

Chapitre II

Matériaux, Dimensionnement et Processus de Dégradation des Chaussées Routières

II.1 Introduction

Les réseaux routiers de bonne qualité sont un élément clé de succès pour le développement social et économique des pays. La maintenance de ces infrastructures pour lesquelles des investissements importants sont consentis est un défi à relever pour les pays, notamment pour ceux du tiers monde. Pour cela, la maîtrise de leur comportement (mode d'évolution et de dégradation) est un élément inévitable. La qualité de la construction des chaussées, passe d'abord par une bonne reconnaissance du sol support et un choix judicieux des matériaux à utiliser, lui permettant de résister aux agressions des agents extérieurs et aux surcharges d'exploitation. La chaussée doit permettre la circulation des véhicules dans les conditions de confort et de sécurité voulue. Si le corps de chaussée se repose sur un sous-sol présentant une portance insuffisante. On est donc amené à apporter sur le sol naturel une épaisseur quelque fois importante de matériaux choisis dont la qualité va croître au fur et à mesure qu'on se rapproche de la surface de la chaussée car les matériaux seront soumis à des pressions fortes. Le calcul et la justification des épaisseurs des différentes couches de la structure de chaussée retenue, sont fixés en fonction des paramètres fondamentaux ci-dessus :

- L'environnement de la route ;
- Le trafic ;
- La nature du sol support ;
- Les matériaux choisis ;
- La durée de vie de la chaussée.

Cependant, sous l'effet des charges des véhicules et du climat, les chaussées routières peuvent se dégrader avec le temps et donc il faut les entretenir pour assurer un niveau de service adéquat pour les utilisateurs de la route. Cependant recenser et décrire ne suffisent pas, il convient aussi de classer ces dégradations et d'en apprécier les causes tout en donnant une définition précise aux différents défauts et les d'illustrer par des exemples photographiques types et en présentant les causes les plus probables de ces dégradations. D'ailleurs, le bon dimensionnement des chaussées routières est aussi un facteur clé pour assurer une infrastructure sécurisée et durable où il existe plusieurs méthodes de dimensionnement basant sur des critères différents.

II.2 Structures de chaussées routières

II.2.1 Définition d'une chaussée

Au sens géométrique, il s'agit d'une surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules alors qu'au sens structurel, c'est l'ensemble des couches de matériaux superposées de façon à permettre la reprise des charges.

II.2.2 Principe de la constitution d'une chaussée

La chaussée est essentiellement un ouvrage de répartition des charges roulantes sur le terrain de fondation. Pour que le roulage s'effectue rapidement, sûrement et sans usure exagérée du matériel, il faut que la surface de roulement ne se déforme pas sous l'effet :

- De la charge des véhicules ;
- Des chocs ;
- Des intempéries ;
- Des efforts tangentiels dus à l'accélération, au freinage et au dérapage.

II.2.3 Différentes couches de chaussée

La chaussée routière est constituée de plusieurs couches de matériaux très spéciaux et de nature différente. Ces matériaux doivent être identifiés au niveau de laboratoire à l'aide des essais nommés « essais routiers » afin d'en décider de leur utilisation en construction routière ([Figure II.1](#)).

II.2.3.1 Couche de surface

La couche de surface est en contact direct avec le pneumatique de véhicule et la charge extérieure dont elle est composée de deux couches : (i) la couche de roulement qui est pour rôle d'encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation, d'imperméabiliser la surface de la chaussée et d'assurer la sécurité (adhérence) et le confort (peu de bruit) et (ii) la couche de liaison qui est pour rôle essentiel d'assurer une transition avec les couches inférieures plus rigides ([LCPC, SETRA, 1998](#)).

II.2.3.2 Couche de base

La couche de base (CB) est une couche intermédiaire qui permet le passage progressif entre la couche de roulement (CR) et la couche de fondation (CF). Son principal rôle est de reprendre les efforts verticaux et de répartir les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

II.2.3.3 Couche de fondation

Elle a le même rôle que celui de la couche de base. La couche de base et couche de fondation forment le « *corps de chaussée* ».

II.2.3.4 Couche de forme

La couche de forme (CF_r) est généralement prévue pour répondre à certains objectifs en fonction de la nature du sol support à savoir :

- Cas d'un « *sol rocheux* » : La « CF_r » joue le rôle de nivellement afin d'aplanir la surface ;
- Cas d'un « *sol peu portant* » (ex : sol argileux à teneur en eau élevée) : La « CF_r » assure une portance suffisante à court terme permettant aux engins de chantier de circuler librement.

Actuellement, on tient de plus en plus compte du rôle de portance à long terme apporté par la couche de forme dans le dimensionnement et l'optimisation des structures de chaussées. Eventuellement, une

« couche drainante » ou « anti-contaminant » peut être intercalée entre la couche de forme et la couche de fondation qui s'appelle « sous-couche ».

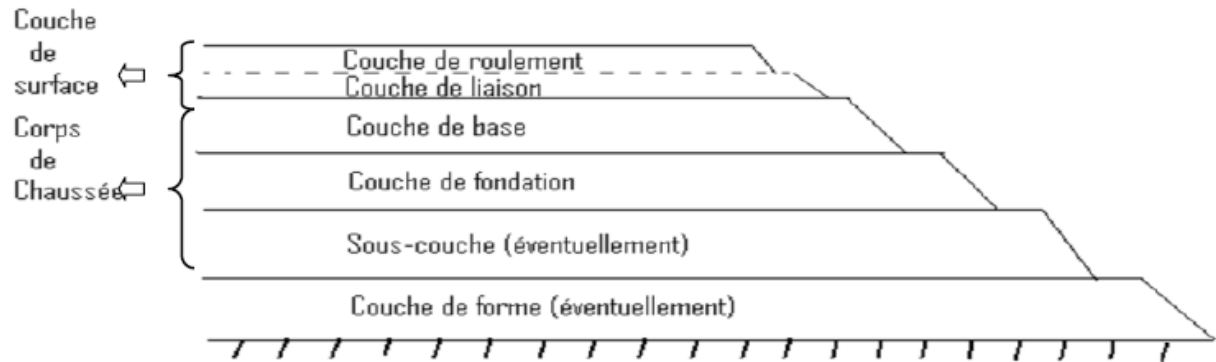


Figure II.1 – Coupe type montrant les différentes couches d'une chaussée routière (LCPC, SETRA, 1998).

II.2.3.5 Sol support de chaussée

Le sol support de chaussée est une assise de bonne qualité obtenue après terrassement et qui pour objet de supporter la structure de chaussée routière ainsi que les charges des véhicules. Dans le cas où le sol support présente une « faible capacité portante », son « remplacement » par un autre matériau de bonne qualité avec compactage ou son « amélioration » devient une solution envisageable. D'ailleurs, le sol support, dans les zones de dépression, reçoit une couche de remblai avant que la structure de chaussée soit mise en place, et cela afin de rattraper la ligne du projet ou appelé aussi la « linge rouge » du projet. Par conséquent, l'analyse et la vérification de la stabilité du sol support « sol de fondation du remblai » au poinçonnement est indispensable. On distingue deux cas à savoir :

II.2.3.6 Stabilité du sol support au poinçonnement

II.2.3.6.1 Approche $C_{U(R)}$ - $C_{U(SS)}$

Cette approche consiste à comparer la résistance au cisaillement non drainée du remblai « $C_{U(R)}$ » avec celle du sol support « $C_{U(SS)}$ ».

La valeur minimale de la résistance au cisaillement du sol support pour porter la charge du remblai durant et après la construction et ainsi que le poids des engins lors du terrassement peut être calculée à partir de la formule de portance classique suivante :

$$P_{\max} = 5.14 * C_U * J_C \quad \text{kPa} \quad (\text{Eq. II.1})$$

Où :

C_U : est la cohésion non drainée du remblai ;

J_C : est un facteur correcteur pour tenir compte de la pente du terrain (« $J_C = 1$ » pour un terrain plat ou sans pente ; « $J_C = 0.85$ » pour un terrain vallonné ou avec pente) ;

$P_{\max}$: est la valeur maximale de la charge que peut supporter le sol. Il est aussi déterminé par la formule suivante :

$$P_{\max} = H_r * \gamma_r * F_S \quad \text{kPa} \quad (\text{Eq. II.2})$$

H_r : est la hauteur du remblai ;

γ_r : est le poids volumique du remblai ;

F_s : est le coefficient de sécurité pris égale à « 1.5 ».

Pour que la stabilité du sol support au poinçonnement soit assurée, il faut que ce dernier « sol support » doive avoir une cohésion non drainée « C_U » supérieure ou égale à celle du remblai calculée par l'équation « Eq. II.3 » ci-dessous :

$$C_{U(\text{remblai})} = \frac{H_r * \gamma_r * F_s}{5.14 * J_c} \quad \text{kPa} \quad (\text{Eq. II.3})$$

C'est-à-dire, si la condition « $C_{U(SS)} \geq C_{U(R)}$ » est vérifiée, on peut déclarer que la stabilité du sol support au poinçonnement est assurée.

II.2.3.6.2 Approche $C_{U(R)} - \sigma'_{p(SS)}$

Cette approche consiste à comparer la résistance au cisaillement non drainée du remblai « $C_{U(R)}$ » (déterminée par l'équation « Eq. II.3 » ci-dessus) avec la résistance au cisaillement non drainée du sol support « $C_{U(SS)}$ » (estimée par l'équation « Eq. II.4 » ci-dessous).

$$C_{U(\text{sol support})} = 0.3 * \sigma'_p \quad \text{kPa} \quad (\text{Eq. II.4})$$

Où :

$\sigma'_{p(SS)}$: est la pression de préconsolidation du sol support.

C'est-à-dire, si la condition « $C_{U(SS)} \geq C_{U(R)}$ » est vérifiée, c'est là qu'on peut déclarer que la stabilité du sol support au poinçonnement est assurée.

II.2.4 Types de chaussées routières

Du point de vue constructif les chaussées peuvent être groupées en 03 grandes catégories (Figure II.3):

- Chaussées souples ;
- Chaussées semi-rigides ;
- Chaussées rigides.

II.2.4.1 Chaussées souples

Elles constituent l'immense majorité des routes actuelles. Elles sont composées d'une fondation constituée d'un matériau non traité mais stabilisé mécaniquement par « compactage », d'une couche de base de matériau traité au liant hydrocarbonés et une couverture bitumineuse mince « couche de roulement » d'épaisseur de moins de 15 cm. En effet, les chaussées souples constituées par des couches superposées des matériaux non susceptibles de résistance notable à la -traction. Les couches supérieures sont généralement plus résistantes et moins déformable que les couches inférieures. Pour une assurance parfaite et un confort idéal, la chaussée exige généralement pour sa construction,

plusieurs couches exécutées en matériaux différents, d'une épaisseur bien déterminée, ayant chacune un rôle aussi bien défini. En principe une chaussée souple peut avoir en ordre les 03 couches suivantes (Figure II.3) :

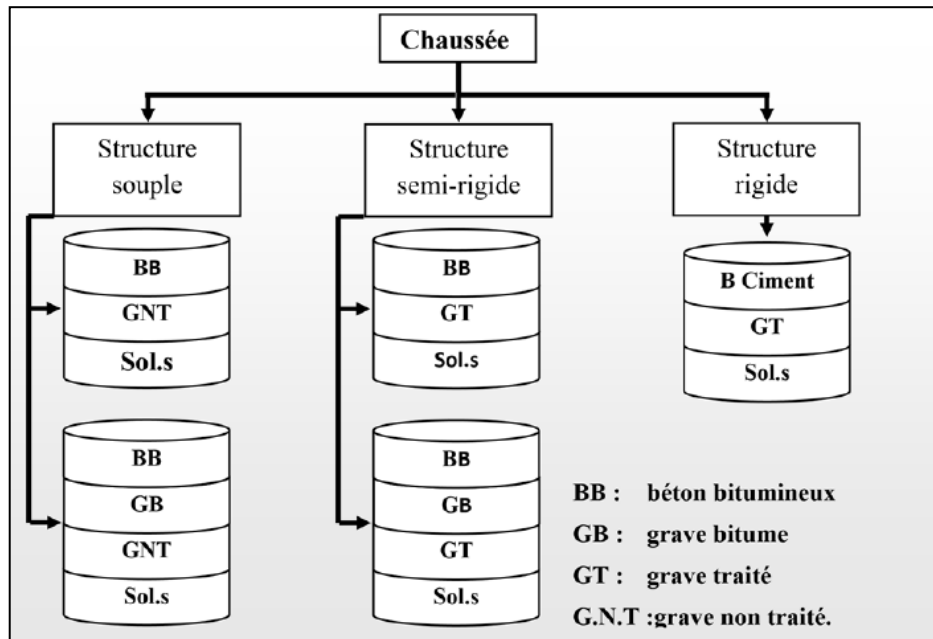


Figure II.2 – Schéma des structures principales de chaussées routières (LCPC, SETRA, 1998).

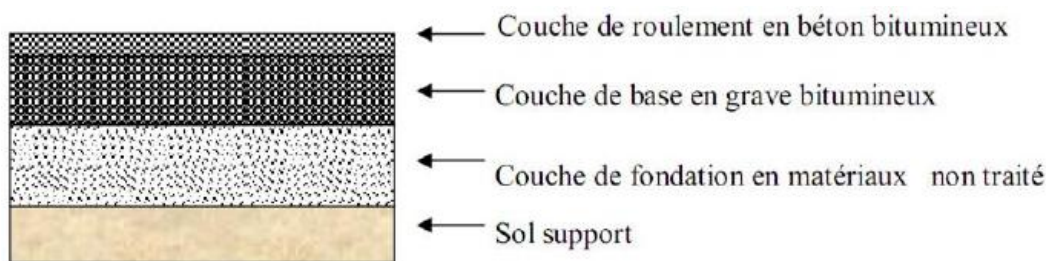


Figure II.3 – Modèle d'une chaussée souple (LCPC, SETRA, 1998).

II.2.4.2 Chaussées semi-rigides

Elle comporte une couche de surface bitumineuse repose sur une assise en matériaux traités aux liants hydraulique disposés en une couche (base) ou deux couches (base et fondation). En principe une chaussée semi-rigide peut avoir en ordre les 02 couches suivantes (Figure II.4) :

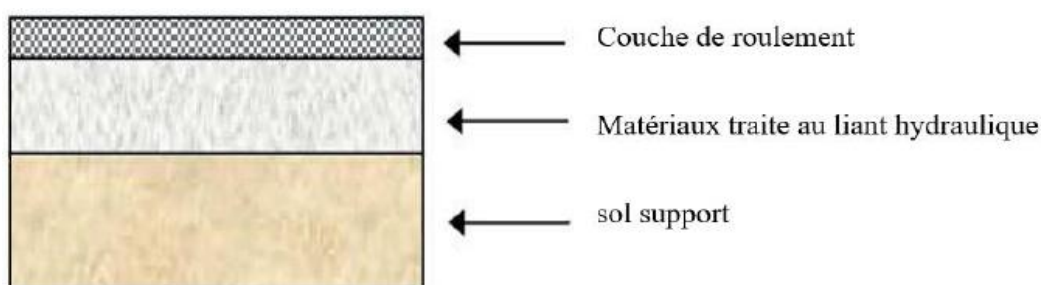


Figure II.4 – Modèle d'une chaussée semi-rigide (LCPC, SETRA, 1998).

II.2.4.3 Chaussées rigides

Une chaussée rigide est constituée d'un revêtement en béton de ciment pervibré ou fluide. En règle générale, une chaussée en béton comporte, à partir du sol, les couches suivantes (Figure II.5) :

- Couche de forme ;
- Couche de fondation ;
- Couche de roulement en béton de ciment.

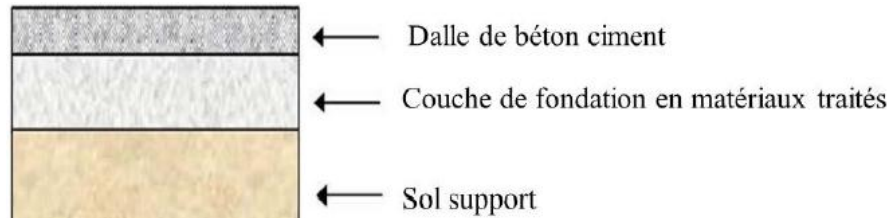


Figure II.5 – Modèle d'une chaussée rigide (LCPC, SETRA, 1998).

II.3 Matériaux constituant les chaussées routières

II.3.1 Béton bitumineux « BB »

Les bétons bitumineux sont des matériaux enrobés à chaud dont le squelette minéral est, en général, une grave concassée 0/10 ou 0/14 et, le liant, du bitume pur 40/50. Ce type de matériau est bien adapté aux couches de surface des chaussées à forts trafics en raison de ses bonnes caractéristiques mécaniques. Il est aussi bien utilisé pour les chaussées neuves qu'en renforcement. (LCPC, SETRA, 1998). Ce type de matériau est composée de :

- **Granulats** : la granularité du squelette minéral est de classe 0/10 ou 0/14 pour des épaisseurs moyennes de couche de roulement de respectivement, 6 et 8 cm.
- **Teneur en fines** : la fraction sableuse (passant à 0.080 mm) doit être comprise entre 6 et 10 %. Lorsque cette valeur est insuffisante pour une bonne composition du matériau, il nécessaire d'adjoindre à la grave 0 D des fines d'apport. Celles-ci doivent avoir plus de 80 % d'éléments passant au tamis 0.080 mm et 100%de passant à celui de 0.2 mm.
- **Bitume** : le bitume utilisé est, normalement, de classe 40/50. Dans certains cas (trafic modéré, route en altitude, etc.), il est possible d'utiliser un bitume moins dur tel que le 60/70 ou 80 100 si le risque d'orniérage n'est pas trop à craindre. Les étapes de mise en oeuvre de ce béton sont les suivantes :
 - Eppardage : « finisseur » ;
 - Compactage : « atelier vibrant en tête » ;
 - Epaisseurs technologiques de mise en oeuvre : les seuils technologiques après compactage, en une seule couche sont, Epaisseur minimale = 6 cm, Epaisseur maximale = 8 cm.

Après mise en oeuvre ce béton subit une Contrôle qui portera sur toutes les étapes de la fabrication en centrale des bétons bitumineux : Stockage des matériaux, dosage des matériaux (granulat, bitume), température de malaxage des enrobés. Un contrôle de mise en oeuvre ; le contrôle portera sur :

- La température d'éppardage ;

- La composition de l'enrobé (pourcentage de liant et granulométrie) ;
- Le contrôle de compactage (exécution des carottages et détermination de la compacité des carottes d'enrobés bitumineux).

II.3.2 Enduit superficiel routier « ES »

L'enduit superficiel est une technique de revêtement d'entretien qui associe à la surface de la chaussée des granulats et un liant hydrocarboné. C'est une technique sans apport structurel et se caractérise par une épaisseur faible elle est destinée principalement à imperméabiliser la chaussée et à améliorer les caractéristiques de surface en liaison avec le confort et la sécurité de l'usager. Cette technique d'enduits superficiels demeure la plus utilisée pour l'entretien des chaussées à moyen ou à faible trafic sur les routes nationales, en revanche les enduits superficiels ont pratiquement disparu du secteur autoroutier (CTTP, 2000).

II.3.3 Grave bitumineux « GB »

Les graves bitument 0/20 sont des enrobés bitumineux à chaud (mélange à chaud de granulats séchés et de bitume pur) (CTTP, 2000). La technique des graves bitumes est destinée à la réalisation des assises de chaussée de couche de base et couche de fondation (Réseau RP1 de classes du trafic TPL3 à TPL7). Ce matériau est composé de :

- **Granulats** : les classes granulaires utilisées pour la fabrication des graves bitumes 0/20 sont les suivantes coupures granulométriques : 0/3, 3/8, 8/14, 14/20, (Indice de concassage $I_c = 100\%$) ;
- **Bitume** : classe du bitume = 40/50 (pour le RP1).

Les étapes de mise en oeuvre sont : la même chose que celui des bétons bitumineux.

II.3.4 Grave laitier (GL)

Un grave laitier est un mélange effectué en centrale de malaxage continu : d'une grave reconstituée 0/D, d'un laitier granulé réactif et d'un activant basique. Ce mélange est réalisé à une teneur en eau proche de celle de l'OPM. (CTTP, 2000). Ce type de matériau est utilisée dans :

- Les couches d'assises de chaussées (base, fondation) ;
- Les chaussées neuves de type RP1 : réseau principal de niveau 1 (trafic : TPL3 à TPL7).

Ce type de matériau est constitué de la grave 0/D reconstituée à partir de plusieurs fractions granulométriques, favorisera l'obtention d'une granularité optimale et permettra de limiter les effets de la ségrégation lors du stockage. On aura donc intérêt à adopter 4 fractions pour une grave 0/20. La fabrication sera réalisée en centrale de malaxage automatique de type continu, elle devra être équipée des éléments suivants :

- Trémies doseuses pour les gravillons et le sable ;
- Trémie doseuse pour le laitier granulé ;
- Silos à pulvérulents (au moins deux pour la chaux éteinte) ;
- Malaxeur de type horizontal à double arbre à palettes ;
- Dispositif doseur de l'eau d'ajout ;
- Trémie tampon.

L'épandage de la GL sera fait à l'aide des engins suivants :

- La niveleuse : pour les chantiers de petite à moyenne importance ;
- Le finisseur : pour les chantiers de plus grande importance

L'épandeur à coffrages glissants : pour les chantiers de grand volume à fort débit. Le compactage fera appel aux engins suivants :

- Compacteurs vibrants ;
- Compacteurs pneumatiques lourds.

L'atelier de compactage et le nombre de passes de chaque engin sera déterminé à l'issue de la planche d'essai. Après examen visuel des différents éléments de la centrale, et des essais et mesures permettant de terminer l'état des organes de dosage de la centrale.

II.3.5 Béton de ciment goudonné (BCg)

Les chaussées modernes en béton peuvent se présenter sous différentes conceptions ; on peut citer les dalles courtes (3 à 5 m) non armées, à joints goudonnés ou non, les dalles moyennes (5 à 7 m) goudonnées ou non, les dalles épaisses (30 à 40 cm) courtes et non armées, etc. Dans le cadre du catalogue de dimensionnement des chaussées, il s'agit de dalles en béton de ciment (granulats et ciment) courtes ou moyennes non armées et goudonnées (NF P 15-301).

a)- Utilisation

- La couche de roulement et couche de base ;
- Réseau principal de niveau 1 (RP I) : Classes de trafic TPL3 à TPL7.

b)- Constituant

- Fractions granulométriques (0/5, 5/15 et 15/25) ;
- Liant (Ciment) : Ciment Portland Artificiel (CPA) ; Ciment Portland Artificiel avec ajouts (CPJ) ; Ciment résistant aux sulfates (CRS) ;
- Eau de gâchage : L'eau de gâchage devra être exempte de toute matière organique et doit être conforme à la norme NF 18-301 ;
- Les fers de liaison : doivent être conformes à la norme NF A 35-016 ;
- Les goudons doivent être conformes à la norme NF A 35-015.

La fabrication du béton (mélange, humidification et malaxage) se fera en centrale. La mise en oeuvre se fera à l'aide d'un finisseur avec un coffrage fixe ou glissant. Les seuils technologiques après compactage, en une seule couche sont :

- Épaisseur minimale : 15 cm ;
- Épaisseur maximale : 35 cm.

Le contrôle se fait pour :

- S'assurer de la bonne mise en place des berceaux et le positionnement des goudons ;
- Procéder au nettoyage des coffrages ;
- Éviter tout arrêt du bétonnage ;
- Procéder rapidement à la protection du béton avec un produit de cure (la durée de protection doit être conforme à la norme ASTM C309) ;

- Veiller au respect du délai de sciage des joints. Il doit être déterminé à partir des planches d'essais, en fonction des conditions météorologiques ;
- Procéder au nettoyage des joints avant le scellement de ces derniers.

II.3.6 Grave non traitée « GNT »

Les GNT sont définies comme étant des graves 0/D, ne comportant pas de liant. On distingue deux types de GT suivant leur mode d'élaboration :

- Les GNT de type A sont obtenus en une seule fraction ;
- Les GNT de type B sont des matériaux provenant du mélange d'au moins deux fractions granulométriques malaxées et humidifiées en centrale.

Les GNT sont Utilisées dans les couches d'assises de chaussées (couche de base et couche de fondation) pour le réseau RP2, et les couche de fondation pour le réseau RP1 (CTTP, 1992). Elles sont constituées de granulats de classe 0/20 et 0/31.5, Indice de concassage $I_c = 100\%$. Les GNT sont produites à partir de roches massives concassées et criblées en carrières. Les étapes de mise en oeuvre sont comme de suit (Fascicule 3) :

- **Epandage** : Utiliser des engins produisant peu de ségrégation (épandeuse, finisseur, niveleuse).
- **Humidification** : L'arrosage lorsqu' il est nécessaire, peut être exécuté sur un matériau ayant déjà subi un premier compactage. Ce dernier doit intervenir avant la fin du compactage. La teneur en eau de mise en oeuvre doit être comprise dans l'intervalle $[\omega_{opm}-1 \text{ à } \omega_{opm}+0.5]$
- **Compactage** : Le compactage doit être réalisé de façon énergique, pour cela, utilisé : Les compacteurs vibrants ayant une masse par centimètre de génératrice vibrante (M1/L 30Kg/cm).
- **Epaisseurs technologiques** de mise en oeuvre ; Les seuils technologiques après compactage, en une seule couche sont : Epaisseur minimale =15 cm et Epaisseur maximale =25 cm.

II.3.7 Tufs Calcaires (TUF)

Les tufs calcaires ou « encroûtement calcaires » sont des matériaux composés essentiellement, mais pas exclusivement de carbonate de calcium. Les tufs calcaires existent à l'état poudreux, nodulaire ou très induré ; ils sont dus à la cimentation, à l'accumulation ou au remplacement de quantité plus ou moins grande de sols, roches ou matériaux altérés par du calcaire dans une zone c'infiltration. Ils sont très répandus dans les zones climatiques II et III. On les rencontre dans les bassins relativement plats irrigués par les eaux de ruissellement provenant des massifs calcaires limitrophes (Alloul, 1981). On distingue généralement dans un tuf calcaire mûr trois horizons du haut en bas :

- **Horizon « A »** : Il constitue la terre végétale dont l'épaisseur est de 20 à 30 c m.
- **Horizon « B »** : C'est l'horizon de l'encroûtement proprement dit ; son épaisseur peut varier de 1 à 2m.
- **Horizon « C »** : C'est le matériau d'origine dans lequel on rencontre cependant quelques nodules. Ces Tufs sont utilisés ont couches d'assises (base, fondation), pour le réseau principal de niveau 2 (RP2), et TUF1 en couche de fondation, pour le réseau principal de niveau 1 (RP1). Les matériaux utilisés ne nécessitent pas de matériel de fabrication, sauf pour les tufs élaborés ou il est prévu le concassage et criblage en 0/31.5 ou 0/20.

Les étapes de mise en oeuvre :

- **Epandage** : les matériaux seront distribués en cordons sur le sol-support de chaussée et répandus le plus souvent à la niveleuse. Les éléments les plus gros, seront triés et évacués par la niveleuse sur le bord de la chaussée.
- **Humidification** : généralement les tufs présentent une teneur en eau à l'Optimum Proctor Modifié toujours supérieure à 12 %. Cependant l'obtention de cette teneur en eau est très difficile dans les régions arides. Pour la mise en oeuvre, on se contentera d'une teneur en eau inférieure de 2 % à 3 % à l'OPM. L'humidification des matériaux est obtenue en place par arrosages successifs à l'aide de camions citernes de la couche répandue.
- **Compactage** : l'utilisation d'un compacteur vibrant est souhaitable, car il permet de briser les gros éléments. Si le pourcentage des éléments supérieurs à 50 mm est important, on utilisera un premier compactage au rouleau à grille ou au rouleau à pieds clameurs. Il est nécessaire de terminer le compactage avec un compacteur à pneus.
- **Imprégnation** : les couches de base en tufs doivent recevoir une couche d'imprégnation bitumineuse dont l'utilité est d'assurer l'accrochage de la couche de roulement, de protéger la couche de tufs des précipitations et de servir éventuellement de couche de roulement provisoire.

II.3.8 Contrôle

Le contrôle portera sur la vérification des spécifications concernant la classification des tufs (granulométrie, limites d'Atterberg, taux de carbonates) ([Fascicule 3](#)).

II.3.8.1 Contrôle de fabrication

- Avant fabrication : contrôler le matériel de la chaîne de fabrication et l'installation et les réglages initiaux de la centrale pour la GNT ;
- En cours de fabrication : Contrôler l'alimentation des concasseurs, la charge des cribles, la qualité de la production, et le chargement et stockage des matériaux.

II.3.8.2 Contrôle de mise en oeuvre

Il s'agit de vérifier que :

- Les modalités définies lors des planches d'essai sont bien appliquées ;
- La qualité du compactage est bonne.

II.4 Méthodes de dimensionnement des structures de chaussées routières

Le dimensionnement des chaussées, bien que fondamentalement identique à celui des autres structures de génie civil, présente des particularités liées au mode d'application des charges et au développement des différents modes de rupture. Ainsi, dimensionner une structure de chaussée revient à déterminer l'épaisseur des couches en tenant compte des conditions de trafic, de la nature du sol d'infrastructure, de la qualité des matériaux utilisés en corps de chaussée, des conditions environnementales, et de sa durée de vie. Plusieurs approches ont vu le jour ces dernières années.

II.4.1 Approches empiriques

Elles sont basées sur l'observation, ces approches renferment les méthodes CBR, CEBTP et TRRL. Ces méthodes donnent les épaisseurs des couches en fonction du sol de plateforme et du type de trafic.

II.4.1.1 Méthode CBR

C'est une méthode semi empirique qui se base sur un essai de poinçonnement sur un échantillon du sol support en compactant les éprouvettes de (90% à 100%) de L'optimum Proctor modifié sur une épaisseur d'au moins de 15cm. La détermination de l'épaisseur totale du corps de chaussée à mettre en oeuvre s'obtient par l'application de la formule présentée ci-après.

$$e = \frac{100 + (\sqrt{P}) \left(75 + 50 \log \frac{N}{10} \right)}{I_{CBR} + 5} \quad \text{cm} \quad (\text{Eq. II.5})$$

Où :

e : est l'épaisseur équivalente de la chaussée (cm) ;

I_{CBR} : Indice CBR du sol support ;

p : est la charge par « roue » apportée par les véhicules (tonne) ;

P: est la charge par roue « $P = 6.5 \text{ t}$ » (essieu 13 t) ;

Log: logarithme décimal ;

N : il désigne le nombre journalier de camion de plus 1500 kg et qui peut être déterminé par la formule (Eq. II.6) ci-dessous :

$$N = T_H * \%PL \quad (\text{Eq. II.6})$$

Où :

T_H : trafics prévus pour une durée de vie de 20 ans qui peut être calculé par la formule (Eq. II.7) ci-dessous :

$$T_H = \frac{T_0 * (1 + \tau)^n}{2} \quad \text{V/j} \quad (\text{Eq. II.7})$$

Où :

T_0 : trafics actuel (v/j).

n : année de prévision.

L'épaisseur équivalente ([Tableau II.1](#)) est donnée par la relation (Eq. II.8) suivante :

$$e = c_1 * e_1 + c_2 * e_2 + c_3 * e_3 \quad \text{cm} \quad (\text{Eq. II.8})$$

Où :

$c_1 \times e_1$: couche de roulement ;

$c_2 \times e_2$: couche de base ;

$c_3 \times e_3$: couche de fondation ;

c_1, c_2, c_3 : coefficients d'équivalence ;

e_1, e_2, e_3 : épaisseurs réelles des couches.

Tableau II.1 – Coefficients d'équivalence pour chaque matériau (Costet and Sanglerat, 1983).

Matériaux utilisés	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment grave laitier	1.50
Grave bitume	1.0 à 1.70
Grave concassée ou gravier	1.00
Grave roulée grave sableuse	0.75
Sable ciment	1.00 à 1.20
Sable	0.50
Tuf	0.80 à 0.90

II.4.1.2 Method TRRL

L'abréviation « TRRL » signifie « Transportation Road Research Laboratory ». Cette méthode utilise la formule de Peltier (1953) dans sa forme simplifiée « Eq. II.5). Pour déterminer l'épaisseur de la chaussée (P étant la charge par roue). Cette méthode est utilisée au Sénégal et son emploi conduit aux mêmes conclusions que la méthode CBR.

II.4.1.3 Méthode CEBTP

Cette méthode tient compte de deux critères : (i) L'intensité du trafic (Tableau II.2) et la portance (Tableau II.3) de la plateforme et donne l'épaisseur de la couche de fondation, de la couche de base et du revêtement et (ii) L'intensité du trafic et la nature des matériaux des différentes couches afin de vérifier les spécifications pour leurs possibilités d'utilisation. Elle décrit cinq classes de trafic exprimées en nombres cumulés de passages d'un essieu équivalent de 13 tonnes, et enfin cinq classes de portance de la plateforme. C'est ainsi qu'elle donne des épaisseurs en centimètres de corps de chaussée en graveleux latéritique amélioré ou non.

Tableau II.2 – Classes de trafic définies par le CEBTP en Afrique Francophone (CEBTP, 1982).

Nombre équivalent de PL	Classe de trafic	Nombre équivalent de V/j
< 5.10	T ₁	< 300
de 5.10 ⁵ à 1.5 10 ⁶	T ₂	de 300 à 1000
de 1.5 10 ⁶ à 4.10 ⁶	T ₃	de 1000 à 3000
de 4.10 ⁶ à 10 ⁷	T ₄	de 3000 à 6000
de 10 ⁷ à 2.10 ⁷	T ₅	de 6000 à 12000

Tableau II.3 – Classes de portance de la plateforme (CEBTP, 1982).

Classes	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
CBR (%)	<5	05 - 10	10 – 15	15 - 30	> 30

II.4.1.4 Méthode CTTP

Elle est connue sous le nom « Méthode du Catalogue des Chaussées Neuves ». Les paramètres utilisés par cette méthode sont : le trafic, le sol support, l'environnement et la zone climatique (LCPC ; SETRA, 1985).

II.4.1.4.1 Le trafic

a)- Détermination du niveau de réseau principal « RP_i »

C'est le trafic poids lourds (véhicules de charge supérieure à 3.5 tonnes). Le réseau principal noté « RP » : il se compose de route reliant :

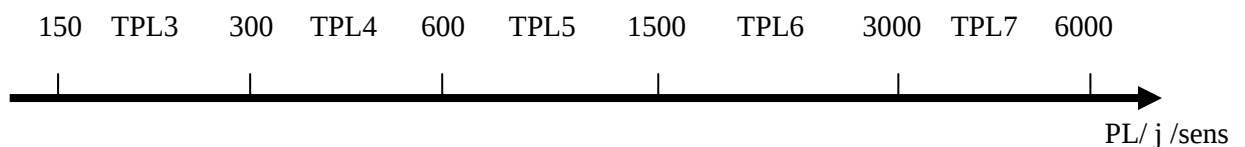
- Les chefs-lieux de wilaya ;
- Les ports, les aéroports et les postes frontaliers ;
- Les principales agglomérations et important zone industrielles.

Ce réseau principal se décompose en deux niveaux : le $RP1$ ($T > 1500V/J$) qui concerne les routes nationales « RN », les autoroutes et les chemins de wilaya « CW » et le $RP2$ ($T < 1500V/J$) qui concerne les routes ordinaires « R » et les chemins de wilaya « CW ». Cependant, le réseau secondaire « RS » se compose du reste des routes qui ne sont pas en « RP ».

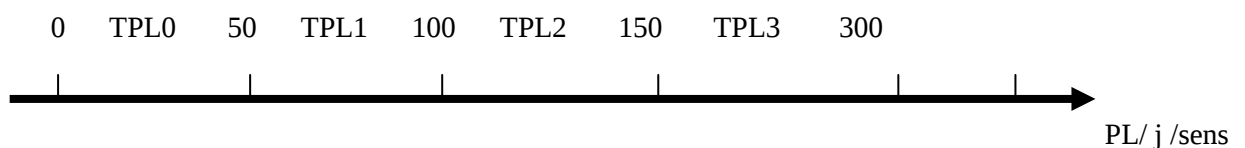
b)- Détermination de la classe de trafic « TPL_i »

Les classes sont données pour chaque niveau de réseau principal « $RP1$ » et « $RP2$ », en nombre de PL/J/sens à l'année de mise en service.

RP1:



RP2 :



II.4.1.4.2 Détermination des classes de portance de sols

Les différentes expériences ont fait ressortir la relation :

$$EV_2 = 5 \times I_{CBR} \quad \text{MPa} \quad (\text{Eq. II.9})$$

Où :

EV_2 : est le module de sol déterminé à l'aide de l'essai à la plaque ;

I_{CBR} : Indice CBR.

Le [tableau II.4](#) regroupe les classes des sols par ordre croissant de S_3 à S_0 .

Tableau II.4 – Tableau exprimé les classe de sol en fonction de la déflexion (*Costet and Sanglerat, 1983*).

Classe	S3	S2	S1	S0
E (MPa)	25-50	50-125	125-200	>200

II.4.1.4.3 Determination des classes de portance de sols support

Pour les sols sensibles à l'eau, la portance du sol support est déterminée par l'essai CBR imbibé à 4 jours pour les zones climatiques I et II alors que l'essai CBR immédiat se fait pour les zones climatiques III et IV. Cependant, pour les sols insensibles à l'eau, les sols grossiers contenant plus de 25 % d'éléments >20mm, la portance sera déterminée à partir des essais de chargement à la plaque ou des mesures de déflexions. Il existe différents types de couches de forme suivant le cas de portance du sol terrassé (S_i) et la classe du sol support visée (S_j) ([Tableau II.5](#)).

Tableau II.5 – Epaisseur de couche de fondation en fonction de la portance du sol (*Costet and Sanglerat, 1983*).

Classe portance du sol terrassé (S_i)	Matériaux de C.F	Epaisseur de C.F	Classe portance du sol support visée (S_j)
S4	Matériau NT	50cm (en deux couches)	S3
S4	Matériau NT	35cm	S3
S4	Matériau NT	60cm (en deux couches)	S2
S3	Matériau NT	40cm (en deux couches)	S2
S3	Matériau NT	70cm (en deux couches)	S2

II.4.1.4.4 Zones climatiques

Les zones climatiques en Algérie sont mentionnées dans le [tableau II.6](#) ci-dessus :

Tableau II.6 – Les zones climatiques de l'Algérie (*NTAR -B40, 1977*).

Zone climatique	Pluviométrie (mm/an)	Climat	Teq	Région
I	> 600	Très humide	20	Nord
II	350 à 600	Humide	20	Nord, hauts plateaux
III	100 à 350	Semi-aride	25	Hauts plateaux
IV	< 100	Aride	30	Sud

II.4.1.5 Inconvénients des méthodes empiriques

Comme ce sont des méthodes expérimentales, elles ont les inconvénients suivants :

- Le coût est très élevé pour avoir un nombre important de sections expérimentales afin de déterminer les épaisseurs des différentes couches et les propriétés mécaniques des matériaux ;
- Le temps de réponse est très long ;

- Cette analyse donne des résultats qui ne peuvent pas être généralisés car ne s'applique qu'aux matériaux étudiés, qu'aux conditions d'environnement de l'expérimentation et qu'aux sols supports rencontrés.

II.4.2 Approches semi empiriques et celles dites « rationnelles »

Elles sont basées sur le calcul de la réponse théorique de la structure soumise à une sollicitation et utilisent le comportement approché linéaire du sol avec le module d'Young « E ». Le calcul se fait en deux étapes :

- Calcul des contraintes et des déformations admissibles dans la chaussée en fonction du trafic attendu (modèle de fatigue et de déformation permanente).
- Calcul des épaisseurs requises pour rencontrer les critères de contraintes et/ou des déformations admissibles.

Les codes de calculs et de vérification les plus utilisés sont diffusés par le LPCP. Comme une première approximation, les matériaux utilisés dans le dimensionnement des chaussées sont souvent traités comme ayant un comportement linéaire élastique tenant compte essentiellement des modules de déformabilité « E_t » (sécant) et « E_o » (à l'origine). Les contraintes dans les matériaux linéairement élastiques sont proportionnelles aux déformations, avec une proportionnalité constante égale au module d'Young « E ».

II.4.2.1 Méthode du catalogue des structures « SETRA »

Ce catalogue des structures type neuves est établi par « SETRA » qui distingue les structures de chaussées suivant les matériaux employés (GNT, SL, GC, SB). Il considère également quatre classes de trafic selon leur importance, allant de 200 à 1500 PL/J/sens. Cette méthode tient compte des caractéristiques géotechniques du sol de fondation. Le catalogue se présente sous la forme d'un jeu de fiches classées en deux paramètres de données :

- Trafic cumulé de poids lourds à la 15^{ème} année T_j .
- Les caractéristiques de sol (S_j).

II.4.2.2 Détermination de la classe de trafic

La classe de trafic (TPL_i) est déterminée à partir du trafic poids lourd par sens circulant sur la voie la plus chargée à l'année de mise en service (Tableau II.7).

Tableau II.7 – La classe du trafic poids lourd (LCPC, SETRA, 1977).

Classe de trafic	Trafic poids lourds cumulé sur 20 ans
T_0	$< 3.5 \cdot 10^5$
T_1	$3.5 \cdot 10^5 < T < 7.3 \cdot 10^5$
T_2	$7.3 \cdot 10^5 < T < 2 \cdot 10^6$
T_3	$2 \cdot 10^6 < T < 7.3 \cdot 10^6$
T_4	$7.3 \cdot 10^6 < T < 4 \cdot 10^7$
T_5	$T > 4 \cdot 10^7$

Le trafic cumulé est donné par la formule suivante :

$$T_c = TPL \left[1 + \frac{(1 + \tau)^{n+1} - 1}{\tau} \right] 365 \quad \text{PL/j/sens} \quad (\text{Eq. II.10})$$

Où :

τ : est le taux d'accroissement ;

T_c : est le trafic cumulé ;

TPL : est le trafic poids lourds à l'année de mise en service ;

n : durée de vie.

II.4.2.3 Détermination de la classe du sol

Le classement des sols se fait en fonction de l'indice CBR mesuré sur éprouvette compactée à la teneur en eau optimale de Proctor modifié et à la densité maximale correspondante. Après immersion de quatre jours, le classement sera fait en respectant les seuils suivants :

Tableau II.8 – Classement de sol en fonction de l'indice de CBR (*LCPC, SETRA, 1977*).

Classe de sol (S_i)	Indice C.B.R
S0	> 40
S1	25 à 40
S2	10 à 25
S3	05 à 10
S4	< 05

II.4.2.2 Méthode L.C.P.C

Cette méthode « Laboratoire Central des Ponts et Chaussées » est dérivée des essais A.A.S.H.O, elle est basée sur la détermination du trafic équivalent donnée par l'expression (Eq. II.11) :

$$T_{eq} = \frac{[TJMA \times a \times ((Z + 1)^n - 1) \times 0.75 \times P \times 365]}{[(1 + Z) - 1]} \quad \text{PL/j/sens} \quad (\text{Eq. II.11})$$

Où :

T_{eq} : est le trafic équivalent par essieu de 13t ;

TJMA : est le trafic à la mise en service de la route ;

a : est le coefficient qui dépend du nombre de voies ;

z : est le taux d'accroissement annuel ;

n : est la durée de vie de la route ;

p : est le pourcentage de poids lourds.

Une fois la valeur du trafic équivalent est déterminée, on cherche la valeur de l'épaisseur équivalente e (en fonction de T_{eq} , I_{CBR}) à partir de l'abaque L.C.P.C

L'abaque L.C.P.C est découpé en un certain nombre de zones pour lesquelles, il est recommandé en fonction de la nature et la qualité de la couche de base.

II.4.3 Approches mécanistiques

Elles sont basées sur le même principe que celles semi empiriques. Ici on étudie le sol dans son comportement réel en utilisant le module réversible. Nous passons donc du module d'Young « E » au module réversible « M_r » illustré par la Figure II.6. Ces méthodes permettent de représenter très fidèlement l'état de contraintes et les conditions de sollicitations des matériaux routiers. Nous utilisons de même un nouveau code de calcul Mich-Pave® pour l'analyse mécanistique des matériaux. Ce concept a une signification assez importante, il signifie que la trajectoire des vecteurs contraintes est bien prise en charge lors du chargement du matériau. Dans ce cas, vu la rotation des contraintes principales lorsque la chaussée est chargée par l'essieu le comportement du matériau demeure dans le domaine élastique mais suit une progression non linéaire ne serait-ce que pour le module de déformabilité. Il est à noter que les méthodes rationnelles « *semblent* » apporter plus de précision que les méthodes empiriques en ce sens qu'elles prennent en compte les quelques caractéristiques intrinsèques des matériaux du corps de chaussée (module d'Young et coefficient de Poisson). Cependant elles sont étudiées sur une petite portion linéaire de la relation contrainte déformation, cause pour laquelle elles restent moins précises que celles mécanistiques.

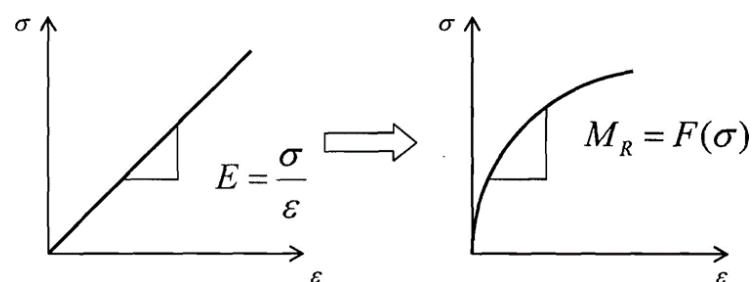


Figure II.6 – Approche mécanistique par le passage du module d'Young « E » au module réversible « M_r ».

II.5 Processus et causes de dégradation des chaussées

II.5.1 Définition

Le processus de dégradation des chaussées est un phénomène bien connu mais difficile à décrire ou à maîtriser. En effet, les chaussées sont soumises à diverses sollicitations dont les effets directs ne sont pas toujours connus. Et plus, d'autres facteurs tels que les familles de chaussées concernées (revêtue/non revêtue) ainsi que le comportement des différents types de structures sous sollicitations viennent favoriser ou réduire les risques de dégradation des chaussées. Cela contribue à avoir pour chaque type de chaussée son propre processus de dégradation.

II.5.2 Types de dégradations

Les dégradations les plus couramment rencontrées se classent en deux grandes familles :

- les dégradations structurelles et les dégradations superficielles. Les premières apparaissent au sein de la structure de chaussée ou de son support et remettent en cause le patrimoine ;

- Les secondes prennent naissance dans la couche de surface de la chaussée et affectent d'abord ses qualités superficielles.

II.5.2.1 Les dégradations structurelles « Type A »

Elles caractérisent un état structurel de la chaussée, soit lié à l'ensemble des couches et du sol, soit seulement lié à la couche de surface. Ce sont des dégradations issues d'une insuffisance de capacité structurelle de la chaussée. On y trouve essentiellement les déformations et les fissurations par fatigue.

II.5.2.2 Les dégradations non structurelles « Type B »

Encore appelées dégradations superficielles, elles engendrent des réparations qui généralement ne sont pas liées à la capacité structurelle de la chaussée. Leur origine est soit un défaut de mise en oeuvre, soit un défaut de qualité d'un produit, soit une condition locale particulière que le trafic peut accentuer. Dans les dégradations de « type H », on distingue: Les fissurations (hors fatigue), les arrachements et les mouvements de matériaux.

II.5.3 Causes de dégradations par types de chaussée

Dès sa mise en service, la route se dégrade. Lorsque la couche de roulement est en terre, les désordres sont souvent spectaculaires, et leur développement est particulièrement rapide. Cela est bien connu. Ce qui l'est moins, c'est que les chaussées pourvues d'un revêtement hydrocarboné s'usent également et que pas plus que les premières, elles ne sauraient se passer d'une surveillance et de soins attentifs. Quant aux chaussées en béton, elles sont moins susceptibles aux effets des intempéries que les deux premières mais se dégradent elles aussi à des degrés moins élevés. Dans un cas comme dans l'autre, ces désordres varient beaucoup, dans leur forme et leur ampleur, avec le climat, les sols, la circulation et les caractéristiques géométriques de la route.

II.5.3.1 Cas de chaussées revêtues

II.5.3.1.1 Chaussées souples

Elles transmettent faiblement les contraintes engendrées par la circulation en ne les atténuant jusqu'à un niveau compatible avec la portance du sol. Dans ces conditions, la répétition de ces contraintes va entraîner une déformation plastique de l'assise granulaire et/ou du sol et se traduit par des déformations permanentes en surface. En période pluvieuse, on peut observer une élévation de la teneur en eau du support localisée sur les bords de chaussée. La faible rigidité de ces chaussées les rend sensibles à la réduction de portance due à l'élévation de la teneur en eau du support qui en résulte.

La couverture bitumineuse reposant sur un support peu rigide, est sollicitée à sa base par des efforts de traction-flexion. Leur répétition peut conduire à sa rupture. Ainsi, le processus de dégradation de ces types de chaussées comportera donc:

- L'apparition de déformations permanentes (flaches, affaissements de nape et ornières) qui croissent en gravité et en étendue ;
- L'apparition d'une fissuration longitudinale dans les bandes de roulement, qui se ramifie, se dédouble et évolue vers un faïençage.

La fissuration favorise les infiltrations d'eau qui amplifient la réduction de portance du support en période pluvieuse, donc aggravent les déformations permanentes ; ces infiltrations d'eau accélèrent également l'évolution de la fissuration en provoquant l'épaufrure des bords de fissure, des arrachements puis des nids de poule.

En outre, quelle que soit la nature du revêtement (enduit superficiel ou tapis d'enrobés), cette dernière s'use sous le trafic et le temps. Les efforts tangentiels engendrés par le trafic entraînent l'usure des couches de roulement hydrocarbonées par arrachement de gravillons ou du liant. Cette usure est aggravée par le vieillissement du liant sous l'effet du climat. Ce vieillissement fragilise le liant et le rend sujet à la rupture éventuellement sous le seul effet des variations de températures; il peut se traduire par l'apparition d'une fissuration superficielle anarchique.

II.5.3.1.2 Chaussées semi-rigides

Compte tenu de la très grande rigidité des matériaux traités aux liants hydrauliques, les contraintes verticales transmises au sol support sont très faibles. En revanche, l'assise traitée subit des contraintes de traction-flexion qui s'avèrent déterminantes dans le comportement de la chaussée.

L'interface couche de roulement-couche de base et la partie supérieure de la couche de base constituent des zones sensibles qui supportent des contraintes normales et de cisaillement importantes et qui peuvent présenter des caractéristiques plus faibles que le reste de la structure en raison des conditions de mise en oeuvre; celles-ci entraînent une plus grande sensibilité de cette zone aux agressions du trafic et du climat.

Les assises traitées aux liants hydrauliques sont sujettes au retrait thermique et au retrait de prise. Le retrait provoque des fissurations transversales qui, sans dispositions constructives, remontent à travers la couche de roulement. Celles-ci apparaissent en surface avec des espacements réguliers et une ouverture variant avec la température entre quelques dixièmes de millimètres et quelques millimètres. Souvent franches lors de leur apparition en surface, les fissures de retrait tendent à se dédoubler et se ramifier sous l'effet du trafic.

En l'absence de colmatage de ces fissures, l'eau pénètre dans la structure, ce qui peut provoquer une diminution de la qualité du collage entre la couche de roulement et l'assise. Il s'en suit une aggravation de la fissuration puis de la dégradation de la partie supérieure de l'assise. Ces phénomènes s'accompagnent de remontée de boues puis d'affaissements et de nids de poule.

En outre, la faible capacité de déformation de ces assises les rend très sensibles aux mouvements, même faibles de leur support qui conduiront à la fissuration de l'assise (tassements, retrait hydrique du sol ...). Quant au revêtement, il est de même nature que pour les chaussées souples et l'on assiste pratiquement aux mêmes phénomènes. Cependant, sa faible épaisseur amplifie ces phénomènes et peut conduire à une dégradation rapide de la surface de la chaussée.

II.5.3.1.3 Chaussées rigides

Les chaussées en béton de ciment possèdent des avantages incontestables en raison de leur bon comportement sous les charges lourdes durant les périodes de température élevée. Par contre, elles sont plus sensibles aux tassements différentiels de l'infrastructure en raison du risque de fissuration et de rupture des dalles rigides. Sur les routes à trafic élevé, elles nécessitent l'utilisation de granulats durs et résistants bien au polissage, faute de quoi la sécurité des usagers ne peut être assurée à longue

échéance. En effet, à cause du module d'élasticité élevé du béton de ciment, les efforts induits par le trafic sont essentiellement repris en flexion par la couche de béton. Les contraintes de compression transmises au sol sont faibles. Cependant, lors de la prise et des variations de température, le béton subit des phases de retrait. La fissuration correspondante est généralement contrôlée soit par la réalisation de joints transversaux, soit par la mise en place d'armatures continues longitudinales.

Les dégradations évoluent vers des remontées de particules fines dans les joints des dalles sous l'effet du trafic et de l'affaiblissement de l'assise par les pénétrations d'eau ; c'est le phénomène de pompage ou « *pumping* ».

L'emploi de matériaux peu érodables en couche de fondation, et un drainage convenable aux interfaces (entre dalle et son support, entre la dalle et l'accotement), sont des dispositions constructives, qui permettent d'éviter les dégradations des chaussées en béton par pompage puis décalage des dalles.

II.5.3.2 Cas de chaussées non revêtues

Du fait de leur surface de roulement moins protégées que celles de chaussées revêtues, leur mode de dégradation est directement lié à l'action de deux de leurs principaux agresseurs : le trafic et l'eau.

II.5.3.2.1 Action des véhicules

Il existe une distinction à faire entre les effets de surface et ceux qui affectent les couches inférieures de la chaussée. Sur les routes non revêtues, les premiers sont d'autant plus sensibles que la cohésion de la couche de roulement est plus faible, c'est-à-dire qu'elle est formée de matériaux moins plastiques et plus secs. Les matériaux fins se trouvent dans le tourbillon de poussière soulevé par les véhicules en mouvement. Les plus gros restent sur la plateforme où ils forment la tôle ondulée.

Rapidement, des frayées longitudinales se forment dans lesquels les véhicules sont canalisés, ce qui accentue le processus et conduit à un profil en W caractéristique des chaussées usées. Ces frayées compromettent en outre rapidement l'assainissement et il arrive même souvent que dans les terrains sableux, la chaussée se retrouve rapidement en dessous du terrain naturel.

Suivant la largeur de la plate-forme, il se forme des bourrelets de plus en plus hauts et qui rendent les croisements de plus en plus dangereux. Le processus est particulièrement rapide sur les chaussées dont la pente transversale excède 4%, ce qui incite les véhicules à se maintenir au voisinage de son axe.

Quant aux virages, ils constituent des zones soumises à des efforts tangentiels particulièrement importants surtout quand ils sont à court rayon. Il arrive très fréquemment que les matériaux chassés vers l'extérieur y constituent un bourrelet qui vient s'installer sur la sur-largeur, en interdisant l'utilisation par une augmentation de la pente du devers. Le phénomène est encore accusé par les petites ravines transversales qui sont la maladie commune de tous les virages.

II.5.3.2.2 Action de l'eau

Tout sol non imbibé a en général une bonne portance et sa plasticité même élevée n'est pas une gêne pour la circulation. Par contre, certains matériaux très plastiques tels que l'argile portée à imbibition deviennent glissants et s'effondrent par manque de portance. Il y'a lieu de remarquer deux phénomènes:

- Les eaux stagnantes ;
- Les eaux de ruissellement.

a)- Les eaux stagnantes

Elles pénètrent dans la masse des remblais soit par la partie supérieure (eau de pluies) soit par la partie inférieure (remontées capillaires). Elles modifient ainsi les caractéristiques mécaniques des sols, altèrent leur résistance, provoquent des désordres internes tels que les tassements, les glissements et voire l'effondrement de remblais considérés comme stables.

b)- Les eaux de ruissellement

Elles sont généralement animées de grandes vitesses et érodent la surface de la chaussée. Les ravinements causés par ces eaux sont d'autant plus importants que la vitesse de celles-ci est grande et que les terrains manquent de cohésion.

II.5.4 Autres causes de dégradations

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 à l'épaisseur des matériaux utilisés et à leurs conditions de fabrication et de mise en oeuvre. Certains désordres consécutifs à l'instabilité du support de la chaussée (remblais ou terrain naturel) peuvent apparaître indépendamment du trafic et du climat.

II.5.4.1 Le trafic

L'usure de la couche de roulement est la conséquence directe des efforts de cisaillements qui se manifestent au contact des pneumatiques. Elle entraîne essentiellement des pertes de matériaux, le polissage des granulats, la diminution de la rugosité. Elle dépend du trafic mais elle est également fonction de la croissance des véhicules et se trouve aggravée par la présence des poids lourds.

La fatigue des couches inférieures au contraire résulte des efforts verticaux de transmission des charges à la couche de fondation. La répétition des contacts inter granulaires entraîne des effets d'attrition, la production de fines et l'augmentation de la plasticité. La couche de roulement devenant moins rigide, les déformations sous charges augmentent, deviennent irréversibles, et il en résulte sa destruction plus ou moins rapide.

Ces phénomènes de fatigue sont fonction non seulement du nombre de répétitions des charges mais aussi et surtout des charges sur essieux. Le respect de la limitation des charges à l'essieu revêt donc d'une importance capitale pour une bonne exploitation de la route en adéquation avec les hypothèses de dimensionnement.

II.5.4.2 Les conditions climatiques

Le paramètre le plus nuisible sur le corps de chaussée est la présence de l'eau. L'eau pénètre dans le corps de chaussée par infiltration, par percolation et par remontées capillaires.

Nous savons que la teneur en eau d'un sol si elle est trop élevée peut provoquer des désordres importants en modifiant la portance ou en favorisant l'attrition de certains granulats comme les latérites. Les matériaux traités aux liants hydrauliques sont particulièrement sensibles au phénomène de désenrobage. En effet, l'eau peut s'interposer entre les granulats et les liants lorsque la qualité du

collage entre ces corps n'est pas suffisante. Aussi, quand les accotements ne sont pas protégés, des ravinements sont très probables par l'effet du ruissellement. 11 se manifeste sur les bords de la chaussée, perpendiculairement à son axe, lorsque la pente transversale est trop forte.

En outre, nous savons que les revêtements bitumineux sont très sensibles aux variations de températures. Ainsi, l'exposition à des températures élevées, non prises en compte dans le choix d'un bitume, pourra entraîner un vieillissement rapide de ce dernier.

II.5.4.3 La qualité des matériaux

Elle est d'une importance capitale car il est difficile de faire une route de qualité à partir de matériaux aux caractéristiques médiocres. Les dégradations liées à la mauvaise qualité des matériaux peuvent être causées par:

- Une granulométrie incorrecte ;
- Un pourcentage élevé d'éléments roulés ;
- Une dureté des granulats insuffisante ;
- Des granulats sales (matières végétales) ;
- Un polissage rapide des granulats de fabrication défectueuse (spécialement pour les enrobés) ;
- Un pourcentage de liants ou de fines incorrect ;
- Un malaxage insuffisant.

II.5.4.4 La mise en oeuvre

Même si la qualité du liant et des granulats est excellente, le dimensionnement bien fait, une mauvaise réalisation au cours de la mise en oeuvre, de la manutention ou lors du compactage pourra se traduire par un ouvrage fini d'une qualité médiocre. Ainsi, divers défauts de mise en oeuvre peuvent conduire à des dégradations aux conséquences variées:

- Défauts de compacité aux accotements : il y'a affaissement sous la charge des poids lourds; il en résulte après un fluage de la couche de base ;
- Poches de points faibles en couche de base : il en résulte une cassure du revêtement plus rigide et une formation de nids de poule ou de flaches ;
- Défaut de compacité sur l'assise et sur la plateforme : la conséquence immédiate est l'existence de poches de points faibles conduisant à des orniérages ou pelades ;
- Mauvais accrochage du revêtement sur la couche de base : il peut donner lieu à un faïençage de la chaussée, à une pelade du revêtement ;
- Compactage excessif des couches de chaussées: il peut donner des ornières.

II.6 Conclusion

Les matériaux constituant les chaussées, les méthodes utilisées pour leur dimensionnement et ainsi les processus de leur dégradation ont été largement présentés et discutés ci-dessus. Dans le « *chapitre III* » suivant, nous allons nous intéresser du comportement des chaussées routières et précisément leurs processus de dégradation et ainsi les principales méthodes d'évaluation utilisées dans l'étude de l'état de dégradation de ces dernières.