaisseur globale de ces couches dépend en partie de la rigidité globale de cet ensemble. Celle-ci est plus grande lorsque les couches sont parfaitement collées entre elles. Cependant, si cette hypothèse de collage parfait n'est pas satisfaite sur chantier, le fonctionnement mécanique de la chaussée est modifié.

1.5.2.3. La méthode anglaise de dimensionnement [DMRB] :

La méthode anglaise de dimensionnement est essentiellement empirique. Elle est basée sur l'interprétation du comportement de sections tests de chaussée. Au fil des années, les principes de la méthode de dimensionnement ont été remis à jour à travers des rapports de recherche du TRRL («Transport and Road Research Laboratory » actuel TRL, « Transport and Research Laboratory») pour prendre en compte l'augmentation de l'agressivité des véhicules et du trafic.

Ces rapports ont servi de base à l'établissement du catalogue de dimensionnement des routes et des ponts DMRB (Design Manual for Roads and bridges). Le DMRB synthétise les résultats de recherche du TRL et permet de dimensionner facilement une structure à l'aide de graphes. Dans cette méthode, le traitement des données du trafic ne prend en compte que le nombre de véhicules commerciaux, et chaque catégorie de véhicules est ramenée à un nombre d'essieux standards équivalent. Le dimensionnement de la plateforme support de chaussée [16,17] s'appuie sur la valeur de CBR (Californian Bearing Ratio), un minimum de 15% est requis sous la structure de chaussée (Tableau 1.2), et en dessous de cette valeur, une couche en matériaux granulaire est ajoutée. Le dimensionnement proprement parlé est traité dans le deuxième chapitre. Les structures envisagées sont flexibles, semi-rigides ou rigides. Pour

chaque type de structure, la lecture d'un graphe donne directement l'épaisseur des couches en fonction du trafic (exprimé en million d'essieux équivalent) et du type de matériaux.

Cependant, même si la méthode anglaise de dimensionnement est très simple d'utilisation, elle ne permet pas le dimensionnement de cas non standard faisant intervenir de nouveaux matériaux ou conditions particulières. Achim Atos fait remarquer que dans la méthode anglaise, le comportement en fatigue des couches liées n'est pas considéré comme le critère dimensionnant car la méthode considère que la ruine des chaussées en matériaux bitumineux est due à la fissuration par le haut.

D'un point de vue mécanique, on remarque que la méthode anglaise DMRB n'aborde pas, de manière explicite, la modélisation du plan de contact entre deux couches de matériaux. La méthode fait l'hypothèse qu'un collage parfait se développe à l'interface de deux couches bitumineuses. Dans le Tableau 1.2 présenté ci-après, on recense différents types d'essieux standards adoptés par les méthodes de dimensionnement des chaussées.

L'essieu standard est toujours de type simple à roues jumelées. La charge est uniformément répartie sur des disques circulaires symbolisant les empreintes des pneumatiques. Au niveau européen, un groupe de travail a cherché à recenser et comparer les différentes méthodes de dimensionnement. Une première étape a été franchie et traite de l'harmonisation des dimensions maximales et poids maximaux des véhicules pouvant circuler à l'intérieur de la communauté européenne. La directive européenne 96/53/CE de juillet 1996 fixe la charge maximale de l'essieu simple à 15 kN.

Tableau (I.1): Types d'essieu standard et performance du sol support

Méthode	Française LCPC/SETRA	Américaine AASHTO	Anglaise DMRB	Hollandaise	Shell SPDM	Européenne 95/53/CE
Trafic : essieu standard	Essieu simple à roues jumelées de 130 kN	Essieu simple à roues jumelées de 82 kN	Essieu simple à roues jumelées de 80 kN	Essieu simple à roues Jumelée de 100 kN	Essieu simple à roues jumelées de 80 kN	Essieu simple à roues jumelées de 110 kN
Performance de la plate-forme	3 niveaux : PF2 (50 MPa) PF3 (120 MPa) PF4 (200 MPa)	Valeur du module élastique entre 140 MPa et 276 MPa	CBR min=15%	3 niveaux : 50 MPa 100 MPa ou 150 MPa	Non disponible	No disponible

Tableau (I.2): Performance mécanique des couches de chaussée

Méthode	Lois de fatigue – Critères dimensionnant	Paramètres
Française [LCPC/SETRA]	Rupture par fatigue des matériaux liés : $\epsilon_t \leq \epsilon_6(\theta_{eq}, f) \cdot K\theta \cdot Kr \cdot Kc$ Déformation permanente des couches en matériaux non liés : $\epsilon_z \leq A \cdot (TCEi)^{-0,235}$	ϵ_t : déformation horizontale à la base de la couche ; $\epsilon_6(\theta_{eq}, f)$: déformation à appliqué pour provoquer une rupture du matériau à 10^6 cycles ; TCEi : trafic en nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée K θ : facteur lié à la température Kr: facteur lié au risque et aux dispersions Kc : facteur lié au calage des résultats du modèle de calcul avec le comportement observé sur chaussées A : égale à 0,016 pour les faibles trafics et 0,012 dans le cas contraire
Américaine [AASHTO]	$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log_{10}(SN+1) - 0,20$ $\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right] + 2.32 \cdot \log_{10}(Mr) - 8.07$ $0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}$	W18 : nombre équivalent d'essieux standard ; ZR*S0 : facteur de fiabilité ; SN : nombre structurel ; Mr : module élastique de la plate- forme. ; ΔPSI : variation de l'indice de qualité de la route

I.5.3 L'approche théorique :

L'approche théorique s'intéresse en premier lieu à établir un modèle de chaussée qui reproduit au mieux le fonctionnement mécanique et l'état de contrainte de la structure sous l'effet d'un chargement donné (trafic). Il s'agit d'une branche particulière de la mécanique des Milieux Continus, dite «mécanique des chaussées».

La première étape dans cette approche est d'établir expérimentalement, les lois de comportement des matériaux et d'en déduire leurs caractéristiques mécaniques qui seront utilisés dans la formulation mathématique du problème posé.

Une seconde étape du modèle mécanique a pour but de déterminer les contraintes et les déformations dans les matériaux de chaussées et le sol support, ces dernières sont alors comparées aux contraintes et déformations admissibles

I.6. Les modèles de la mécanique des chaussées :

I.6.1 Introduction :

La mécanique de chaussées porte principalement sur la compréhension du fonctionnement des structures et sur les règles de dimensionnement. On définit alors le niveau de sollicitation de la structure à l'aide d'un modèle.

Ce dernier doit représenter de façon réaliste le fonctionnement de la structure. Sans qu'il soit question ici de présenter toutes les méthodes, on indiquera seulement les plus importantes, notamment par chronologie, le modèle monocouche, le modèle bicouche, le modèle multicouches et les modèle numériques

I.6.2. Le modèle monocouche de Boussinesq (1885) :

Dans le cas où le corps de chaussée n'est pas trop différent du sol naturel, on peut considérer que la pression se répartit de la même manière que dans un sol. Ceci conduit à considérer la structure de chaussée comme un massif semi-infini et proposer une méthode simple de dimensionnement. Avec l'hypothèse d'isotropie et d'élasticité linéaire, ce problème a été résolu par Boussinesq.

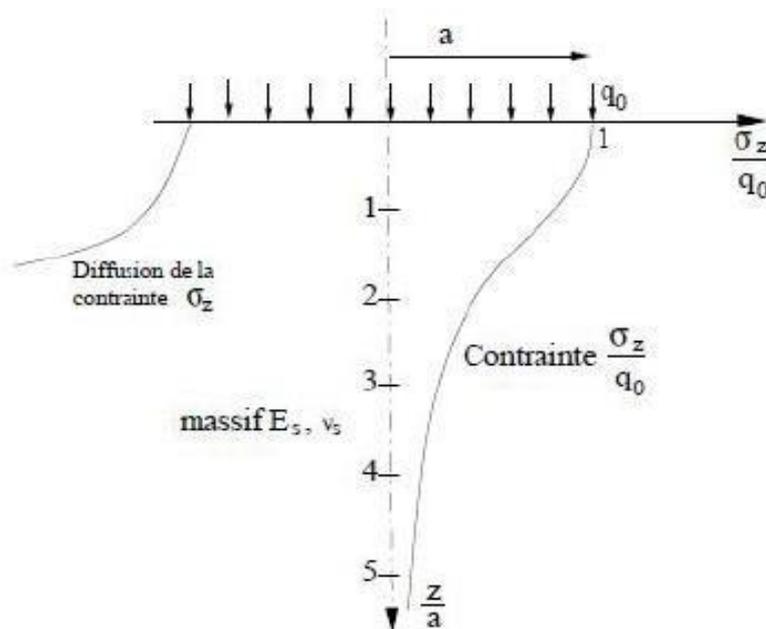


Fig. (I.2) : Diffusion des pressions dans un massif de Boussinesq.

Pour une charge d'intensité q_0 appliquée sur un cercle de rayon a , le déplacement, la contrainte verticale et radiale en un point sur l'axe de la charge situé à une profondeur z sont déterminés par la formule ci-dessous :

Grâce aux résultats de Boussinesq, on peut trouver l'épaisseur H de la chaussée où la pression verticale ne dépasse pas la valeur admissible du sol. Ce modèle est simple et facile à utiliser.

$$\sigma_z = q_0 \left[1 - \frac{\left(\frac{z}{a}\right)^3}{\left(1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2\right)^{2/3}} \right]$$

Toutefois, son application au dimensionnement de la chaussée présente les inconvénients suivants :

- Le champ d'application de ce modèle est limité (au cas où le corps de chaussée n'est pas trop différent du sol support).
- Il ne caractérise pas le comportement des structures multicouches.
- La contrainte σ_z ne dépend pas du module E2 du sol support.
- Il conduit à des structures non économiques dès que la contrainte admissible du sol devient relativement faible.

$$\frac{H'}{H} = F \left(\frac{\bar{E}}{E} \right)$$

I.6.3 Les Modèles bicouches :

Lorsque la contrainte verticale sur le sol support est limitée à une valeur très faible (1/10 ou 1/20 de la pression exercée en surface par exemple), la répartition des pressions par un corps granulaire peut être coûteux, l'épaisseur H est très forte. Pour diminuer cette épaisseur, il suffit d'augmenter le rapport de module entre la couche E1 de la chaussée et E2 du sol support à l'aide d'un liant hydraulique (ciment, laitier).

On peut avec une assise traitée aux liants hydrauliques obtenir une faible pression sur le sol support, sans que l'épaisseur de chaussée ne soit importante. La couche de chaussée fléchit sous la charge appliquée, ce fléchissement est accompagné de contraintes de traction par flexion à la base de la chaussée. Le dimensionnement de la chaussée consiste alors à vérifier deux critères qui conditionnent son comportement dans le temps:

- La contrainte verticale sur le sol support doit être inférieure à une valeur limitée, fonction de la nature du sol support et du nombre de chargements envisagés.

- La contrainte de traction par flexion à la base de la couche de chaussée doit être également inférieure à une valeur limitée fonction de la nature du matériau de chaussée et du nombre de cycles.

Avec des assises traitées aux liants hydrauliques, le premier critère de dimensionnement est généralement satisfait lorsque le deuxième l'est, il suffit donc de vérifier le 2e critère. C'est en cela que le dimensionnement d'une couche de chaussée diffère d'une fondation. Puisqu'en mécanique des sols, c'est le premier critère c'est-à-dire la pression sur le sol qui est prépondérant. L'étude d'un tel problème ne peut se faire à l'aide d'un modèle de Boussinesq. L'utilisation d'un modèle bicouche est nécessaire. En somme il faudra :

$\sigma_z \leq \sigma_{zad}$ et $\sigma_t \leq \sigma_{tad}$ qui est une condition nécessaire et suffisante ;
 en effet $\sigma_t \leq \sigma_{tad} \rightarrow \sigma_z \leq \sigma_{zad}$

Travail en flexion d'une couche Liée

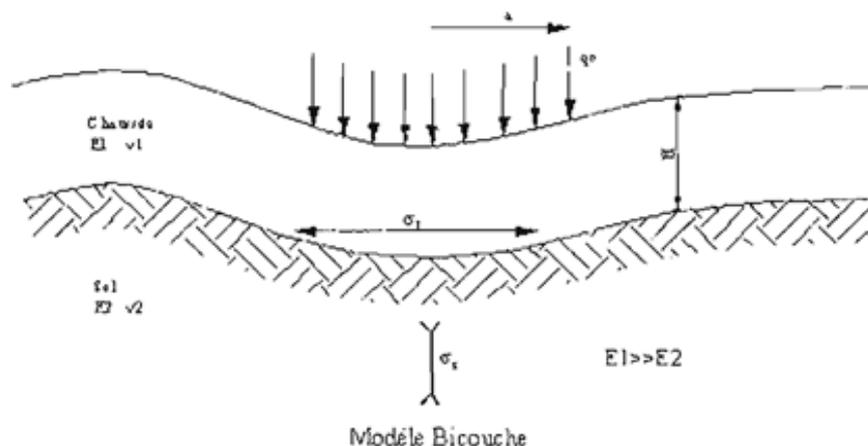


Fig. (I.3) : Modèle Bicouche

Alors, dans le dimensionnement de la chaussée, hormis la condition de contrainte admissible à la surface du sol-support, nous devons vérifier aussi le critère de déformation de traction à la base de la couche de chaussée. Parmi les solutions théoriques, on peut citer la solution de Westergaard (1927).

I.6.4. Modèle de WESTERGAARD (1927) :

Westergaard a considéré la chaussée comme une plaque mince placée sur un massif de Winkler c'est-à-dire un assemblage de ressort indépendant. Mathématiquement le problème est résolu par l'équation de Lagrange pour les plaques minces.

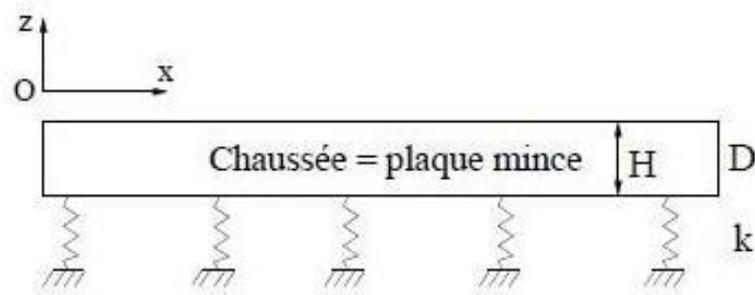


Fig. (I.4) : Schéma du modèle de Westergaard.

I.6.5 Modèle multicouche de Burmister :

Les modèles bicouches ne reproduisent pas la nature multicouche de la chaussée et ne modélisent pas correctement le comportement mécanique des couches de chaussées (hypothèse de plaque). Partant de ces remarques, Burmister a traité le problème général à n couches infinies dans le plan et reposant sur le sol infini de Boussinesq (Figure 1.5).

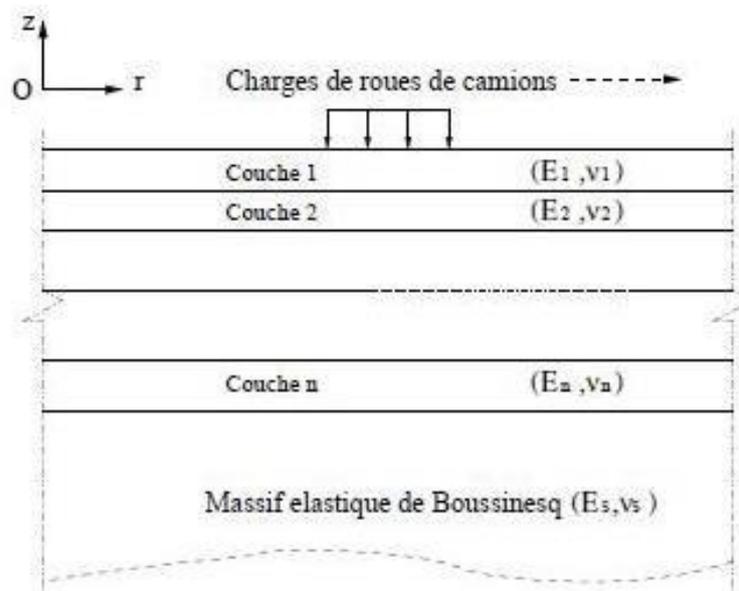


Fig. (I.5) : Schéma du modèle de Burmister [Burmister. 1943].

Par rapport aux modèles précédents, le modèle multicouche de Burmister présente plusieurs avantages, puisque :

Toutes les couches sont traitées comme des solides élastiques (on évite l'hypothèse de plaque), Les interfaces entre les couches peuvent être collées ou décollées, et une même structure peut comporter des couches collées et des couches décollées,

Le cas de charges multiples : jumelages, essieux tandem ou tridem peut être traité en additionnant les effets de charges élémentaires.

I.6.6. Modèles numériques :

Le développement des méthodes numériques et particulièrement la méthode des éléments finis, permet d'envisager l'utilisation de modèles encore plus réalistes. On peut ainsi prendre en compte la non-linéarité des matériaux, les conditions complexes de contacts entre les différentes couches. La modélisation par éléments finis des structures de chaussées a été abordée dès 1967, on peut citer :

- Duncan, Westmann et Hicks.
- Plus récemment, on note les contributions importantes de Brown et Papin, Jouve, Martinez et Ragneau, Jouve, El-hannani, Guezouli
- De nos jours, plusieurs codes de calcul sont utilisés dans le dimensionnement et l'analyse des structures de chaussées, on peut citer :
 - Les programmes ALIZE 3 et CESAR du LCPC (Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussée, France.
 - Le programme NOEL 8 de l'université de Nantes, France.
 - Le code de calcul FENLAP de l'université de Nottingham, Angleterre.
 - Le programme DIANA de l'université de, Delft.
 - Le programme ELMOD DYNATEST, Danemark

CHAPITRE II CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES DE CHAUSSEE

II.1 Principe de dimensionnement d'une chaussée :

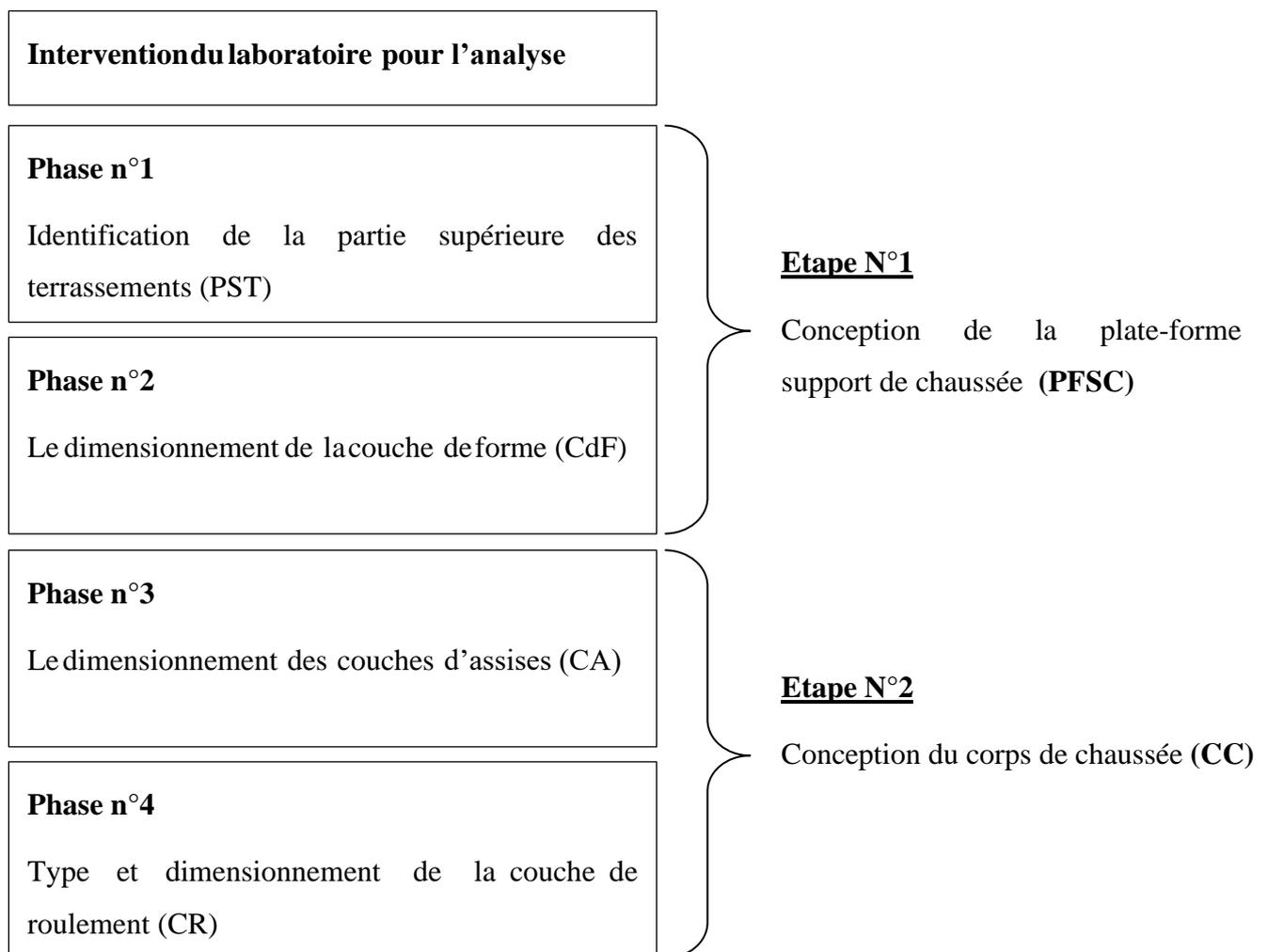
Avant la conception de la chaussée, le laboratoire doit intervenir pour effectuer des sondages et des prélèvements de sols naturels en place, dans le but de les analyser et les classer suivant la norme NFP 11-300.

La conception d'une chaussée neuve comprend ensuite 2 grandes étapes :

Etape 1: la conception de la plate-forme support de chaussée;

Etape 2: la conception du corps de chaussée;

L'algorithme suivant résume toutes les étapes de cette démarche.



II.2 Conception de la plate-forme :

II.2.1 Caractérisation du sol en place:

II.2.1.1 Classement géotechnique des sols naturels:

La détermination de la classe géotechnique du sol en place, s'effectue selon la norme **NF P 11-300** à partir des essais de laboratoire pratiqués sur un prélèvement représentatif de ce dernier effectué sur site dans des conditions adéquates.

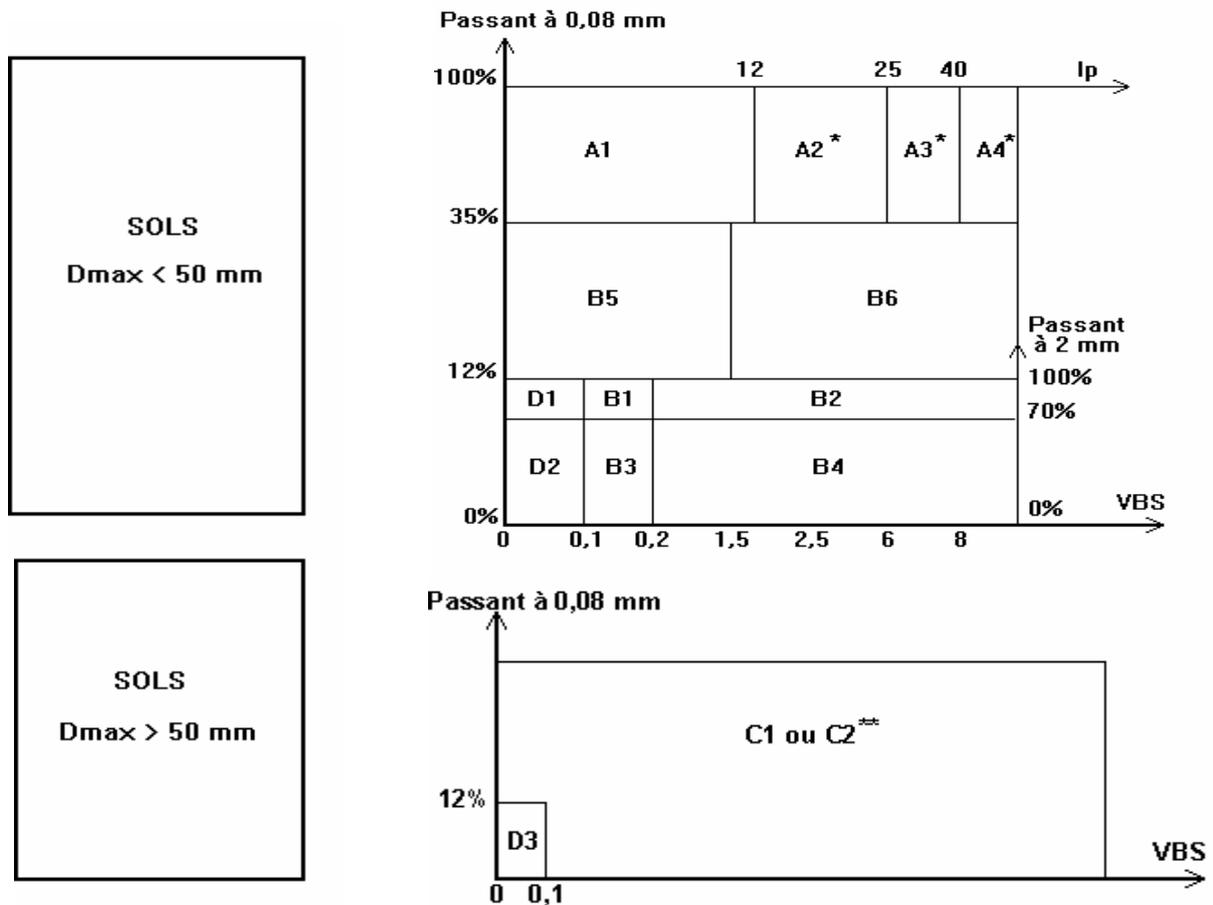
A partir de ce classement défini dans le **GTR (Guide Technique Routier)**, **quatre grandes classes géotechniques** de sol naturel sont distinguées présentant des propriétés spécifiques ainsi que des comportements **mécaniques** et **gélifs prévisibles** dans le temps :

- **Classe A** : les sols fins. Cette classe contient **quatre sous classes** : **A1, A2, A3, A4** ;
- **Classe B** : les sols sableux et graveleux avec fines. Cette classe contient **six sous classes** : **B1, B2, B3, B4, B5, B6** ;
- **Classe C** : les sols comportant des fines et des gros éléments. Cette classe contient **deux sous classes** : **C1, C2** qui s'associe pour la fraction (0/50 mm) aux classes A1, A2, A3, A4 ou B1, B2, B3, B4, B5, B6 ;
- **Classe D** : les sols sensibles à l'eau. Cette classe contient **trois sous classes** : **D1, D2, D3** ;

L'ensemble de ces matériaux se retrouve le plus souvent dans la réalisation d'une chaussée neuve, notamment au niveau de la partie supérieure des terrassements (**PST**).

Il existe une cinquième classe de matériaux, la **classe R** pour les matériaux rocheux, cette dernière fait l'objet d'une classification différente fonction de la nature pétrographique de la roche et de ses caractéristiques mécaniques.

Tableau (II.1) : synoptique de classification des matériaux selon leur nature



MATERIAUX ROCHEUX	Roches sédimentaires	Roches carbonatées	Craies	R1	
			Calcaires	R2	
		Roches argileuses	Marnes, argilites, pélite...		R3
		Roches siliceuses	Grés, poudingues, brèches		R4
		Roches salines	Sel gemme, gypse		R5
	Roches magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésites..., gneiss..., schistes métamorphiques et ardoisiers...		R6	
MATERIAUX PARTICULIERS	Sols organiques, sous-produits industriels			F	

Matériaux pour lesquels la mesure de l'**I_p** est à retenir comme base de classement. Pour les autres matériaux on utilisera la **VBS**.

C1 : matériaux roulés et matériaux anguleux peu charpentés (0/50 > 60 à 80 %)

C2 : matériaux anguleux très charpentés (0/50 □ 60 à 80 %)

II.2.1.2 Les paramètres de nature

Il existe deux paramètres de nature : la granularité et l'argilosité.

a- La granularité (norme : NF P 94-056)

La granularité est un paramètre permettant de classer les sols naturels d'après la dimension des éléments qu'ils contiennent.

Trois seuils pour la classification sont retenus :

- **Le tamisât à 50 millimètres** : dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol. Il permet de faire la scission entre les sols de classe **Ai, Bj, D1, D2** ne comprenant pas de gros éléments et les sols de classe **C1, C2** ou **D3** comprenant de gros éléments;
- **Le tamisât à 0,08 millimètre** ou passant à 80 microns (80µm) permet de distinguer les sols riches en fines et d'évaluer par la suite leur sensibilité à l'eau;
- **Le tamisât à 2 millimètres** ou passant à 2mm permet de distinguer les sols à tendance sableuse, des sols à tendance graveleuse.

b- L'argilosité

La proportion d'argile rend les sols plus ou moins sensibles à l'eau. Un sol argileux change rapidement de comportement en présence d'eau. Pour caractériser l'argilosité des sols on utilise deux paramètres :

- l'indice de plasticité (**Ip**) ;
- la valeur au bleu de méthylène du sol (**VBS**).

c- L'indice de plasticité (Ip) Exprimé en pourcentage (%) est la différence entre les valeurs de limites de liquidité (**WL**) et de plasticité (**Wp**) :

$$I_p = WL - W_p$$

De manière générale l'indice de plasticité (**Ip**) est plus sensible que la valeur au bleu (**VBS**) en présence d'un sol vraiment argileux. C'est à la fois un paramètre d'identification et de comportement du matériau argileux.

d- La valeur au bleu de méthylène du sol (VBS) est déterminée par l'essai au bleu de méthylène. Elle est mesurée sur la fraction 0/5mm et s'exprime en grammes de bleu pour cent grammes de la fraction (0/50 mm) du sol sec étudié (g de bleu/100g de sol sec). Elle est notée **VBS**.

La valeur au bleu révèle la présence d'argile et exprime globalement la quantité de celle-ci contenue dans l'échantillon de sol analysé.

II.2.1.3 Les paramètres d'état :

Ils dépendent de l'environnement hydrogéologique du site. Pour les sols meubles sensibles à l'eau, le seul paramètre d'état considéré dans la présente classification est **l'état hydrique**.

En plus du classement géotechnique du sol, l'état hydrique joue un rôle essentiel au niveau des possibilités de réutilisation des matériaux et au niveau de l'obtention de la qualité de compactage des matériaux constituant le sol naturel en place. La norme NF P 11-300 considère **cinq états hydriques** définis comme suit :

- **État hydrique très humide (th)** : c'est un état d'humidité très élevée ne permettant plus la réutilisation du sol dans des conditions technico-économiques normales ;
- **État hydrique humide (h)** : c'est un état d'humidité élevée autorisant toutefois la réutilisation du sol à condition de respecter certaines dispositions particulières (aération, traitement...) estimées comme normales dans le contexte technico-économique actuel ;
- **État hydrique moyen (m)** : c'est l'état d'humidité optimal correspondant à l'Optimum Proctor (minimum de conditions à respecter à la mise en œuvre) ;
- **État hydrique sec (s)** : c'est un état d'humidité faible mais autorisant encore la mise en œuvre en prenant des dispositions particulières (arrosage, sur compactage,...) estimées comme normales dans le contexte technico-économique actuel ;
- **État hydrique très sec (ts)** : c'est un état d'humidité très faible n'autorisant plus la réutilisation du sol dans des conditions technico-économiques normales. Cet état hydrique est peu courant sous nos latitudes.

Pour caractériser l'état hydrique d'un sol, un des paramètres suivant est retenu :

- Teneur en eau naturelle (NF P 94-050), associée à l'étude Proctor normal (NF P 94-093) ;
- Indice portant immédiat (NF P 94-078) ;
- Indice de consistance (NF P 94-051).

L'état hydrique du sol naturel en place peut être influencé par les éléments suivants :

- les conditions hydrogéologiques (nappe) ;
- les conditions météorologiques lors du chantier de terrassements.

II.2.1.4 Les paramètres de comportement mécanique :

Ces paramètres sont pris en considération pour juger de l'utilisation possible des sols en couche de forme. Les paramètres de comportement considérés dans la classification sont les coefficients **Los Angeles (LA)** (norme NF P 18-573) et **micro-deval en présence d'eau (MDE)** (norme NF P 18-572) mesurés sur la fraction 10/14mm (ou à défaut sur la fraction 6,3/10mm) et le coefficient de friabilité des sables (FS) mesuré sur la fraction 0/1 ou 0/2mm (norme NF P 18-576).

Les seuils retenus sont :

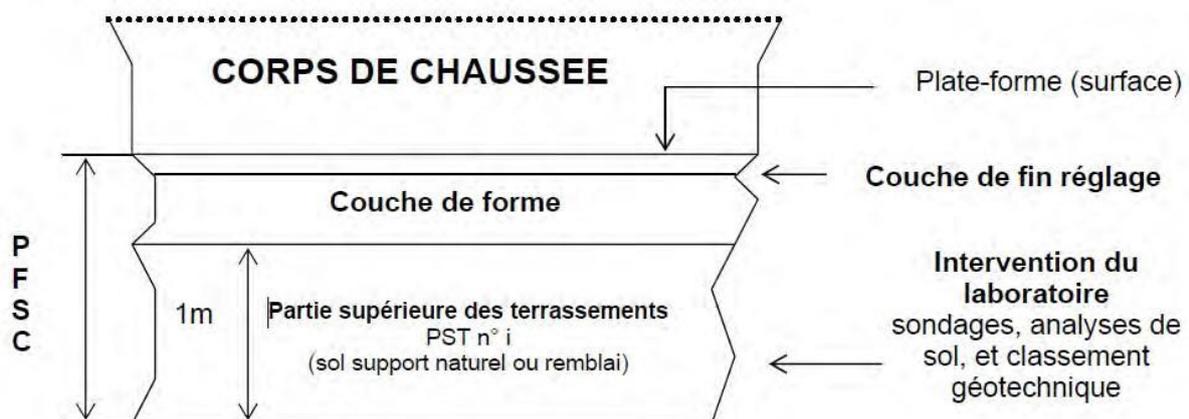
- 45 pour les valeurs LA et MDE
- 60 pour les valeurs FS

L'essai **Los Angeles** permet d'évaluer la résistance des granulats à la fragmentation, l'essai **Micro Deval** permet d'évaluer leur résistance à l'usure par attrition en présence d'eau.

II.2.2 Conception de la plate-forme support de chaussée (PFSC) :

La plate-forme support de chaussée (PFSC) comprend de bas en haut 3 couches :

- la partie supérieure des terrassements (PST), qui concerne le premier mètre environ ;
- la couche de forme (CdF) ;
- la couche de fin réglage (**CfR**).



La plate-forme (**PF**) doit répondre aux objectifs suivants :

- Garantir une portance à court terme, **supérieure à 50MPa**, nécessaire à l'obtention de la qualité de compactage ou de densification des matériaux du corps de chaussée, mais également à long terme ;

- Permettre la traficabilité nécessaire aux engins de chantier ;
- Assurer la protection de la PST contre les intempéries lors du chantier de construction de la chaussée ;
- Assurer la protection du sol naturel contre le gel lors d’hiver rigoureux.

Rappel :

La portance de la plate-forme (**PF**) est l’aptitude des couches sous-jacentes à résister aux contraintes et aux déformations appliquées par la circulation et transmises par l’intermédiaire des couches supérieures constituant le corps de chaussée.

À **court terme**, la portance de la plate-forme désigne les valeurs estimées ou mesurées sur le chantier lors de la **réalisation**.

À **long terme**, elle désigne les valeurs retenues pour le dimensionnement et visées lors de la **conception**.

Phase n°01 : Partie supérieure des terrassements (PST)

La classe de la partie supérieure des terrassements (PST^{n°i})

La détermination de **la classe de la partie supérieure des terrassements symbolisée par un numéro n° i (PST)** nécessite la connaissance de la classe géotechnique du sol naturel en place et de son état hydrique si ce dernier est sensible à l’eau (norme : NFP 11-300).

A partir des résultats obtenus précédemment, il sera nécessaire de maintenir ou d’améliorer l’état hydrique des sols naturels in situ.

L’environnement hydrique et ses conséquences sur les performances mécaniques de la **Partie Supérieure des Terrassements (PST)**, conduisent à définir **7 classes** de PST (PST n° 0 à n° 6).

La première classe de PST, la PST n° 0 représente la plus défavorable. Elle doit faire l’objet d’une opération spécifique de purge localisée, accompagnée parfois de rabattement de nappe ou de traitement à la chaux et/ou au ciment. Cette dernière technique plutôt réservée aux zones périurbaines permet de reclasser la section traitée dans une des classes de PST immédiatement supérieures.

La classe (AR_j) de l’arase des terrassements

L’arase des terrassements correspond à la plate-forme de la PST, la classe traduit la portance de la PST.

La **classe d'arase** est déterminée à partir de l'état hydrique du sol naturel en place. Si l'accès à l'emprise de la future chaussée ainsi qu'à l'arase (**AR**) sont possibles et si les conditions de traficabilité sont remplies, il sera possible de mesurer la portance en place au moyen de l'essai de chargement à la plaque selon la norme **NF P 94-117.1** qui reprend en partie le mode opératoire du **Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées (LCPC)** dans le but de déterminer le module élastique **EV2** au second chargement.

En cas d'impossibilité liée à la profondeur de l'arase par rapport au projet ou à sa traficabilité, la portance du sol sera estimée au regard de l'état hydrique du matériau et des dispositions prises pour drainer les eaux ou améliorer le sol par traitement (voir tableau suivant).

Classe d'arase ARj	Les Portances du sol naturel support Ps (mesurée ou estimée)
AR0	Ps < 20 MPa
AR1	20 MPa ≤ Ps < 50 MPa
AR2	50 MPa ≤ Ps < 120 MPa
AR3	120 MPa ≤ Ps < 200 MPa
AR4	Ps ≥ 200 MPa

Les conditions de maintien du sol naturel en place

Faut-il maintenir en place le sol naturel au niveau de la **PST** ?

Seuls, les résultats des analyses géotechniques effectuées sur les prélèvements d'échantillons représentatifs de sol naturel en place permettent d'orienter la démarche à partir de la classe géotechnique du matériau constituant la **PST** et de son état hydrique.

Le maintien ou l'amélioration de l'état hydrique du sol naturel (PST)

Pour maintenir l'état hydrique d'un sol support sensible à l'eau, deux moyens sont à disposition :

- Tenir compte des conditions hydrogéologiques du site et météorologiques au cours du chantier, puis en fonction de celles-ci travailler à l'avancement ;
- Agir sur l'épaisseur et le profil transversal géométrique de la couche de forme, pour

constituer un « toit » facilitant l'évacuation des eaux de ruissellement.

Pour améliorer l'état hydrique d'un sol support sensible à l'eau, deux types d'actions peuvent être entreprises :

- effectuer des traitements à la chaux et/ou aux liants hydrauliques ;
- prendre des dispositions de drainage.

Tableau (II.2) : extrait du GTR, fascicule I : Rappel des différents cas possibles de P.S.T

Cas de P.S.T	Schema	Description	Classe de l'arase	Commentaires
P.S.T. n°0		Sols A, B ₁ , B ₁ , B ₂ , B ₂ , C ₁ se trouvant dans un état hydrique (th) Contexte Zones tourbeuses, marécageuses ou inondables. PST dont la portance risque d'être quasi nulle au moment de la réalisation de la chaussée ou au cours de la vie de l'ouvrage.	AR0	La solution de franchissement de ces zones doit être recherchée par une opération de terrassement (durge, substitution) et/ou de drainage (fossés profonds, rabattement de la nappe...) de manière à pouvoir reclasser le nouveau support obtenu au moins en classe AR1.
P.S.T. n°1		Sols Matériaux des classes A, B ₁ , B ₁ , B ₂ , B ₂ , C ₁ , R ₁₂ , R ₁₂ , R ₁₄ et certains matériaux C ₂ , R ₃₁ et R ₃₃ dans un état hydrique (h) Contexte PST en matériaux sensibles de mauvaise portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A) et sans possibilité d'amélioration à long terme (B)	AR1	Dans ce cas de PST, il convient - soit de procéder à une amélioration du matériau jusqu'à 0,5 m d'épaisseur par un traitement principalement à la chaux vive et selon une technique remblai. On est ramené au cas de PST 2, 3 ou 4 selon le contexte - soit d'exécuter une couche de forme en matériau granulaire insensible à l'eau de forte épaisseur (en admettant une légère réduction si l'on intercale un géotextile anticontaminant à l'interface PST - couche de forme)
P.S.T. n°2		Sols Matériaux des classes A, B ₁ , B ₁ , B ₂ , B ₂ , C ₁ , R ₁₂ , R ₁₂ , R ₁₄ et certains matériaux C ₂ , R ₃₁ et R ₃₃ dans un état hydrique (m) Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A) Cette portance peut cependant chuter à long terme sous l'action des infiltrations des eaux pluviales et d'une remontée de la nappe (B)	AR1	Bien que les exigences requises à court terme pour la plate-forme support puissent être éventuellement obtenues au niveau de l'arase, il est cependant quasiment toujours nécessaire de prévoir la réalisation d'une couche de forme. Si l'on peut réaliser un rabattement de la nappe à une profondeur suffisante, on est ramené au cas de PST 3.
P.S.T. n°3		Sols Mêmes matériaux que dans le cas de PST 2. Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau, de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A) mais pouvant chuter à long terme sous l'action de l'infiltration des eaux pluviales (B)	AR1 AR2	En l'absence de mesures de drainage à la base de la chaussée et d'imperméabilisation de l'arase, même situation que celle décrite dans le cas PST 2 Classement en AR2 si des dispositions constructives de drainage à la base de la chaussée et d'imperméabilisation de l'arase permettent d'évacuer les eaux et d'éviter leur infiltration dans la PST.
P.S.T. n°4		Sols Mêmes matériaux qu'en PST 1 sous réserve que la granularité permette leur traitement. Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau (en remblai ou rapportés en fond de déblai hors nappe) améliorés à la chaux ou aux liants hydrauliques selon une technique "remblai" et sur une épaisseur de 0,30 à 0,50 m. L'action du traitement est cependant durable.	AR2	La portance de l'arase peut être localement élevée mais la dispersion n'autorise pas un classement supérieur. La décision de réalisation d'une couche de forme sur cette PST dépend du projet et des valeurs de portance de l'arase mesurées à court terme (après prise du liant).
P.S.T. n°5		Sols B, et D ₁ et certains matériaux rocheux de la classe R ₃₃ Contexte PST en matériaux sableux fins insensibles à l'eau, hors nappe, posant des problèmes de traficabilité.	AR2 AR3	La portance de l'arase de cette PST dépend beaucoup de la nature des matériaux. Classement en AR3 si le module EV2 de l'arase est supérieur à 120 MPa. Les valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme. La nécessité d'une couche de forme sur cette PST ne s'impose que pour satisfaire les exigences de traficabilité.
P.S.T. n°6		Sols Matériaux des classes D ₂ , R ₁₁ , R ₃₁ , R ₃₁ , R ₃₂ , R ₃₂ , R ₃₃ , R ₃₃ , R ₃₄ , R ₃₄ ainsi que certains matériaux C ₃ , R ₃₁ , R ₃₃ et R ₃₅ Contexte PST en matériaux graveleux ou rocheux insensibles à l'eau mais posant des problèmes de réglage et/ou de traficabilité.	AR3 AR4	Classement en AR3 si EV2 ≥ 120 MPa et en AR4 si EV2 ≥ 200 MPa. Les valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme. La nécessité d'une couche de forme ne s'impose que pour les exigences à court terme (nivellement et traficabilité) et peut donc se réduire à une couche de fin réglage.

(A) Comportement de la PST à la mise en œuvre de la couche de forme
(B) Situation pendant la "phase de construction" de la chaussée.

Phase n°02 : Dimensionnement de la couche de forme

La couche de forme permet d'adapter les caractéristiques du terrain en place ou des matériaux de remblai constituant la PST aux caractéristiques mécaniques, géotechniques du projet d'une part et aux données hydrogéologiques et thermiques du site d'autre part prises

comme contraintes pour la conception de la chaussée. Elle doit répondre à la fois à des objectifs de court terme (permettre la construction du corps de chaussée) et de long terme (garantir la pérennité de l'ouvrage par le biais d'une bonne portance à long terme) Elle doit permettre également par l'homogénéité de sa portance, de réaliser un corps de chaussée d'épaisseur constante sur toute la longueur du chantier.

- La classe de la plate-forme (PFi) visée à long terme

Les paramètres d'entrée pour la détermination de la plate-forme visée à long terme résultent d'une part, de l'étude géotechnique, incluant la classification des sols, réalisée par le laboratoire et d'autre part, de la classe de la partie supérieure de terrassements (**PST n°i**) et de l'arase (**ARj**).

Quatre classes de plate-forme sont retenues, caractérisées par leur portance :

Tableau (II.3) : classe de plate-forme

Classe de plate-forme PFi	Portance de la PFi module EV2
PF1+	$30 \text{ MPa} \leq \text{EV2} < 50 \text{ MPa}$
PF2	$50 \text{ MPa} \leq \text{EV2} < 80 \text{ MPa}$
PF2qs	$80 \text{ MPa} \leq \text{EV2} < 120 \text{ MPa}$
PF3	$120 \text{ MPa} \leq \text{EV2} < 200 \text{ MPa}$

A partir de la plage de portance du sol (**Ps**) de la classe d'arase (**ARj**), la classe de plate-forme correspondante ou la plage immédiatement supérieure est visée comme le montre le tableau suivant :

Tableau (II.4) : classe d'arase

ARASE DE TERRASSEMENT		PLATE-FORME VISEE	
Classe d'arase AR_j	Portance du sol Ps en MPa	Classe de plate-forme PF_i	Module EV2 en MPa
AR0	Ps < 20	PF1+	30 ≤ EV2 < 50
		Déconseillé (Effet « <i>enclume</i> » non obtenu)	
AR1	20 ≤ Ps < 50	PF2	50 ≤ EV2 < 80
AR2	50 ≤ Ps < 120	PF2_{qs}	80 ≤ EV2 < 120
AR3	120 ≤ Ps < 200	PF3	120 ≤ EV2 < 200

Si la classe d'arase correspond à **AR0** ou **AR1**, la classe de plate-forme immédiatement supérieure est visée à long terme, c'est-à-dire la **PF2**. Par contre pour les autres classes d'arase : **AR2, AR3 et AR4**, la classe de plate-forme égale ou immédiatement supérieure sera visée.

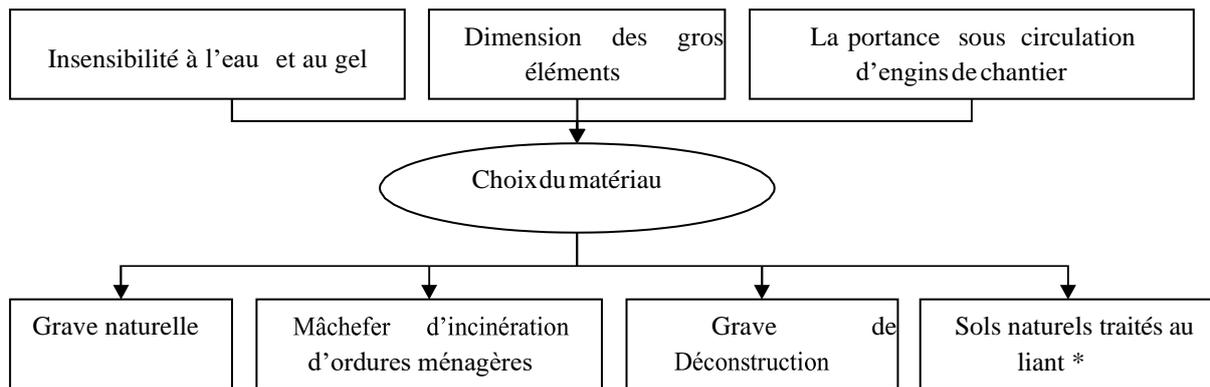
Dans ce dernier cas le choix s'effectuera en fonction d'autres paramètres tels que la vocation de la voie.

- Le type de matériau à mettre en œuvre pour la couche de forme

Pour la mise en œuvre d'une couche de forme, une attention particulière doit être accordée au choix du matériau.

Les matériaux choisis doivent satisfaire différents critères :

- insensibilité à l'eau et au gel ;
- dimension des plus gros éléments (D_{max}) à cause de la contrainte de nivellement de la plate-forme (+ ou - 3cm) ;
- la portance sous circulation des engins de chantier.



L'utilisation de matériaux naturels de **classe A** ou **B** en couche de forme est possible mais la sensibilité à l'eau de ces matériaux nécessite un traitement en place ou en centrale avec de la chaux et/ou un liant hydraulique. Une étude préalable d'aptitude au traitement conformément à la norme **NF P 94-100** doit être réalisée en préalable ainsi qu'une étude de comportement au jeune âge pour définir les dosages et les liants les plus adaptés aux matériaux.

- L'épaisseur de la couche de forme

L'épaisseur de la couche de forme dépend de plusieurs paramètres :

- la classe de la **PST n° i** et de l'arase (**AR_j**) ;
- la classe de la plate-forme (**PF_i**) visée à long terme ;
- la classe géotechnique du matériau constituant la future couche de forme.

Si la PST est performante et constituée de matériaux insensibles à l'eau et non gélif, la couche de forme n'est pas indispensable.

- La mise en œuvre d'un géotextile

Deux cas de figure justifient la mise en œuvre d'un géotextile :

- En cas de drainage de l'ouvrage ; pour stopper les remontées de fines argilo-limoneuses entraînées par l'effet capillaire.
- Lorsqu'un drainage de l'arase des terrassements est nécessaire, un géotextile drainant est mis en place, accompagné de l'**implantation d'un exutoire au point bas de l'ouvrage**.

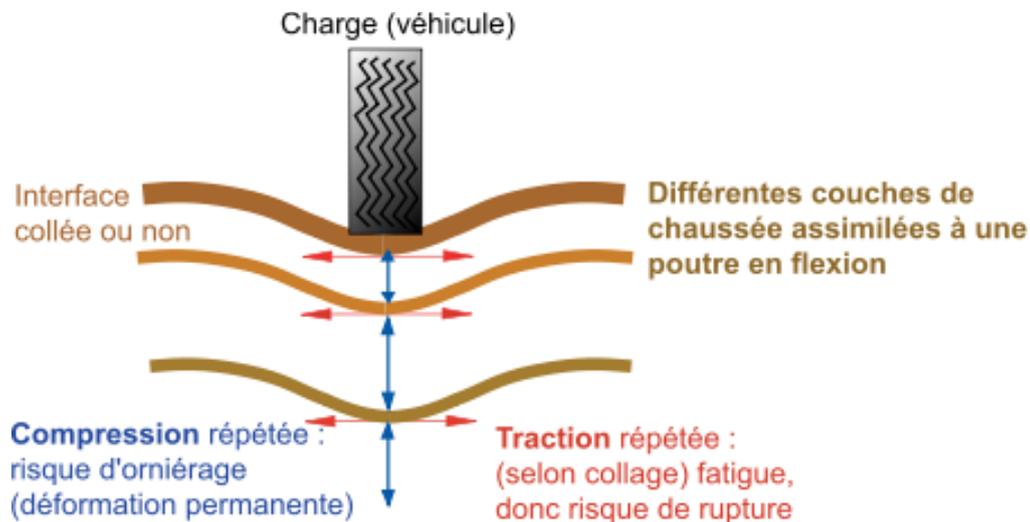
La décision d'installer un géotextile anti-contaminant sera prise en fonction du résultat de la valeur au bleu du sol in situ :

- Si la valeur au bleu du sol (**VBS**) en place ou (**PST**) est inférieure ou égale à 0,10g/100g de sol sec, le géotextile est inutile ;
- Si la valeur au bleu (**VBS**) du sol en place (**PST**) est supérieure à 0,10g/100g de sol sec, la mise en place d'un géotextile est pertinente.

Remarque : la pose d'un géotextile entraîne une diminution de l'épaisseur de la couche de forme.

II.3. Le dimensionnement des couches d'assises ou (conception du corps de chaussée) :

Les méthodes de dimensionnement des couches d'assise sont le fruit de nombreuses années d'expérience et de recherche, sur les sols et les constituants qui entrent dans la construction des couches.



Pour calculer la structure d'une chaussée, on tient compte des 6 paramètres suivants:

- 1- Trafic
- 2- Durée de vie
- 3- Risque de calcul
- 4- Les données climatiques et d'environnement
- 5- La plate-forme ou sol-support
- 6- La qualité des matériaux

II.3.1 Trafic :

Le trafic constitue un élément essentiel du dimensionnement des chaussées. Il correspond à un nombre de passages de véhicules sur une période déterminée.

Le poids des véhicules est transmis à la chaussée, sous forme de pressions, par l'intermédiaire des pneumatiques. Pour une automobile, cette pression est de l'ordre de **0,1MPa** (soit 1 Kg/cm^2). Mais, elle est de l'ordre de **0,7MPa** sous une roue de camion.

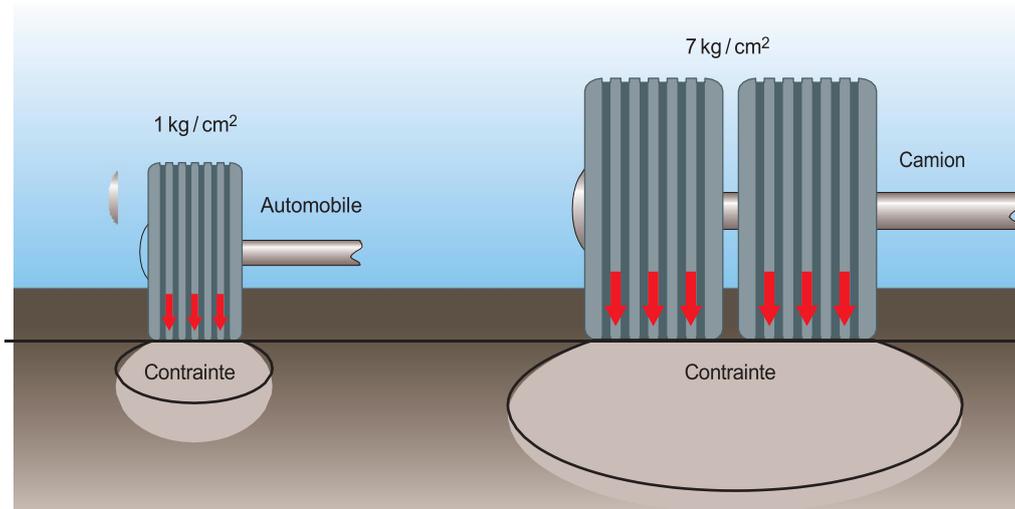


Schéma de principe illustrant les agressivités respectives vis-à-vis de la chaussée d'un véhicule léger et d'un poids

Les matériaux situés sous les roues subissent des efforts très différents lorsque passe une voiture ou lorsque passe un camion. Seul ce dernier est pris en compte pour déterminer les classes de trafic.

La méthode de dimensionnement ne prend en compte que les poids lourds définis dans la norme **NF P 98-082** dont le poids total autorisé en charge (PTAC) est supérieur ou égal à **35 KN (3,5 tonnes)**.

TMJA (Trafic Moyen Journalier Annuel) : il est égal au trafic total de l'année, par sens de circulation, divisé par 365.

Les types de réseaux principaux d'après le catalogue on a la classification suivante :

Réseau principal	Trafic (véhicules/jour)
RP1	>1500
RP2	<1500

La classe d'un trafic (TPL) est exprimé en moyenne journalière annuelle (MJA) à l'année de mise en service, par sens de circulation et pour la voie la plus large.

TPL _i	TPL 3	TPL 4	TPL 5	TPL 6	TPL 7
PL/j/sens	150-300	300-600	600-1500	1500-3000	3000-6000

Dans certaine agglomération, on tiendra compte aussi d'un taux d'accroissement annuel du trafic PL.

II.3.2 Durée de vie:

La durée de vie est en étroite relation avec la stratégie d'investissement retenue par le maitre de l'ouvrage. Elle correspond à un investissement initial moyen à élevé et des durées de vie allant de 15 à 25 ans en fonction du niveau de réseau principal considéré.



Les durées de vie fixées par niveau de réseau principal (RP1, RP2) et par matériau types sont synthétisées dans le Tableau ci-dessous :

Tableau (II.5) : Durée de vie adoptée

Niveau de réseau principal RPi	Matériaux types	Structures types	Durée de Vie (années)
RP1	MTB (matériau traités au bitume)	GB/GB, GB/GNT, GB/TUF, GB/SG, GB/AG	20
	MTLH (matériaux traités aux liants hydrauliques)	GL/GL, BCg/GC	20
		BCg	25
RP2	MNT (matériaux non traités)	GNT/GNT, TUF/TUF AG/AG, SG/SG	15
	MTB (matériaux traités au bitume)	SB/SG	15

II.3.3 Le risque de calcul :

Compte tenu du caractère probabiliste relatif au dimensionnement des chaussées dû à l'importance de la dispersion et du caractère aléatoire des essais de fatigue, l'objectif qui est retenu est que la probabilité d'apparition de dégradations avant une période donnée de x années, soit inférieure à une valeur fixée.

Cette probabilité de rupture est appelée le « risque de calcul » et la période de x années « la durée de vie » ou durée du dimensionnement.

II.3.3.1 Définition du risque :

Un risque r% sur une période de x années pris pour le dimensionnement de la chaussée, est la probabilité pour qu'apparaissent au cours de ces x années des dégradations structurelles qui impliqueraient des travaux de renforcement de la chaussée. Les niveaux de risque choisis sont en fait en étroite relation avec les options retenues par le maître de l'ouvrage en matière de niveau de service et de stratégie d'investissement et d'entretien. Les risques de calcul (r%) adoptés dans le dimensionnement des structures, qui sont fonction du trafic et du niveau de réseau principal, sont donnés dans les Tableaux ci-dessous.

Tableau (II.6) : Risques adoptés pour le réseau RP1

	Classe de trafic (TPLi) (PL/J/sens)	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
Risque (%)	GB/GB, GB/GNT,...	20	15	10	5	2
	GL/GL	15	10	5	2	2
	BCg/GC	12	5	5	2	2

Tableau (II.7) : Risque adoptés pour le réseau RP2

	Classe de Trafic (TPLi) (PL/J/sens)	TPL0	TPL1	TPL2	TPL3
Risque (%)	GNT/GNT, TUF/TUF, SG/SG... SB/SG	25		20	

II.3.4 Les données climatiques et d'environnement :

L'état hydrique du sol support, les données climatiques ont une influence sur la résistance, la durabilité, la déformabilité des chaussées et de leur support.

Le dimensionnement doit subir une vérification au gel/dégel en fonction de la localisation géographique du projet et son exposition aux rigueurs hivernales.



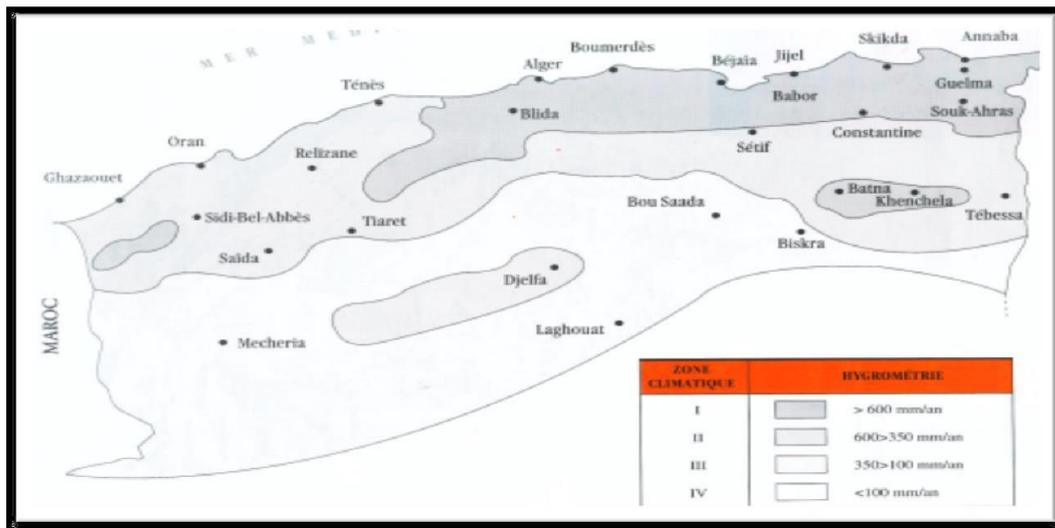
II.3.4.1. Etat hydrique du sol-support :

L'état hydrique du sol est pris en compte à travers la portance du sol support. Cette portance est estimée à partir d'un essai de poinçonnement CBR dont les conditions d'imbibition (immédiat ou à 4 jours) sont liées à la zone climatique considérée. Les différentes zones climatiques de l'Algérie sont mentionnées dans le Tableau ci-dessous.

Tableau (II.8) : Zones climatiques de pluviométrie

Zone climatique*	Pluviométrie (mm/an)	Climat	Région
I	> 600	Très humide	Nord
II	350-600	Humide Nord,	Hauts plateaux
III	100-350	Semi-aride	Hauts-plateaux
IV	<100	Aride	Sud

Carte zones climatiques (image)



II.3.4.2 Cycle saisonniers de température :

Les cycles de saisonniers de température qui influent sur les caractéristiques mécaniques des matériaux bitumineux (GB, BB, SB) sont pris en compte à travers la notion de température équivalente.

II.3.4.3 Définition de la température équivalente :

Le calcul de dimensionnement est fait pour une température constante dite température équivalente θ_{eq} . Celle-ci est telle que la somme des dommages subit par la chaussée pendant une année, pour une distribution de température donnée, soit égale au dommages que subirait la chaussée soumise au même trafic mais pour une température constante θ_{eq} . Cette dernière se détermine par application du cumul des dommages de la loi de Miner.

Les valeurs de température équivalentes (θ_{eq}) retenues pour le calcul du dimensionnement sont données dans le Tableau ci-dessous :

Tableau (II.9) : Choix des températures équivalents

	Zone climatique		
Température Equivalente (°C)	I et II	III	IV
	20	25	30

II.3.5 La plate-forme ou sol-support :

Le dimensionnement de la chaussée dépend de la classe de portance exigée au marché pour la plate-forme support.

Le sol support de chaussées est assimilé à un massif semi-infini élastique, homogène et isotrope. Les caractéristiques mécaniques nécessaires pour la modélisation sont le module de Young (E) et le coefficient de Poisson (ν).

- Le coefficient de poisson(ν) pour les sols est en général pris égal à 0,35.
- Le module du sol support (E) appelé également module de Young est donné ci-dessous dans le Tableau suivant :

Tableau (II.10) : Classes de portance à long terme du sol-support

Classes de la Plate-forme	S4	S3	S2	S1	S0
Modules (MPA)	15	25	50	125	200

II.3.5.1 Classes de sols support par niveau de réseau principal (RPi) :

Il existe une relation entre la qualité du sol support de chaussée et le bon comportement des chaussées. Pour cette raison, et pour chaque niveau de réseau principal (RO1 et RO2), les classes de sol support considérées sont les suivantes :

- **Pour le réseau principal RP1 : S0, S1, S2**
- **Pour le réseau principal RP2 : S0, S1, S2, S3**

Si ces niveaux de portance ne sont pas atteints, il faudra alors prévoir une couche de forme de manière à améliorer le module du support de chaussé.

II.3.6 La qualité des matériaux :

Les matériaux de construction de chaussées répondent à des normes sur les quelles s'appuient les calculs. Dans le cas de matériaux non définis, une étude particulière doit être réalisée en laboratoire.



II.4 Dégradations des chaussées :

Les chaussées évoluent et se dégradent essentiellement sous l'effet du trafic lourd et des conditions climatiques, la rapidité de cette évolution et les désordres qui apparaissent sont également liés à la nature et l'épaisseur des matériaux utilisés à leurs conditions de fabrication et de mise en œuvre, certains désordres sont dus à l'instabilité du support de la chaussée (remblais ou terrain naturel) peuvent apparaître indépendamment du trafic et du climat.

Les dégradations les plus couramment rencontrées se classent en deux grandes familles : **Les dégradations superficielles** et **les dégradations structurelles** qui apparaissent au sein de la structure de chaussée ou de son support, la première famille prend naissance dans la couche de surface et de la chaussée et affecte d'abord la qualité superficielle.

Les dégradations des chaussées, selon le catalogue des dégradations de surface des chaussées, peuvent être divisées en quatre familles :

- **Les arrachements**
- **Les mouvements de matériaux**
- **Les dégradations de déformations**
- **Les fissures**

Ces dégradations ont plusieurs raisons, parmi lesquelles nous pouvons citer :

Le sous-dimensionnement ou une mauvaise qualité de l'assise entraînant des contraintes verticales excessives à la surface du sol support ou des couches non traité.

II.4.1 Les dégradations d'arrachement ou dés enrobage :

Ces dégradations concernent plutôt la qualité de la couche de surface et en ce sens des problèmes de sécurité routière en rapport avec l'adhérence et l'uni des chaussées. Ces phénomènes sont dus soit à l'usure de la couche de surface, l'arrachement des gravillons du revêtement, le départ localisé de matériau de la couche de surface, le départ de gravillons de la couche de surface ou bien le départ du liant autour des granulats dans la couche de surface.



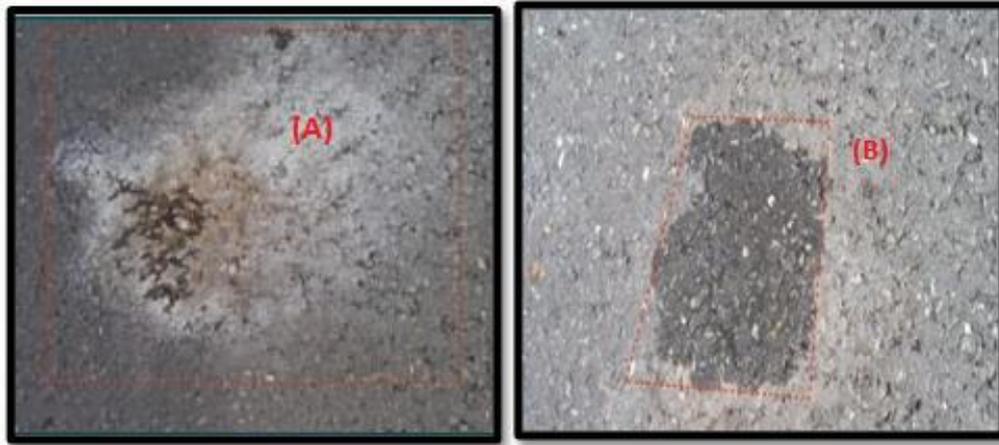
Dégradations d'arrachement

II.4.2 Les mouvements de matériaux :

Ces dégradations sont causées par des remontées du liant à la surface de la chaussée, par l'enfoncement de gravillons dans l'enrobé en période chaude, les remontées des éléments fins à la surface de chaussée, ou par l'éjection de l'eau à la surface lors du passage des véhicules lourds par suite de l'existence de cavités sous la couche de surface.



Remonté des fines



Remontée (A) d'argile

(B) d'eau

II.4.3 Les dégradations de déformation :

Les dégradations de déformation sont en général celles qui donnent des déformations visibles en surface, comme les phénomènes irréversibles suivants : **l'ornièrè, l'affaissement, le gonflement, le bourrelet, le décalage de joint de dalle ou de bord de fissure, le flambement, les déformations de forme de tôle ondulée.**



L'ornièrage

Affaissement

II.4.4 Les fissures:

Avec le problème de l'ornièrage, les fissures sont considérées comme un des plus grands modes de dégradation de chaussées.

En effet leur présence associée ou non à l'eau met en péril la durabilité à terme de la structure sous le passage répété de véhicules lourds. Le problème de fissuration peut être regardé du côté de l'endommagement des matériaux, et de leur rupture comme le mettent en évidence par exemple les essais sur le comportement à la fatigue et à la rupture des matériaux bitumineux.

Selon le catalogue des dégradations de chaussées [LCPC, 1998][7], nous pouvons classer les fissures dans la chaussée en neuf classes comme suit :

Fissure transversale et longitudinale

Fissures en dalles;

Fissures de joint

Fissures d'adaptation;

Fissures diverses

Faiénçage



Fissure longitudinale



faiénçage



Fissure en rive



Fissure diverse



Fissure d'adaptation



Fissure en dalle

II.4.5 Conclusion :

Une chaussée routière se présente comme une structure composite réalisée par empilements Successifs de couches de matériaux granulaires, le tout reposant sur un sol support.

Dès sa mise en service, la route commence à se dégrader.

Les dégradations se caractérisent par des désordres divers qui constituent, la principale pathologie des chaussées revêtues et les non revêtues. Ce phénomène peut résulter des déformations dans la couche de surface ou des déformations dans les autres couches de la chaussée.

Les dégradations de la route sont causées par l'augmentation des surcharges du trafic et la manque d'un bon système d'assainissement de la chaussée, ceci est bien observable car certains ouvrages n'arrivent pas à assurer leur rôle de drainage par manque des interventions d'entretien. Les eaux de surface s'infiltrent et affectent le corps de la chaussée, cette route avec des eaux stagnantes et qui n'ont pas suffisamment un système de drainage pour supporter une grande précipitation ou une inondation anormale qui dégrade la route.

CHAPITRE III *PRESENTATION*
DU PROJET

III.1. Introduction :

Le présent chapitre traite la présentation de la route nationale **RN 40A** entrant dans le cadre de l'opération de remise à niveau des routes nationales lancée par la direction des travaux publics de la wilaya de Tiaret.

Cette étude comprend essentiellement

- Des informations générales sur la wilaya de Tiaret
- Description générale du tracé
- L'Histoire des travaux réalisés au niveau de la route
- Recueil des données (trafic & hypothèses de calcul)
- Vu de l'examen visuel de l'état de l'linéaire (dégradations constatés)
- Données sur les sondages sous chaussée

III.2. Aperçu Général sur la Wilaya de Tiaret :

III.2.1. Situation géographique et voies d'accès:

La wilaya de Tiaret est située au Nord-Ouest de l'Algérie, à 300km de la capitale, Tiaret est le point de rencontre entre différentes wilayas du pays, Tissemsilt et Relizane au Nord, Laghouat et El Bayadh au Sud-Est, Mascara et Saida au Sud-Ouest. Elle partage également, les frontières avec les wilayas de Djelfa et Médéa. La position géographique stratégique de la wilaya fait d'elle une zone de contact entre le Nord et le Sud mais également avec plusieurs wilayas du pays.

Elle se trouve à 219 km d'Oran, à 154 km de Mascara, à 253km de Mostaganem et à 291 km de Laghouat. On peut y accéder par voie routière et par voie aérienne :

Par route, à partir d'Alger via Tissemsilt (RN14), Oran via Relizane (RN23) ou via Mascara (RN91), Béchar via Saida (RN14), et Constantine et Sétif via Djelfa (RN40).

La wilaya est aussi, dotée d'un réseau routier reliant les différentes localités entre elles et Tiaret. Ce sont des routes de Wilayas, Communales et vicinales.

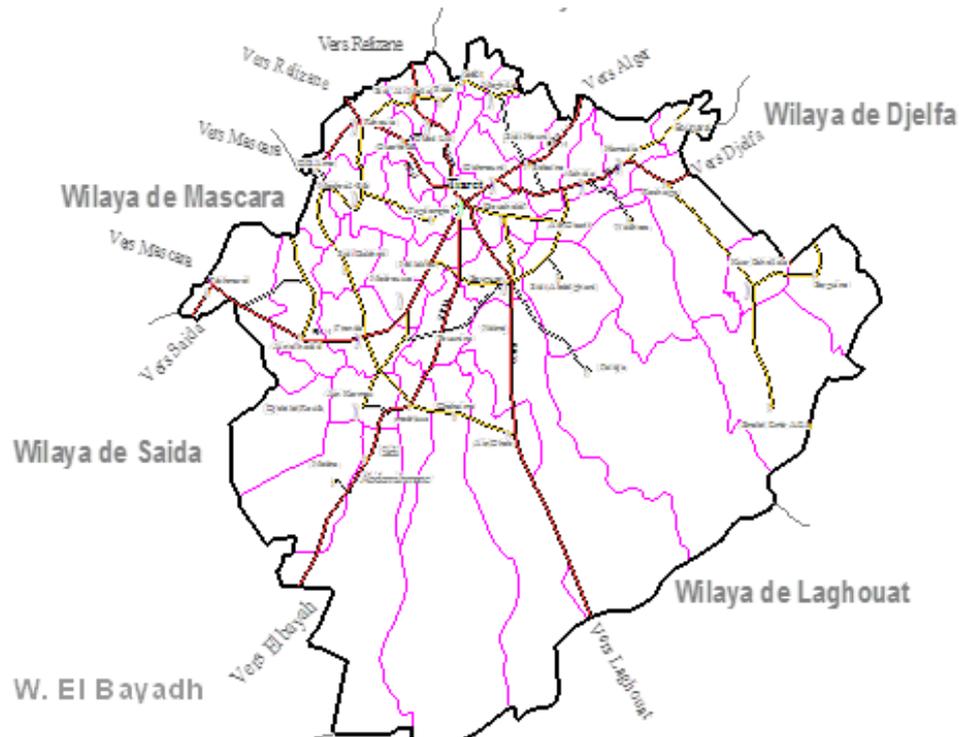


Fig. (III.1) : Les limites de la wilaya de Tiaret

III.2.2. Topographie et morphologie :

La wilaya de Tiaret présente une diversité d'unités naturelles qui caractérisent les deux grands ensembles morphologiques : l'Atlas tellien et les hautes plaines du Nord au Sud, nous distinguons :

Une chaîne de piémonts : constituant méridional de l'Ouarsenis (Dj. Bechtout, Dj. Si Maarouf, Dj. Mahnoun, Dj. Guedéele) à orientation Est- Ouest fortement érodée, et de fortes pentes.

Un domaine tabulaire : vaste s'étendant au pied de l'Ouarsenis où prédomine des formes planes emboîtées entre 800 et 1000m ; appelé communément « le plateau du sersous »

Les monts de Frenda : un ensemble montagneux d'altitude moyenne 1200m qui prolonge localement les monts de Saida, au relief modéré et localement boisé.

Le haut plateau : constituant lui-même une vaste plaine regroupant la cuvette du chott Chergui à l'Ouest et le chaînon du Nador (Dj. Nador, Dj. N'sour, Dj. Es Safah, Dj. Chemeur, Ras Sidi Atallah).

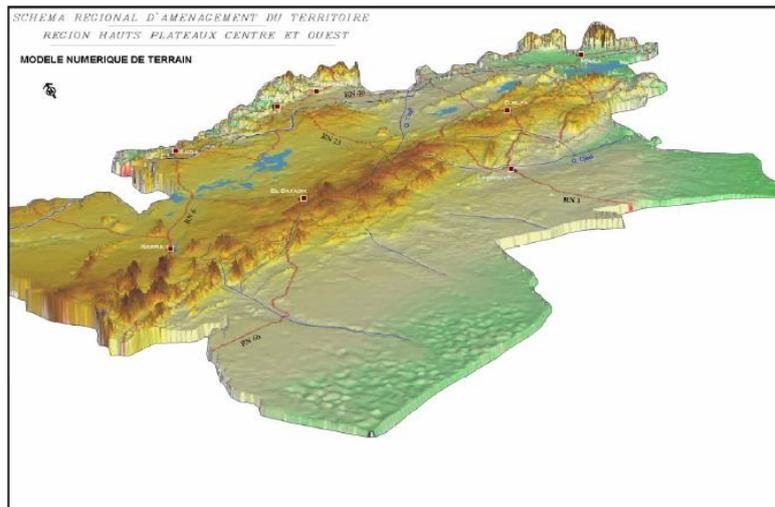


Fig. (III.2) : Topographie et morphologie de Tiaret

III.2.3. Le Climat :

La wilaya de Tiaret se trouve entre 700 et 1200 m d'altitude, son climat se caractérise par 02 périodes à savoir : un hiver rigoureux et un été chaud et sec avec une température moyenne de 37,2°C. Un été chaud et sec avec une température moyenne de 24°C. En période normale la wilaya de Tiaret reçoit 300 à 400 mm de pluies par an, avec une fluctuation saisonnière de la pluviométrie allant de 157 mm en hiver à 31 mm en été. Elle appartient à l'étage bioclimatique semi-aride inférieur à hiver frais où le climat est du type méditerranéen.

Le relief qui est hétérogène, est matérialisé par :

- Une zone de montagne au Nord ;
- Des hautes plaines au Centre ;
- Des espaces semi-arides au Sud (68,44%) ;

Les chaînes montagneuses et les piémonts, comme indiqué précédemment, qui apporte des températures froides en hiver et chaudes en été en raison d'un fort ensoleillement.

Le climat de la partie Nord est de type méditerranéen compte tenu de sa situation par rapport à la mer (100km environ en vol d'oiseau). Par contre celle de la partie sud est continentale.

Les faibles précipitations, qui résultent de l'effet de barrière que constitue l'Atlas Tellien et qui peuvent tomber en hiver dans ce dernier sous forme de neige.

Le climat de la wilaya se caractérise principalement par :

- Un régime de précipitations faibles à très faibles accompagnées de températures élevées
- Gelées d’hiver et de printemps importantes.
- Vents chauds et secs en été.

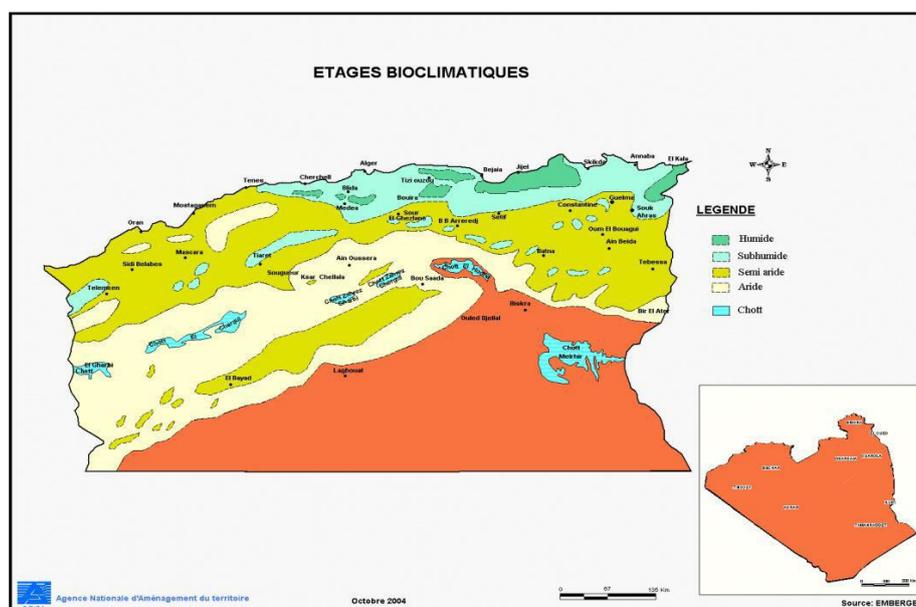


Fig. (III.3) : Etages bioclimatiques

L’analyse des données pluviothermiques de la région de Tiaret de la période 1984-2015 montre nettement la variabilité interannuelle de la pluviométrie et sa tendance à la baisse, en plus d’une dispersion croissante dans le temps qui a pour origine la grande irrégularité des épisodes excédentaires et déficitaires.

Tableau (III.1) Précipitations moyennes annuelles de Tiaret

Précipitations moyennes annuelles												
Mois	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Julie	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
P(mm)	39.9	39.9	35.1	35.9	28.2	11.8	3.4	9.4	33.0	31.3	42.8	35.5
T°C	6.1	7.0	9.5	11.9	16.3	21.9	26.3	26.1	21.3	16.6	10.6	7.3

La période 1984-2015 a enregistré des tranches pluviométriques en dessous de la moyenne (Pr moy = 342,6 mm) durant une quinzaine d'années ; les dix-sept autres étaient plus ou moins humides. Elle s'est caractérisée respectivement par une sécheresse légère à modérée et une humidité légère à modérée. Elle est marquée par une période sèche de sept mois, une température minimale de -3,2 °C et une température maximale de 37,2 °C.

Le graphique de l'évolution de l'indice de pluviosité a permis de constater que les épisodes de sécheresse de 1984 à 1995 et de 1998 à 2002 sont d'une intensité allant de légère à modérée. La succession des années humides ont fait suite à celle des années sèches depuis 2003 jusqu'à 2014.

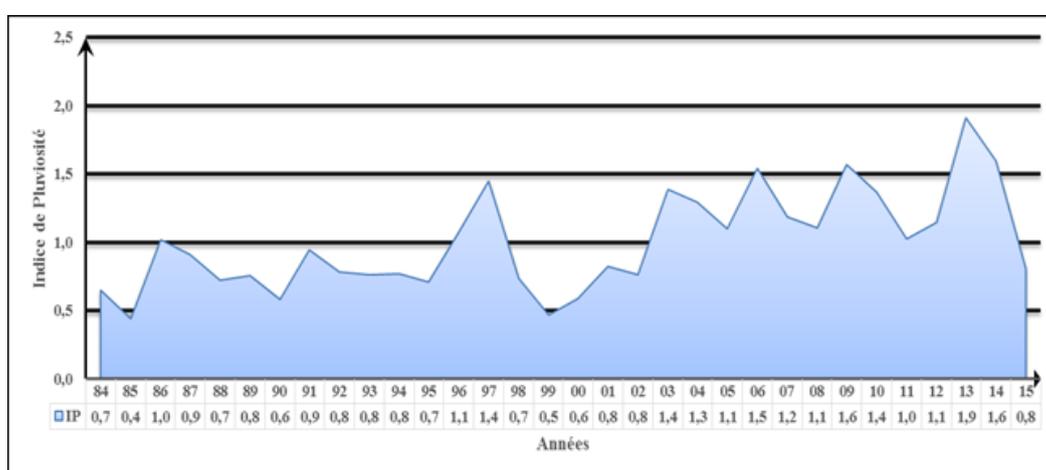


Fig. (III.4) : Indice de Pluviosité (IP) durant la période 1984-2015

Tableau (III.2) Les Températures minimales et maximales de Tiaret

Températures minimales et maximales												
Mois	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T min (C°)	-09	-11	-07	-04	-02	01	07	05	02	-02	-06	-09
T max (C°)	23	25	30	34	40	41	44	41	40	36	29	25

Comme en témoigne le tableau ci-avant, on remarque que Juillet est le mois le plus chaud de l'année et Janvier est le mois le plus froid de l'année. Selon la station météo de Tiaret, le record de chaleur est de 44 C° enregistré le Dimanche 14 Juillet 1999 et le record de froid est de -11 C° enregistré le Mercredi 15 Février 2012.

III.2.4. La Géologie et hydrogéologie de la région :

La région de Tiaret est limitée par la vallée du Cheliff au Nord, par les Monts de Frenda à l'Ouest, par le bassin du Chott Chergui au sud, et par le plateau du Sersou à l'Est.

La région est constitué par :

➤ L'unité tertiaire tellienne formant la terminaison Sud Est du massif de l'Ouarsenis.

Elle est constituée surtout de terrain marneux très plissés, et fracturés. Les niveaux aquifères sont grésocalcaire s'allongent d'Ouest en Est près de Tiaret, et qui semble contenir une nappe se manifestant par des sources de quelques litres-secondes. Compte tenu de la structure des couches (anticlinal), il s'agit de nappes perchées.

➤ L'unité jurassique, formée par de puissantes assises grésodolomitiques du jurassique supérieur. Ce sont des terrains quasi horizontaux entaillés par de larges vallées, notamment dans la partie Ouest (région de Frenda). Ces formations contiennent quelques nappes perchées, donnant naissance à de petites sources de faible débit.

➤ L'unité crétacée, représenté par le crétacé inférieur et moyen, constitué de marnes et de grès, et le crétacé supérieur calcaréo-dolomitique. Ce dernier renferme, au Sud de Tiaret, une nappe aquifère qui s'étend jusqu'au plateau du Sersou.

La partie centrale de cette unité hydrogéologique est composé de crétacé supérieur (Coniacien et Santonines) calcaire tandis que les parties Nord et Nord-Est extrême sont composés de grès et de poudingues de miocène moyen et supérieur (Vindobonien).

On reconnaît trois grandes zones pour les réservoirs dont les principales formations sont;

- Dans la zone septentrionale ou l'essentiel du réservoir se trouve dans les "Grès de Tiaret". Les grès et les argiles miocènes déterminent un aquifère à nappe libre ; les grès représentant le réservoir et les argiles le substratum imperméable la limite entre ces deux formations matérialisées par la ligne de source connue dans la région.

- Dans la zone de transition entre la partie septentrionale et la partie centrale, c'est-à-dire dans le synclinale de Djillali Ben-Amar constitué essentiellement des conglomérats du jurassique supérieur et des éboulis de piémonts de la base du miocène.

- Du point de vue hydrogéologique, ces formations ne contiennent que l'écoulement hypodermique qui est surtout actif au moment des pluies et qui contribue d'une manière assez

importante à l'écoulement superficiel de l'Oued Mina. Les éboulis matérialisent le cœur du synclinal avec un allongement global SW-NE.

Dans la partie Est de la zone centrale c'est-à-dire essentiellement dans la formation marno-calcaire du crétacé.

- Les calcaires fissurés, d'âge crétacé supérieur, constituent le plus grand réservoir de la région du point de vue étendue.
- La particularité de ce réservoir sont les fissures qui représentent le milieu approprié pour le stockage de l'eau souterraine.
- La nappe des calcaires fissurés se situe presque entièrement dans le crétacé supérieur et constitue de ce fait la surface su tabulaire du bassin versant de la Haute-Mina, c'est-à-dire la partie Est de la zone centrale.
- La partie Ouest est également constituée par une petite partie du crétacé supérieur seulement la fragmentation de cette partie à donner libre cours à l'érosion ce qui a fait apparaitre en premier lieu les formations de crétacé inférieur et moyen marquées par un ravinement très prononcé. Cet aspect a d'ailleurs favorisé la fixation d'une végétation intense.

L'hydrogéologie de la région d'étude est caractérisée par un aquifère discontinu à porosité de fissure et karstique. Les principaux horizons aquifères suivants sont:

- Les dolomies et calcaires kimméridgien.
- Les calcaires et grés du Tithonique.

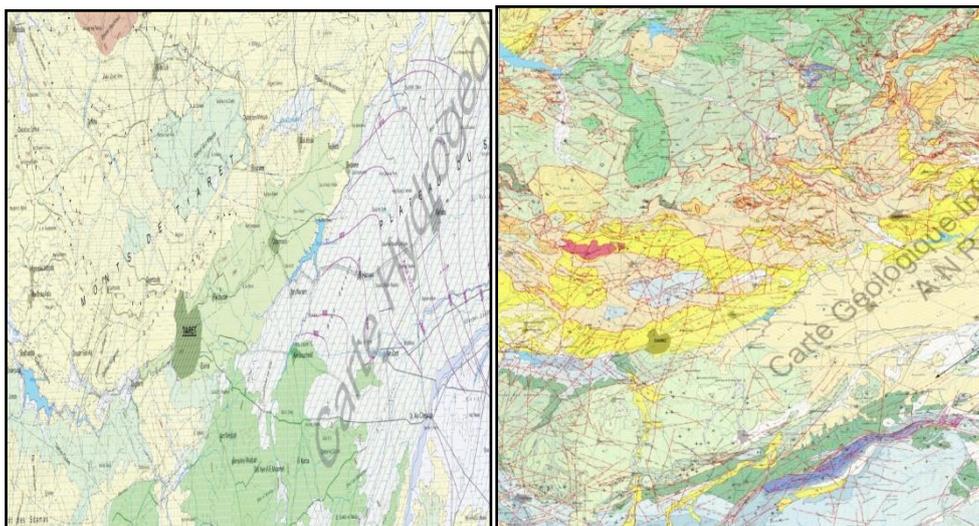


Fig. (III.5) : Extrait des cartes géologique et hydrogéologique de Tiarét

III.2.5. Tectonique :

Le plateau du Sersou correspond à un vaste synclinal (ensellement pré-tellien) comblé par des dépôts de crétacé et du tertiaire.

Au Sud ce synclinal est limité par le vaste anticlinorium du Djebel Nador. Le noyau anticlinal dans l'alignement des Djebels Ben Ennasour, Es sefah et charmeur, et plus à l'Est des djebels Métales et Hammadé sont marquées par un important accident, relevant les formations du lias et provoquant d'importants pointements de trias.

Plus au Nord au centre du plateau apparaissent des structures isolées, notamment la structure jurassique du Djebel Rechaiga à laquelle on est tenté de relier les pointements du trias qui apparaissent plus au Nord-Est au milieu du recouvrement pliocène KoudiatFedoul et ES Zerga.

Il semble donc qu'une autre structure en gros parallèle à la structure Nador. Chellal existe sous le recouvrement pliocène en prolongement de l'axe anticlinal de Tiaret.

L'ensemble des plissements jurassiques et crétacés présentent une orientation générale Sud-Ouest et Nord-Est.

Au nord du synclinorium du Sersou les formations éocène-oligocènes peuvent se rattacher à un ensemble allochtone (nappe sud –tellienne)

La région de Tiaret Est, a priori, peu concernée par les risques sismiques. Les cartes montrent que la région a été touchée, de Septembre 1973 à Juillet 2006, par un nombre très restreint de séismes, d'amplitude faible à modérée. Cependant cet aléa ne peut y être considéré comme tout à fait négligeable, en raison de la proximité de la partie Nord de la wilaya avec celle des wilayas à aléa sismique notable.



Fig. (III.6) : Les plus importants séismes d'Algérie entre 1900 à 2003

D'après le RPA 99 version 2003, la région de Tiaret est située dans la zone de faible sismicité (Zone I).

III.3. Description générale du tracé :



La section objet de notre étude démarre du PK 0+000 (sortie de la ville de TIARET) jusqu'au PK 18+000 (l'usine marque Mercedes) en traversant par l'Aéroport et commune de Ain Bouchakif ;

Il s'agit d'une chaussée partie unidirectionnelle et une autre bidirectionnelle à deux (02) voies de circulation.

La largeur moyenne revêtue de la chaussée varie entre 7.00 à 9.8 m avec une largeur des accotements qui varie de 1 à 4.00m.

Le relief du tronçon est généralement plat avec des déclivités et sinuosités faibles.

III.4. Historique de la RN40A :

Selon les informations recueillies au niveau de la DTP de TIARET la date des derniers travaux réalisés en 2008 ; a fait l'objet d'interventions localisées (réparations) sur plusieurs sections pendant les périodes différents.

D'autre part et par manque d'information, on ne peut pas se prononcer sur la consistance et la nature des derniers travaux.

III.5. Recueil des données :

III.5.1. données sur le trafic :

Le comptage du trafic réalisé en 2014 ; draine un trafic moyen journalier (TJMA) de l'ordre de **5294 véh/jour avec un pourcentage de poids lourd de l'ordre de 37.70 %.**

Ce trafic a été évalué par catégorie de véhicule selon leurs caractéristiques ou on distingue six (06) catégories définies comme suit :

P1 : véhicule particuliers ;

P2 : véhicule utilitaires (camionnettes) ;

P3 : cars et bus ;

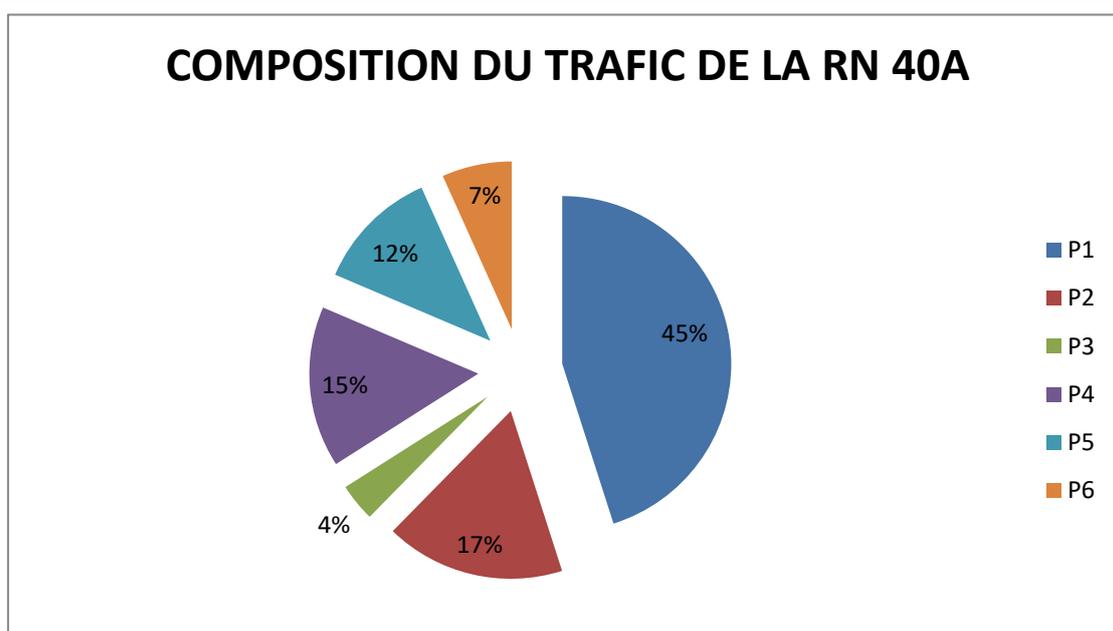
P4 : camions à deux essieux ;

P5 : camion à trois essieux ;

P6 : ensembles articulés.

Tableau (III.3) : Le tableau suivant illustre la constitution du trafic :

Localisation PK au PK	TJMA (Véh/j)	Répartition en pourcentage par catégorie de véhicule						% Poids lourds
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	
00+000 au 18+000	5294	45.09 %	17.21 %	3.64 %	15.51 %	11.87 %	6.68 %	37.7



III.5.2. Hypothèse de calcul le la RN40A :

➤ Année des derniers travaux	2008
➤ Année de comptage	2014
➤ Année de mise en service	2015
➤ Durée de vie escomptée	N = 15 ans
➤ Coefficient d'accroissement annuel	i = 5 %
➤ Coefficient d'agressivité	C = 1.75

III.6. Relevé de dégradations de la chaussée :

L'évaluation de l'état apparent de la route est basée sur l'examen visuel de la chaussée qui a permis de déterminer la nature et l'intensité des dégradations apparues au niveau de la route, et de formuler les premières hypothèses au sujet des causes des dégradations constatés.

Au niveau de tronçon objet d'étude, un relevé détaillé de dégradation a été effectuée en relevant d'une part les types des différentes dégradations observées, leur localisation et d'autre part en estimant le degré et l'étendue de chaque dégradation pour pouvoir apprécier l'état actuel de la chaussée.

Le relevé des dégradations effectuée sur la route nationale **RN 40A** dévoile un état de surface de la chaussée estimé moyen à mauvais avec un pourcentage qui dépasse 60% ; le reste linéaire est bon à moyen. Ce tronçon est caractérisé par des dégradations de la famille fissurations de type faïençage à maille fine et large, fissures longitudinales et transversales, des déformations de types affaissement localisées.

Une illustration photographique des différentes dégradations relevées est présentée ci-après :



Fissures longitudinales et transversale formant un faïençage à maille large.



Faïençages à maille fines généralisés parfois arrachement.



Affaissement de rives accompagné par une fissure longitudinale et un faïençage à mailles fines parfois arrachement.

III.7. Données sur les sondages sous chaussée :

Pour connaître la nature et les caractéristiques des matériaux constituant le corps de chaussée existant ainsi que le sol support, des sondages sous chaussée ont été réalisés sur une partie du tronçon d'étude du **PK 0+000 au PK 2+500**, et d'autre part les épaisseurs des couches non traitées constituant le corps de chaussée, afin de déterminer la nature et les caractéristiques mécaniques du sol support.

La localisation des points de sondage ainsi que la description de la nature des matériaux prélevés sont données ci-dessous :

Sondage n° 01 au PK 0+500

Nature du terrain	Epaisseur en (m)	
BB	0.08	
GNT	0.20	
TUF	0.15 à 0.20	
Sol support	Sable fortement argileux verdâtre	

Sondage n° 02 au PK 1+500

Nature du terrain	Epaisseur en (m)	
BB	0.08	
GNT	0.20	
TUF	0.15 à 0.20	
Sol support	Sol remanie	

III.7.1. Reconnaissance du Sol support :

A partir des échantillons du sol naturel remaniés extraient des puits à ciel ouvert, nous avons procédé à la réalisation d'une panoplie d'essais géotechniques de laboratoire suivants :

III.7.1.a. Essais d'identification:

- Granulométrie **NF P94-056**
- Limite d'Atterberg **NF P94-051**
- Essai de Proctor **NF P94-093**
- Essai C.B.R (California Bearing Ratiotest) **NF P94-078**

III.7.1.b. Essais chimiques:

- Évaluation de la teneur en carbonates **NA -2789**
- Valeur au bleu de méthylène **NF P94-568/1993**

- Analyse granulométrique par voie sèche selon NF P94-056:

On fait La granulométrie pour déterminer les différents diamètres des grains composant les sols précédents.

-Appareillage

- Une série de tamis diamètre de 05 mm à 0.08mm
- Une balance.

-Mode opératoire

Nous avons tamisé l'échantillon et on a utilisé des tamis propres de diamètres (5mm à 0.08mm). On superpose les tamis selon leur diamètres d'une façon à avoir le diamètre du maille le plus grand en dessus et le plus petit en dessous c'est-à-dire l'ouverture du maille devient plus en plus étroite du haut vers le bas ou il se trouve un récipient vide (fond), (5mm - 4mm - 2mm - 1mm - 0.5mm - 0.4mm - 0.315mm - 0.2mm - 0.1mm - 0.08m. Après on pèse le refus de chaque tamis sans oublier la quantité qui se trouve dans le récipient (fond) en bas de la série.



Fig. (III.7) : Préparation des échantillons



Fig. (III.8) : Mode opératoire l'essai analyse granulométrique par tamisage

- Limites d'Atterberg et indice de plasticité selon NF P94-051:

- Principe de détermination des limites d'Atterberg:

L'essai s'effectue en deux phases:

- Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol placé dans une coupelle de caractéristiques imposées se ferme lorsque la coupelle et son contenu sont soumis à des chocs répétés;

- Recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimension fixée et confectionné manuellement, se fissure.

- Mode opératoire

a. Matériel pour détermination de la limite de liquidité

- Un appareil de Casagrande.
- Une étuve de dessiccation.
- Une balance.
- Des capsules ou boîtes de Pétri, spatules, truelles.

b. Matériel pour détermination de la limite de plasticité

- Une plaque lisse en marbre.
- Des capsules ou boîtes de pétri, des spatules.
- Une balance.
- Une étuve.
- Une plaque de verre.



Fig. (III.9) : Matériel pour détermination de la limite de liquidité et la limite de plasticité



Fig. (III.10): Mode opératoire pour détermination de la limite de liquidité



Fig. (III.11): Mode opératoire pour détermination de la limite de plasticité

-Valeur de bleu de méthylène (VBS) selon NF P94-568/1993:

Cet essai permet de caractériser les argiles des granulats quant elles sont présentes en faible quantité.

Appareillage et produit:

Appareillage d'usage courant: Balances; Chronomètre; Tamis; Bac; Pipettes.

Appareillage spécifique: Un agitateur à ailettes; Un agitateur à barreau magnétique; Un bécher de 5000ml; Un circuit de pompage; Un spectrophotomètre.

Produit: Eau déminéralisée et distillée; Eau de javel; Blue de méthylène.

-Mode opératoire

- Préparation de la solution du Blue.
- Prélèvement de la masse de 30g.
- Introduire la masse dans le récipient, et mettre en suspension dans l'eau distillée.
- Agiter sous une vitesse $600 \text{ tr/min} \leq V \leq 800 \text{ tr/min}$ pendant $t \geq 5 \text{ min}$
- Si l'auréole Blue clair disparaît, procéder à de nouvelles injections de Blue jusqu'à l'apparition de l'auréole pendant $t = 5 \text{ min}$ successives.



Fig. (III.12): Mode opératoire d'essai de bleu méthylène

- Détermination de la teneur en carbonates CaCO_3 selon NA -2789:

L'essai consiste à déterminer le volume de dioxyde de carbone (CO_2) dégagé sous l'action d'acide chlorhydrique en excès (dans des conditions de température et de pression atmosphériques connues) par un échantillon préparé pour l'essai, l'appareil utilisé est appelé le calcimètre.

- ① Flacon avec ampoule de niveau
- ② Burette graduée
- ③ Robinet
- ④ Bac d'eau de refroidissement à température ambiante
- ⑤ Flacon à réaction
- ⑥ Tube à essai
- ⑦ Matériau soumis à essai
- ⑧ Système réfrigérant
- ⑨ Tubulure souple reliant ① à ②
- ⑩ Liquide (avec colorant éventuel)
- ⑪ Gaz dégagé par la réaction

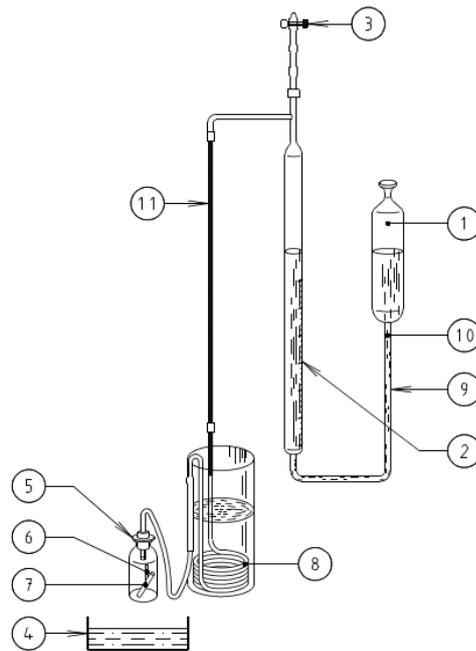


Fig. (III.13): Mode opératoire

-Essais mécaniques:

-Essai Proctor selon NF P94-093:

Les caractéristiques de compactage Proctor d'un matériau sont déterminées à partir des essais dits: Essai Proctor normal ou Essai Proctor modifié.

Les deux essais sont identiques dans leur principe, seules diffèrent les valeurs des paramètres qui définissent l'énergie de compactage appliquée. Le principe de ces essais consiste à humidifier un matériau à plusieurs teneurs en eau et à le compacter, pour chacune

des teneurs en eau, selon un procédé et une énergie conventionnels. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérées, on détermine la masse volumique sèche du matériau et on trace la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau.

D'une manière générale cette courbe, appelée courbe Proctor, présente une valeur maximale de la masse volumique du matériau sec qui est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ce sont ces deux valeurs qui sont appelées caractéristiques optimales de compactage Proctor normal ou modifié suivant l'essai réalisé.

-Appareillage

Appareillage spécifique

L'appareillage spécifique comporte:

- Moule Proctor.
- Dame de compactage manuel «dame Proctor normal».
- Une règle à araser.

Appareillage d'usage courant:

- Tamis d'ouvertures de mailles carrées de dimensions nominales 5 mm.
- Balances.



Fig. (III.14): Appareillage pour l'essai Proctor

-Mode opératoire

- Faire le choix de matériel (Moule, Dame); (Moule Proctor, Dame Proctor normal).
- Sécher le matériau dans une étuve réglée à 50°C maximum jusqu'à un état hydrique jugé suffisamment sec pour commencer l'essai.
- Après séchage, le matériau est tamisé à 5 mm et seul le tamisât est conservé pour l'exécution de l'essai.
- Le matériau est homogénéisé et divisé par appréciation visuelle en au moins cinq parts égales.
- Humidifier le sol à la teneur en eau voulue, bien homogénéiser.
- Montrer la base du moule sur son socle et peser cet ensemble.
- Montrer la hausse sur le moule.
- Effectuer l'essai Proctor (Trois couches; 25 coups par couche).
- Après compactage de la dernière couche, retirer la rehausse, le matériau doit alors dépasser du moule d'une hauteur d'un centimètre au maximum. Cet excédent est arasé soigneusement au niveau du moule en opérant radialement du centre vers la périphérie du moule. Si des éléments > 10 mm sont entraînés dans cette opération, en laissant des vides à la surface de l'éprouvette, combler ceux-ci avec des éléments fins qui sont lissés avec la règle à araser.
- Peser l'ensemble du moule avec le matériau.
- Démoulage de l'éprouvette. On extrait, ensuite, un échantillon représentatif pour déterminer sa teneur en eau.

- Expression des résultats

Pour chaque éprouvette compactée il convient de calculer:

- La teneur en eau.
- La masse de matériau sec contenu dans le moule.
- La masse volumique du matériau sec en tenant compte du volume réel du moule utilisé, déterminé à partir de mesures géométriques réalisées à 0.1 mm près.



Fig. (III.15): Mode opératoire de l'essai Proctor

-Essai CBR selon NF P94-078:

Bute de l'essai :

L'essai CBR est un essai de portance (aptitude des matériaux à supporter les charges) des remblais et des couches de formes compactées des ouvrages routiers.

Il s'agit de déterminer expérimentalement des indices portants (IPI, CBR) qui permettent:

- Établir une classification des sols (GTR).
- Évaluer la praticabilité des engins de terrassement (IPI).
- Déterminer l'épaisseur des chaussées (CBR augmente => épaisseur diminue).

Principe de l'essai :

Le principe général de l'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de matériau. Les valeurs particulières des deux forces ayant provoqué deux enfoncements conventionnels sont respectivement rapportées aux valeurs des forces observées sur un matériau de référence de même enfoncements.

L'indice recherché est défini conventionnellement étant la plus grande valeur, exprimée en pourcentage, des deux rapports ainsi calculés.

Les indices CBR et IPI ne constituent pas des caractéristiques intrinsèques d'un sol. En effet, si ces grandeurs dépendent en partie de la nature du sol, elles dépendent d'avantage de sa teneur en eau, de sa masse volumique sèche et de son degré de saturation, qui sont des caractéristiques d'état, celles-ci étant fonction des conditions de mise en œuvre et d'environnement.

L'indication de toute valeur d'un indice CBR ou IPI d'un matériau n'a donc de sens que si elle est assortie des caractéristiques d'état du sol prise en considération dans la confection de l'éprouvette c'est-à-dire:

- a- Sa masse volumique à l'état sec exprimée en pourcentage de la valeur de ρ_d OPN ou ρ_d OPM du sol
- b- Sa teneur en eau exprimée en pourcentage de valeur de w OPN ou w OPM du sol
- c- Son état de saturation défini qualitativement par le fait que l'éprouvette est poinçonné

Soit immédiatement, après sa confection, et l'on parle alors d'indice CBR immédiat, suivant le processus opératoire suivi

Soit après avoir été immergée durant quatre jours et l'on parle alors d'indice CBR après immersion.

Pour ce qui concerne l'indice CBR dimensionnement d'une chaussée, le concepteur doit choisir les caractéristiques d'état du sol qu'il entend prendre en considération en fonction des particules du projet. A titre indicatif, on peut rappeler que les caractéristiques suivantes sont souvent retenues :

- 1- Teneur en eau: w_{OPM} ;
- 2- Masse volumique sèche : ρ_{dOPM}
- 3- État de saturation : celui obtenue après quatre jours d'immersion

Appareillage:

Matériel de confection des éprouvettes :

- 1- Le moule CBR;



- 2- La dame ou machine de compactage Proctor normal et Proctor modifié



- 3- L'ensemble des accessoires (plaque de base, rehausse, disque d'espacement, règle à araser.
- 4- Le matériel d'usage courant (balances, étuve,bacs,.....)

5- Matériel de poinçonnement



Il comprend une presse d'une capacité efficace d'au moins de 50 KN et possédant une course d'au moins 10mm.

Cette presse doit être équipée :

- D'un poinçon cylindrique en acier de $49.6\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$ de diamètre, soit une section circulaire de $19.32\text{cm}^2 \pm 0.08\text{cm}^2$, et d'une dizaine de centimètres de longueur minimale;
- D'un dispositif permettant l'enfoncement du poinçon garantissant la mesure avec une incertitude absolue maximum de 0.1 mm;
- D'un dispositif de mesure des efforts de poinçonnement. La capacité de ce dispositif doit être adaptée à l'effort mesuré. Sa précision doit garantir la mesure avec une incertitude relative maximum de 1%.

Exécution de l'essai :

Confection des éprouvettes :

Il convient tout d'abord de choisir les différents ensembles de conditions du sol (masse volumique sèche, teneur en eau, état de saturation) pour lesquels on veut réaliser l'essai.

Pour chaque ensemble de conditions d'état considéré, il convient de préparer 5,5 kg de matériau dans le cas où l'on recherche l'I CBR immédiat ou l'IPI et 7 kg de matériau dans le cas où l'on recherche l'I.CBR immersion.

On procède ensuite à la préparation du sol et au compactage dans les moules.

Dans le cas où l'on détermine l'I.CBR immersion, la teneur en eau de confection de

l'éprouvette est déterminée à partir du surplus de matériau.

Le moule contenant l'éprouvette est ensuite désolidarisé de sa plaque de base, retourne pour que la face supérieure de l'éprouvette se retrouve avec l'embase. Procéder à l'extraction du disque d'espacement puis à l'exécution du poinçonnement.

Exécution du poinçonnement :

- Positionner le disque de gonflement sur l'éprouvette avant de mettre en place les surcharges;
- Mettre en place et initialiser le dispositif de mesure de gonflement;
- Immerger l'ensemble de sorte que l'éprouvette soit recouverte par une hauteur d'eau.
- Après 4 jours d'immersion, relever la valeur de gonflement total atteint.
- Retirer le moule et l'éprouvette du bac à immersion et après égouttage, exécuter le poinçonnement.



Fig. (III.16): Mode opératoire de l'essai CBR

➤ *Essais d'identifications:*

Tableau (III.3) : Résultats des essais d'identifications

Puits N°	Nature du sol	Endroit PK	Essais physiques				Essais chimiques	
			Granulométrie	Mesures des limites d'Atterberg			Valeur au bleu de méthylène	Teneur en carb ^{tes}
				80µm (%)	WL (%)	WP (%)		
01	Sable fortement argileux verdâtre	0+500	77	28.50	16.73	11.77	2.87	09
02	Sol remanie	1+500	69	27.42	15.35	12.07	2.65	07

➤ *Essais de portance:*

Tableau (III.4) : Résultats des essais de portance

Puits N°	Nature du sol	Proctor Modifié		Indice CBR
		W (%)	Yd (t/m ³)	I CBR
				à 100 % à γOPM
01	Sable fortement argileux verdâtre	12.9	1.92	6.67
02	Sol remanié	13.6	1.88	10.08

Commentaire :

- Les essais d'identifications réalisés sur le sol support prélevé, révèle en général un **sol fin classe A2** selon la classification des sols **Norme NF P11-300 et G.T.R.**

- L'analyse granulométrique effectuée sur le sol support présente un pourcentage de fine élevée de 69 à 77% (élément inférieur à 0.08mm) avec une fraction argileuse moyenne.

- Comme en témoignent les résultats de l'essai au bleu de méthylènes (V.B.S) récapitulés dans le tableau ci-dessus, nous avons affaire à une argile sensible à l'eau.

CHAPITRE III : Présentation du Projet

- Les valeurs de teneur en carbonate de calcium mesurées caractérisent un sol faiblement marneux.
- Les indices de plasticité (Ip) obtenus positionnent le sol support dans la zone des argiles peu plastique.
- Les indices CBR à 100% de l'OPM sont de 6.67 à 10.08 pour une valeur de densité sèche à l'optimum varie de 1.88 à 1.92 t/m³.

Les courbes :

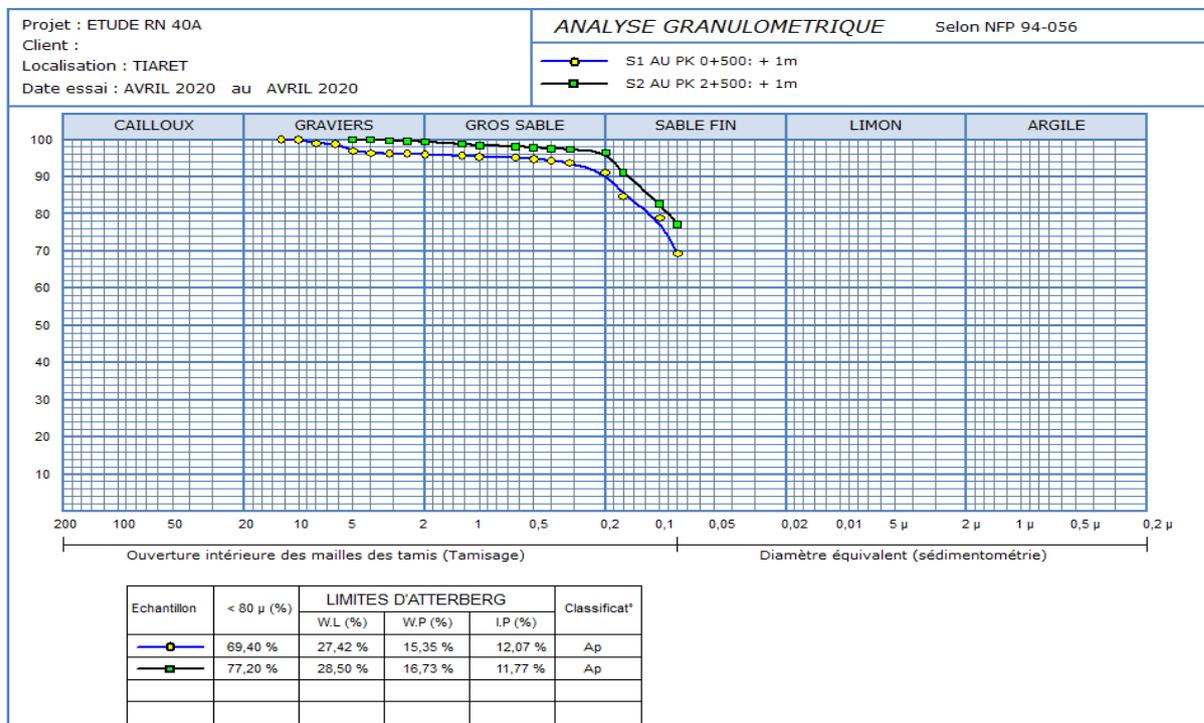


Fig (III-17) : Analyse granulométrique

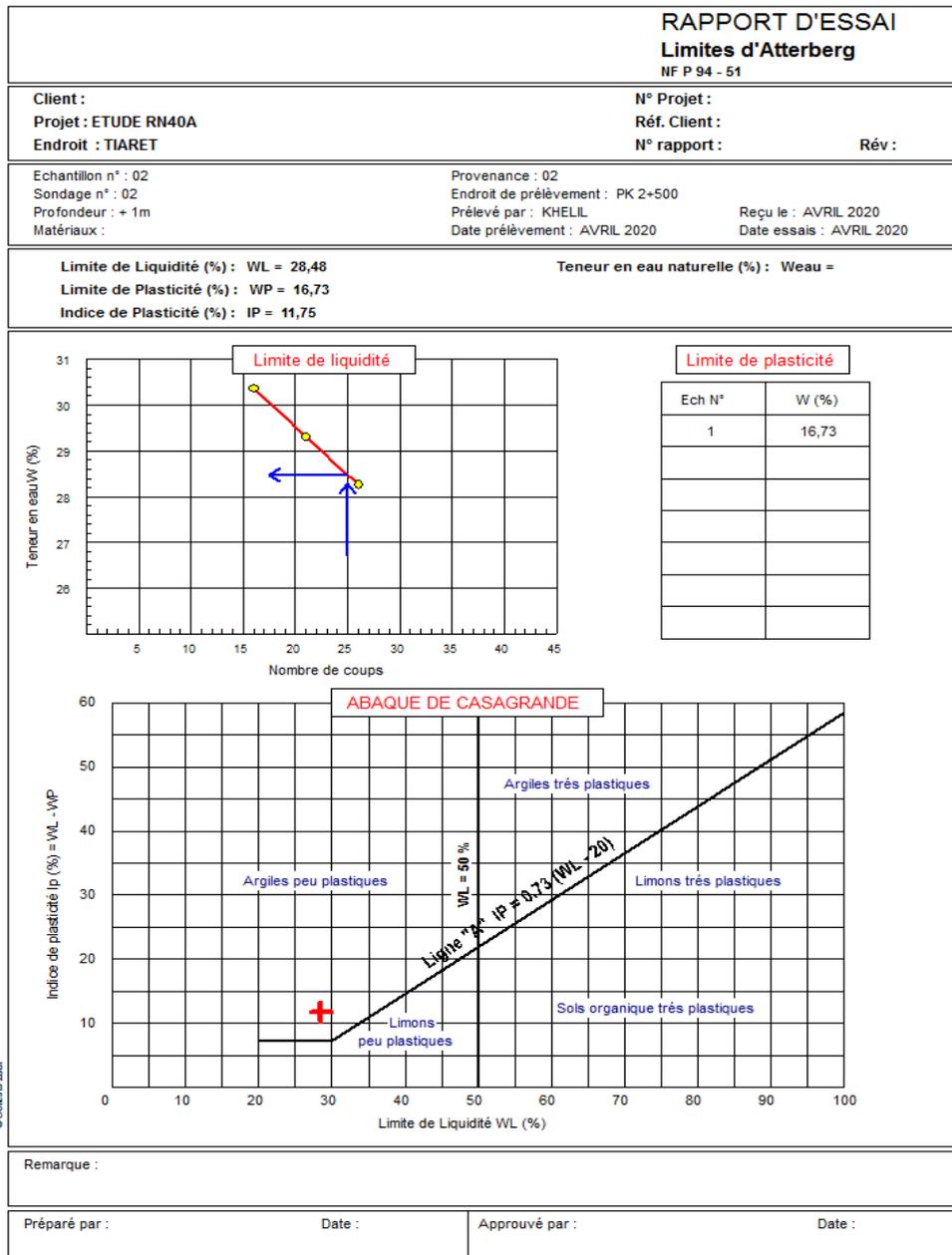
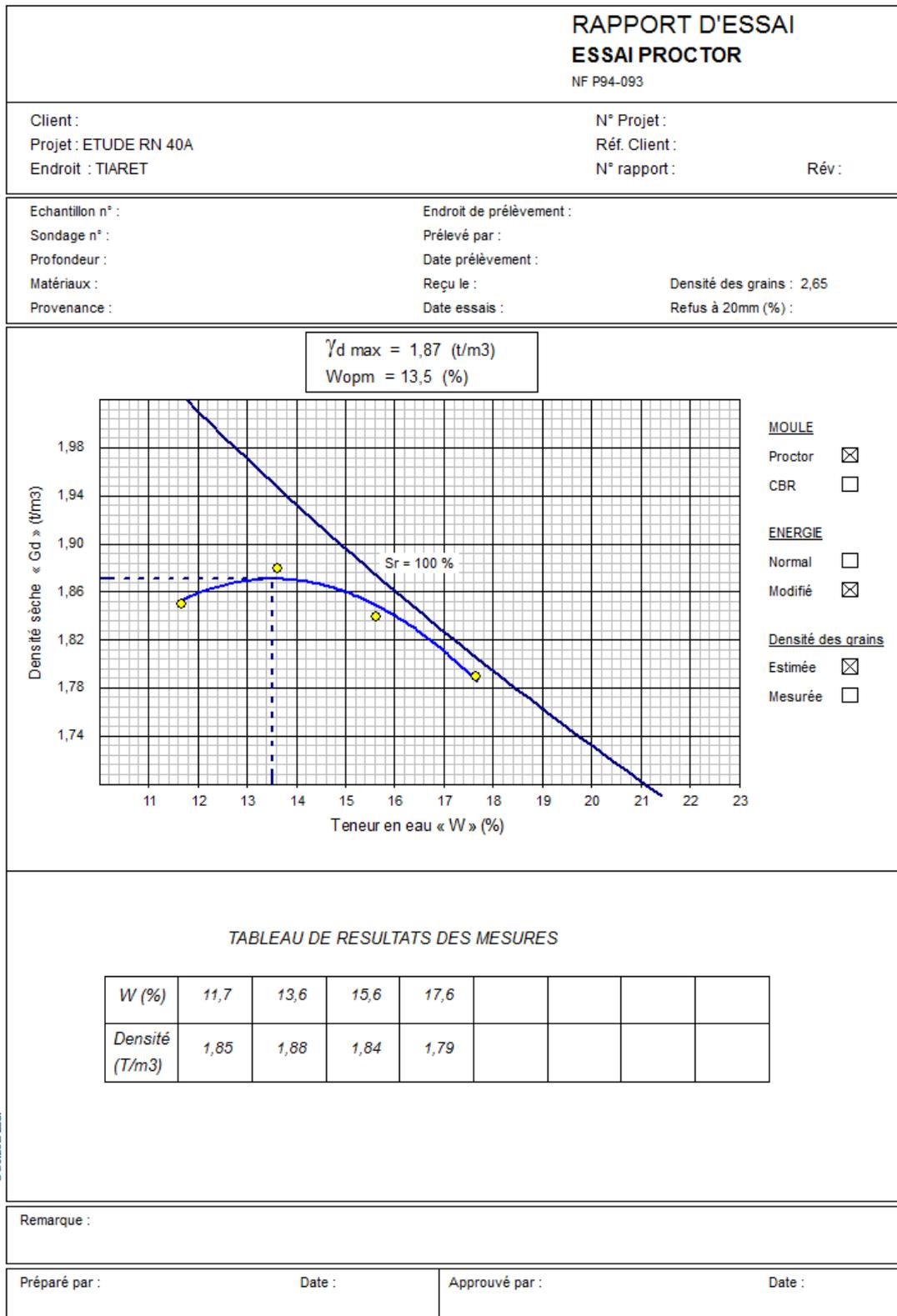


Fig (III-18) : Limites d'Atterberg



© Sofrasis 2007

Fig (III-19) : Essai Proctor

III.8 Conclusion :

Toute étude de dimensionnement des chaussées nécessite une reconnaissance du lieu et l'environnement de projet. Dans ce chapitre, une description détaillée de notre projet (lieu et environnement) a été donné. Un relevé de l'état actuel des dégradations du tronçon étudié et un recueil de donnée de trafic ont été effectués ; puis des sondages sont réalisés afin d'identifier le sol support de chaussée.

CHAPITRE IV
DIMENSIONNEMENT DE
CORPS DE CHAUSSEE; CAS
RN 40A.

IV.1 Introduction :

Les méthodes du dimensionnement de corps de chaussée les plus utilisées sont :

- La méthode de C.B.R (California -Bearing - Ratio):
- Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves.
- Méthode du catalogue des structures.
- La méthode L.C.P.C (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées).

Pour le dimensionnement de renforcement du corps de chaussée dans notre projet on va utiliser deux méthodes qui sont :

- La méthode CBR
- La méthode du catalogue algérien

IV.2 METHODE DE C.B.R (CALIFORNIA – BEARING – RATIO) :

C'est une méthode semi empirique qui se base sur un essai de poinçonnement d'un échantillon du sol support en compactant les éprouvettes de (95 à 100%) de l'optimum Proctor modifié.

Pour que la chaussée tienne, il faut que la contrainte verticale répartie, suivant la théorie de BOUSSINESQ, soit inférieure à une contrainte limite qui est proportionnelle à l'indice CBR. L'épaisseur est donnée par la formule suivante :

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

Avec :

e : épaisseur équivalente

ICBR: indice CBR (sol support)

N: désigne le nombre journalier de poids lourd à vide à l'année horizon

P: charge par roue P = 6.5 t (essieu 13 t)

Log: logarithme décimal

$$e = \sum a_i \times e_i$$

L'épaisseur équivalente est donnée par la relation suivante:

$$e = a_1 \times e_1 + a_2 \times e_2 + a_3 \times e_3$$

Où:

a_1, a_2, a_3 : coefficients d'équivalence de matériau par référence à un grave concassé.

e_1, e_2, e_3 : épaisseurs réelles des couches.

Le tableau ci-dessous indique les coefficients d'équivalence pour chaque matériau :

Tableau (IV.1) : les coefficients d'équivalence pour chaque matériau

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment – grave laitier	1.50
Sable ciment	1.00 à 1.20
Grave concassée ou gravier	1.00
Grave roulée – grave sableuse et TVO	0.75
Sable	0.50
Grave bitume GB	1.50

IV.2.1 Application au projet :

Les données mises à notre disposition sont :

Trafic moyen journalier TJMA=5294 véh/j

Le taux de croisement est de 5 %

Pourcentage du poids lourd est $Z=37.70$ %

(N) PL = $5294 \times 37.37\% = 1996$ PL/j

(N) PL = $1996/2 = 998$ PL/j/sens

Classe de trafic est **TPL5**

$$E_{eq} = \frac{100 + \sqrt{6.5} * (75 + 50 \log(\frac{998}{10}))}{ICBR + 5} = \frac{546.05}{ICBR + 5}$$

{

 Sondage N°01 au PK 0+500 \longrightarrow ICBR = 6.67
 Sondage N°02 au PK 1+500 \longrightarrow ICBR = 10.08

Le tableau suivant résume les structures proposées et les épaisseurs de chaque couche :

Tableau (IV.2) : La répartition des épaisseurs

	S1	S2
	ICBR =6.67	ICBR =10.08
Epaisseur équivalente (GC)	46.79	36.21
Couche de Roulement en BB (cm)	6	6
Couche de Base en GB (cm)	10	8
Couche de Fondation en (GNT) (cm)	20	15
Epaisseur réelle (cm)	36	29

BB : Béton bitumineux

GB : Grave bitume

GNT : Grave non traité

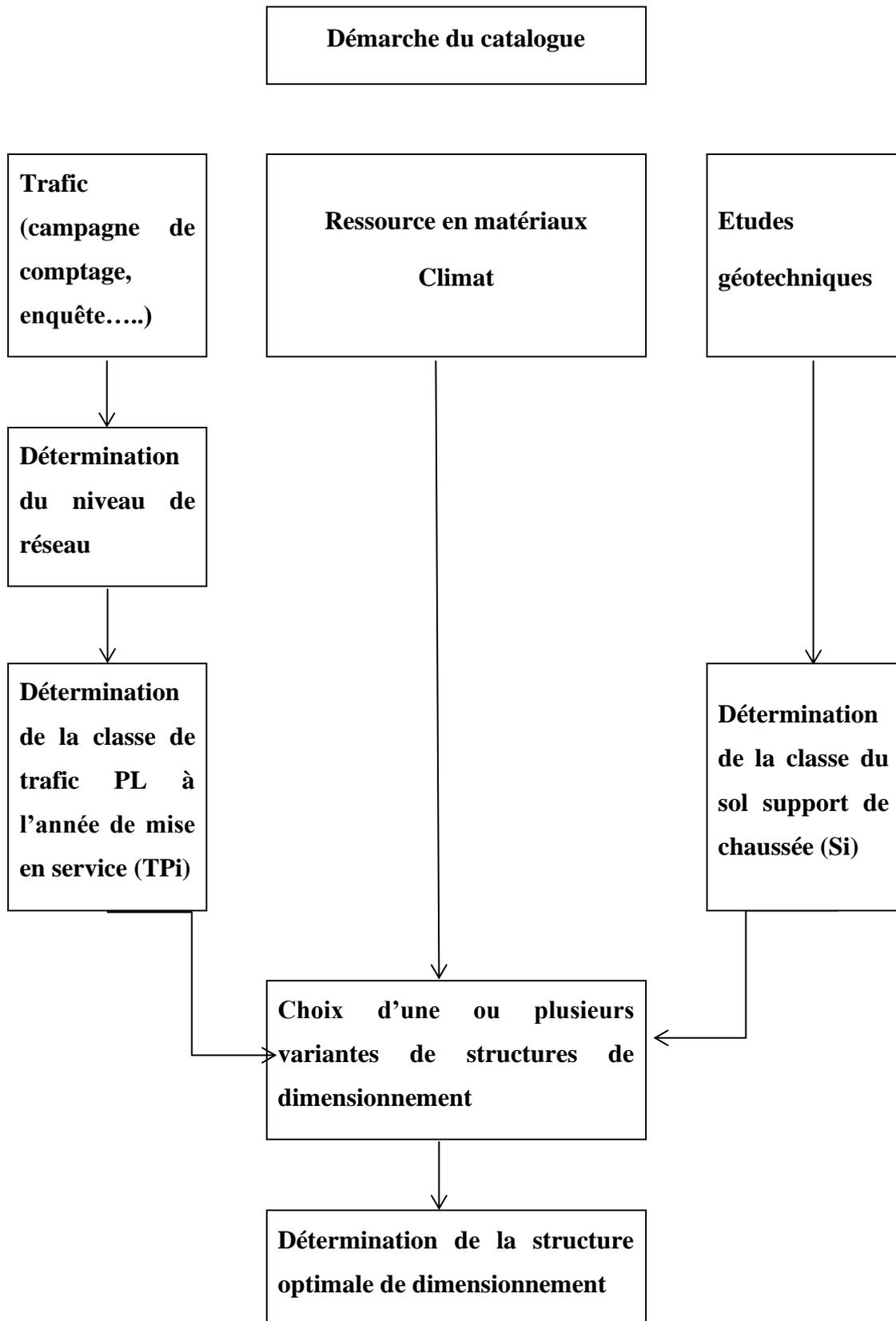
IV.3 Méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves Algérien CTTTP :

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

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.3.1 Application au projet :

Les données de bases pour le dimensionnement de chaussée selon la méthode de catalogue Algérien sont :

- Les données climatiques
- Le trafic.
- La durée de vie.
- Le sol support de chaussée.
- Le risque de calcul considéré.
- Les caractéristiques des matériaux.

IV.3.2 Les données climatiques:

Le dimensionnement de corps de chaussée s'effectue avec une température consistante, c'est à-dire température équivalente θ_{eq} , en tenant compte de cycle de variation de température de chaque année.

La température équivalente est généralement déterminée selon le zonage climatique du site d'après le **catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (2001CCTP)**, le site de projet est classé en zone **II**.

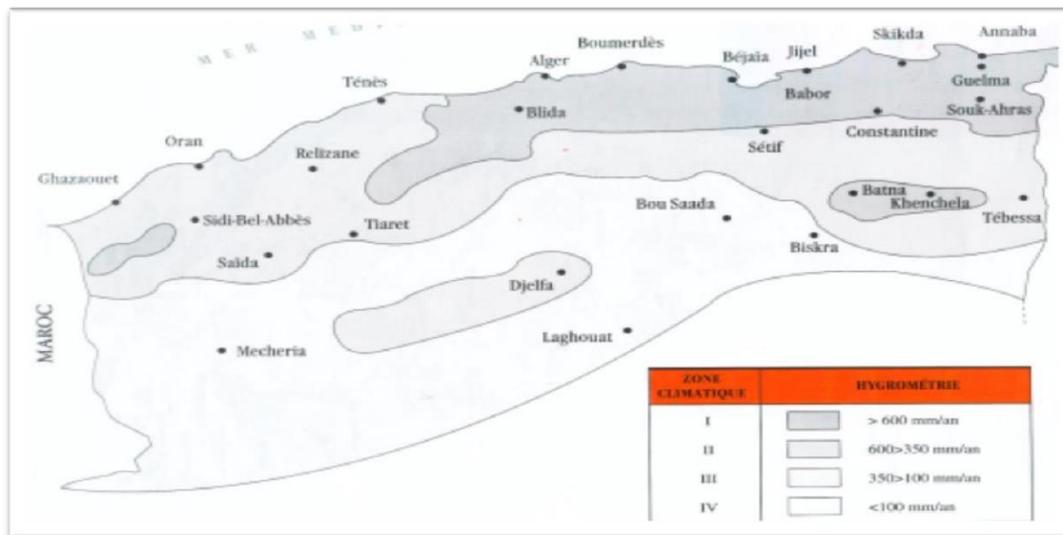


Fig. (IV.1) : Position de projet dans la carte climatique de l'Algérie (fascicule N° 1 (2001CTTP)).

Donc on prend une température équivalente égale à **20°C**, comme montré dans le tableau suivant :

Tableau (IV.3) : Choix des températures équivalentes (fascicule N°2(CTTP2001)).

Zone climatique	I et II	III	IV
Température équivalente θ_{eq}	20°C	25°C	30°C

IV.3.3 Les données du trafic :

Détermination du type de réseaux principaux :

D'après le catalogue on a la classification suivante :

Tableau (IV.4) : Type de réseau

Réseau principal	Trafic (véhicules/jour)
RP1	>1500
RP2	<1500

L'année de mise en service 2015.

$TJMA_{2014} = 5294 \text{ véh/j} > 1500 \text{ véh/j} \Rightarrow$ **Donc** : le réseau principal est **RP1**.

La durée de vie de projet c'est : **15 ans**

IV.3.4 Détermination de la classe du trafic (TPLi) :

Les classes de trafic (TPLi) adoptées dans les fiches structures de dimensionnement sont données, pour chaque niveau de réseau principal, en nombre PL par jour et par sens à l'année de mise en service.

Trafic moyen journalier $TJMA = 5294 \text{ véh/j}$

Le taux de croisement est de 5 %

Pourcentage du poids lourd est $Z = 37.70 \%$

$(N) PL = 5294 \times 37.37\% = 1996 \text{ PL/j}$

$(N) PL = 1996/2 = 998 \text{ PL/j/sens}$

$TPL_{2015} = Z \times TJMA_{2014} = 0.377 \times 998 = 376.24 \text{ PL/j/sens.}$

Répartition transversale du trafic:

Nous avons une chaussée unidirectionnelle à 2 voies. D’après le catalogue algérien du dimensionnement La répartition du poids lourd est de **90%** sur la voie de droite la plus chargée.

Donc :

$$TPL_{2015} = 376.24 \times 0.9 = 338.62 \text{ (PL/j/sens/voie plus chargée).}$$

Donc nous sommes dans un réseau principal de classe **C2**, un TPL « **entre 300 et 600** »

Donc : **La classe de trafic est TPL4.** Voir le tableau ci-dessous

Tableau (IV.5) : Classe du trafic

TPL _i	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
PL/j/sens	150-300	300-600	600-1500	1500-3000	3000-6000

IV.3.5 Trafic cumulé équivalent (TCE_i) :

Il correspond au nombre cumulé d’essieux équivalents de 13 tonnes sur la durée de vie considérée.

i : taux de croissance du trafic (0.05)

A : coefficient d’agressivité de poids lourd par rapport à l’essieu de référence de 13 tonnes. En fonction de réseau principal **RP_i**.

D’après le tableau de catalogue algérien du dimensionnement des chaussées neuves ; Le coefficient d’agressivité **A = 0,6** Donc :

IV.3.6 Risque de calcul :

Tableau (IV.6): Risque adopté pour le réseau RP1

Classe de trafic		TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	TPL7
Risque (R%)	GB/GB, GB/GNT	20	15	10	5	2

D’après le catalogue de dimensionnement algérien nous avons un risque de **15%**.

IV.3.7 Détermination de la portance de sol-support de chaussée :

Le tableau suivant regroupe les classes de portance des sols par ordre de S4 à S0. Cette classification sera également utilisée pour les sol-supports de chaussée.

Tableau (IV.7): Présentation des classes de portance des sols

Portance (Si)	S4	S3	S2	S1	S0
CBR	<5	5-10	10-25	25-40	>40

IV.3.8 Amélioration de la portance du sol support :

Pour améliorer la portance d'un sol, 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 CF. Les résultats de ces recherches sont résumés dans tableau suivant :

Tableau (IV.8): Sur classement avec couche de forme en matériau non traité

Classe de portance de sol terrassé (si)	Matériau de couche de forme	Epaisseur de matériau de CF	Classe de portance de sol support visée (sj)
<S4	Matériaux non traités	50cm(en 02 couches)	S3
S4	Matériaux non traités	35cm	S3
S4	Matériaux non traités	60cm (en 02 couches)	S2
S3	Matériaux non traités	40cm (en 02 couches)	S2
S3	Matériaux non traités	70cm(en 02 couches)	S1

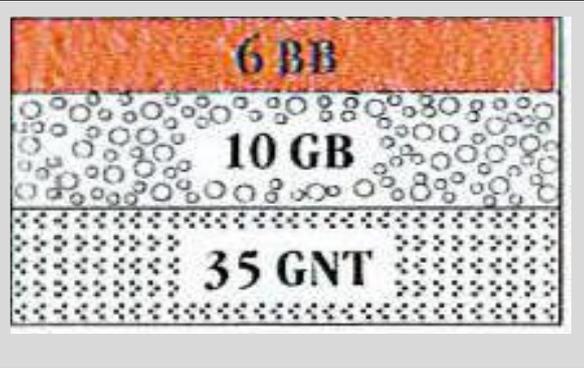
Dans notre cas ; la section du PK00+000 au PK 02+500 elle est caractérisée par une faible portance ($5 \leq CBR < 10$) donc on à classé **S3.**, selon le catalogue de dimensionnement de corps de chaussée, cette section nécessite une amélioration par une couche de Forme de 40cm en Tuf ou TVO (en 2 couches).

La classe de portance visée avant la réalisation du corps de chaussée est S2.

IV.3.9 Choix de dimensionnement :

Nous sommes dans le réseau principal (**RP1**), la zone climatique **II**, durée de vie de **15 ans**, taux d'accroissement moyen (**5%**), la portance du sol (**S2**) et une classe de trafic (**TPL4**). Avec toutes ces données, le catalogue Algérien (**fascicule N°3**) propose la structure suivante :

Tableau (IV.9): Structures proposées par le catalogue Algérien (fascicule N° 03)

Couche de roulement en BB	
Couche de base en GB	
Couche de fondation en GNT	

BB : Béton bitumineux

GB : Grave bitume

GNT : Grave non traité

IV.4 Conclusion:

Compte tenu des résultats de dimensionnement par la méthode C.B.R et celle du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves du CTTTP, nous avons constaté que la 1^e méthode a fait ressortir un corps de chaussée d'une épaisseur totale de 36 cm, composée de:

- Couche de roulement en B.B de 06 cm,
- Couche de base en GB de 10 cm,
- Couche de fondation en GNT de 20 cm.

La 2^e méthode sur une épaisseur de 51 cm est formée de:

- Couche de roulement en B.B de 06 cm,
- Couche de base en GB de 10 cm,
- Couche de fondation en GNT de 35 cm.

On remarque que pour le même trafic et le même comportement vis-à-vis la transmission des charges, les deux méthodes indiquent les mêmes épaisseurs dans la partie noire du dit corps de chaussée (B.B & G.B). Par contre, la couche de fondation par la méthode du catalogue donne une sur épaisseur de 15 cm par rapport à celle du C.B.R.

Économiquement, on constate que la méthode CBR est plus économique, car elle fait gagner un volume de 18900m³ du GNT pour un linéaire de 18kms, soit un montant de 26 000000.00 DA pour un prix unitaire de 1400 da/m³ de GNT.

Au terme de cette étude il en ressort que l'ancienne structure de chaussée composé d'une couche de roulement en BB de 8cm, d'une couche de base en GNT de 20cm et une couche de fondation en tuf de 15 à 20cm, on passe à une structure de 6cm de BB en couche de roulement, 10cm de GB en couche de base, 20cm de GNT en couche de fondation.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

L'objectif de ce projet de fin d'études était le dimensionnement des chaussées routières, cas de la route nationale 40A.

Et au terme de cette étude, nous avons pu dimensionner la chaussée par la méthode CBR et la méthode du catalogue de dimensionnement des chaussées neuves Algérien (CTTP). Tenant compte des résultats de dimensionnement par les deux méthodes:

1. La méthode CBR fait ressortir un corps de chaussée d'une épaisseur totale de 36 cm ;
2. La deuxième méthode une épaisseur totale de 51 cm

Du point de vue économie, La méthode CBR est plus économique, car elle fait gagner un volume de 18900 m³ de GNT pour un linéaire de 18 km, soit un montant de 26 000000.00 DA pour un prix unitaire de 1400 da/m³ de GNT.

Enfin, il est souhaitable que plus de programme de recherche soit fait afin de bien comprendre le comportement des chaussées dans différentes conditions.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie:

1- Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves; l'organisme national de contrôle technique des travaux publics (CTTP) Algérie, 2001

Fascicule 1 : notice d'utilisation

Fascicule 2 : hypothèses et données de dimensionnement

Fascicule 3 : fiches techniques de dimensionnement

2- Conception et dimensionnement des structures de chaussées. Guide Technique, LCPC-SETRA, 1994.

3- Classification des sols Norme NF P11-300 et G.T.R.

4- Guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussée métropolitaines version Mars 2017 LYON

5- Elaboration d'un catalogue de dimensionnement des chaussées neuves avec la méthode rationnelle, mémoire pour l'obtention du master en ingénierie de l'eau et de l'environnement à BOURKINAFASO.

6- Dimensionnement d'une structure de chaussée en utilisant les matériaux locaux, mémoire de fin d'étude master II à l'université Mhamed Bougera BOUMERDES.

Règlements:

NF P94-056: Granulométrie

NF P94-051: Limite d'Atterberg

NF P 94-078: Essai CBR

NF P 94-093: Essai Proctor

NA -2789: Évaluation de la teneur en carbonates

NF P94-568/1993: Valeur au bleu de méthylène