



G.C.O.
LIBRAIRIE AL-MARKAZ
Centre Bukiden S.B.A.Y.O. Al Hocelma
E-mail : librairie.almarkaz@gmail.com
Tél/Fax: 06.30.90.78.25



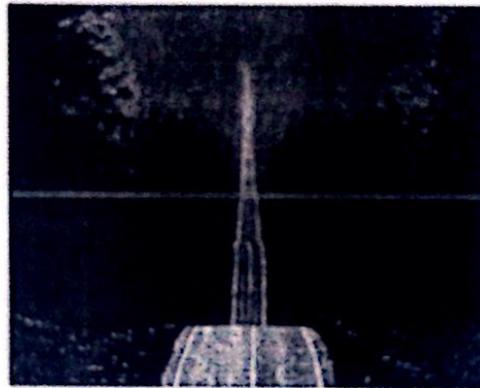
2^{ème} Année Génie Civil (S4)

2017 - 2018

Route II

Dimensionnement et entretien des chaussées

Pr. Zakaria TAHRI



SOMMAIRE

Chapitre I : Composition et contraintes de la chaussées

Chapitre II : Méthodes de dimensionnement des chaussées

Chapitre III : Entretien des chaussées

Composition et contraintes de la chaussée

I. Introduction

Un sol ne peut pas en général supporter des charges roulantes sans se déformer, d'où la mise en place d'une structure qui en assure la répartition. En effet, la construction d'une chaussée doit pouvoir supporter certaines charges roulantes, un certain nombre de fois, pendant une durée acceptable sous des conditions climatiques variables.

La chaussée est construite sur un ensemble appelé **plateforme de chaussée**, composé du sol support ou partie supérieure des terrassement (PST) et de la couche de forme éventuelle.

Le rôle d'une chaussée est de reporter au sol support, en les répartissant convenablement, les efforts dus au trafic.

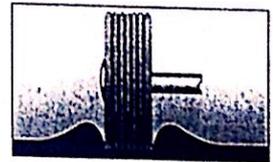
La chaussée doit avoir une épaisseur telle que la pression verticale transmise au sol soit suffisamment faible afin que celui-ci puisse la supporter sans dégradation.

3

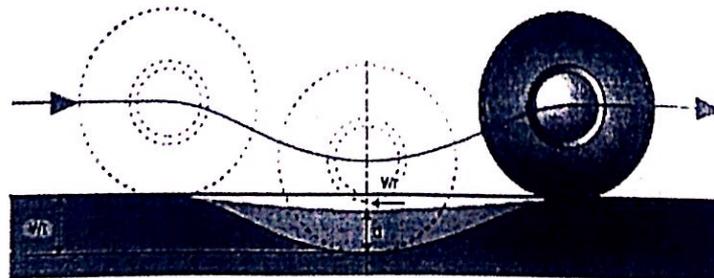
II. Pourquoi une structure de chaussée ?

Le poids du véhicule est transmis au sol, sous forme de pressions, par l'intermédiaire des pneumatiques.

- Si le sol n'est pas assez porteur, le pneu comprime le sol et il forme une ornière.
- Si le sol est porteur, il se passe deux phénomènes :



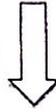
1. Le sol s'affaisse sous le pneu, c'est la **déformation totale** W_t ,
2. Lorsque la roue s'éloigne, le sol remonte mais pas totalement : il reste une **déformation résiduelle** W_r .



La différence $d = W_t - W_r$ s'appelle la **déflexion**.

La **déflexion** est proportionnelle à la charge appliquée. Elle est pratiquement constante si l'on répète l'application de cette charge des milliers de fois.

L'**orniérage** est la déformation résiduelle W_r qui s'accroît au fur et à mesure des passages des véhicules et proportionnelle à leurs charges.



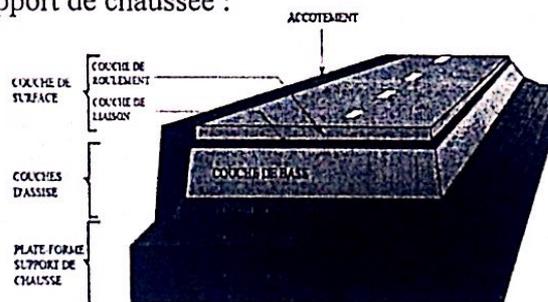
Il est donc nécessaire d'interposer, entre le véhicule et le sol, une chaussée qui aura pour but de répartir les charges sur une plus grande surface et de réduire ainsi les pressions transmises au sol jusqu'à une valeur admissible.

La diffusion des pressions diffère par sa nature ^A et son intensité ^{selon} la nature de la couche : couche granulaire non traitée, couche granulaire traitée (au ciment ou au bitume) ou dalle de béton de ciment.

5

III. Composition des chaussées

Sur la plateforme, la chaussée est composée d'une superposition de couches de nature différente qui assurent des fonctions spécifiques. En général, on trouve successivement de bas en haut, à partir de la plate-forme support de chaussée :



- Couches d'Assise : parfois elle se subdivise en deux :
 - **Couche de fondation** : c'est la partie inférieure; la construction de cette couche ne pose pas de problème particulier. La plupart des matériaux routiers conviennent ;
 - **Couche de base** : c'est la partie supérieure, la construction de cette couche doit faire l'objet d'une attention toute spéciale : le matériau utilisé dans cette couche doit pouvoir résister aux contraintes résultant du trafic;
- **Couche de surface** : couche de roulement et éventuellement une couche de liaison. 6

Quel que soit le type de la chaussée, sa destination et son trafic, la désignation des couches composant ses structures est invariable.

La conception structurelle d'une chaussée fait appel, pour chaque couche, à la nature de couche, à la nature des matériaux, à l'épaisseur de la couche et aux caractéristiques mécaniques.

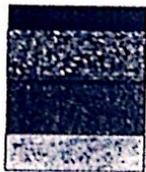
Couche	Composition	Fonction
Couche de surface	Couche de roulement	Assure : ○ l'étanchéité de la structure de la chaussée ; ○ la sécurité ; ○ le confort des usager.
	Couche de liaison	
Couche d'assise	Couche de base	Assure : ○ la résistance du chaussée aux sollicitations dues au trafic ; ○ la protection éventuelle du support vis-à-vis du gel.
	Couche de fondation	

Fonctions spécifiques des couches de chaussées

✓ Entre la couche de forme et l'assise de la chaussée peut être intercalée une sous couche anticontaminante, anticapillaire ou drainante, généralement composée d'un géotextile.

IV. Famille de chaussées

On distingue six familles de chaussée :



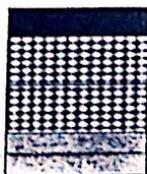
Chaussées souples

1. Couche de surface en matériaux bitumineux
2. Matériaux bitumineux d'assise (<15 cm)
3. Matériaux granulaires non traités (20 à 50 cm)
4. Plate-forme support



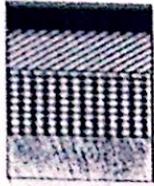
Chaussées bitumineuse épaisse

1. Couche de surface en matériaux bitumineux
2. Matériaux bitumineux d'assise (15 à 40 cm)
3. Plate-forme support



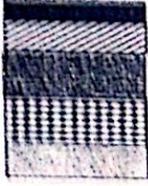
Chaussée à assise traité aux liants hydrauliques (semi-rigide)

1. Couche de surface en matériaux bitumineux (6 à 14 cm)
2. Matériaux traité aux liants hydrauliques (20 à 50 cm)
3. Plate-forme support



Chaussées à structure mixte

1. Couche de surface en matériaux bitumineux
2. Matériaux bitumineux d'assise (10 à 20 cm)
3. Matériaux traité aux liants hydraulique (20 à 40 cm)
4. Plate-forme support



Chaussées à structure inverses

1. Couche de surface en matériaux bitumineux
2. Matériaux bitumineux d'assise (10 à 20 cm)
3. Matériaux granulaires non traités (≈ 12 cm)
4. Matériaux traité aux liants hydrauliques (15 à 50 cm)
5. Plate-forme support



Chaussée en béton de ciment

1. Béton de ciment (6 à 14 cm)
2. Béton maigre (20 à 50 cm) ou matériaux traité aux liants hydraulique (20 à 50 cm)
3. Plate-forme support

9

Famille de chaussée	Trafic	Durabilité	Réparation	Contrainte de mise en œuvre
Simple <i>Simple</i>	Faible	Déformation	Facile	Faibles, poussière en urbain
Bitumineuse épaisse	Moyen à élevé	Bon vieillissement	Facile	Peu de nuisances en urbain
Assise traitée aux liants hydrauliques (semi-rigide)	Élevé	Fissuration	Difficulté moyenne	Temps de séchage et préfissuration
Structure mixte	Tous types	Problème d'adhérence entre les couches	Difficulté moyenne	Temps de séchage de la couche de fondation
Structure inverse	Moyen	Limitation des fissurations par l'inversion	Difficulté moyenne	Temps de séchage de la couche de fondation
Béton de ciment	Tous types	Création des joints	Difficile	Temps de séchage

10

V. Choix d'une structure de chaussée : critère technique et économique

Pour choisir une technique de construction, l'attention doit se porter sur le coût du premier investissement, mais aussi sur les frais que l'on peut escompter engager pendant la période de service.

Pour chaque projet routier, il est donc nécessaire de procéder à une analyse technico-économique détaillée afin d'établir les circonstances favorables à l'utilisation de chacune des techniques envisagées ; ce qui permet d'effectuer une comparaison entre elles. Pour que cette comparaison soit valable, les calculs doivent intégrer notamment les facteurs suivants :

- Les structures adoptées en fonction de la portance du sol et du trafic ;
- La période de service ;
- Le coût de construction ;
- Les coûts d'entretien sur la période de service.

D'autres facteurs comme l'utilisation des matériaux locaux ou de production nationale, l'emploi de la main d'œuvre locale, etc., peuvent évidemment avoir une influence dans le choix de la technique.

11

VI. Contraintes et désordres

Les chaussées sont soumises à deux types de contraintes dues :

- au **trafic** et donc les phénomènes induits par le déplacement des véhicules sur la chaussée ;
- aux **agressions climatiques**, qui entraînent une dégradation plus ou moins rapide de la structure de la chaussée selon son dimensionnement.

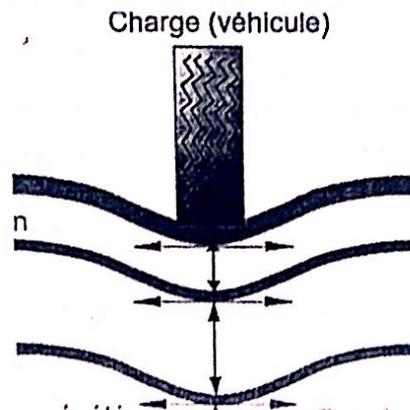
1. Contraintes dues aux trafic

Les sollicitations dues au trafic sont les suivantes :

- **Effort normal** : correspond à la diffusion vertical de la charge roulante dans les différentes couches jusqu'au sol support ;
- **Effort tangentiel** dans le sens de la marche : correspond aux phénomène d'accélération et de freinage des véhicules ;
- **Effort transversal** : correspond à un effet de glissement du véhicule sur la chaussée en cas du vent ou dans les virages.

12

Ces phénomènes engendrent des désordres dans la structures de la chaussée, à plus au moins long terme. Elle causent des dégradations mineures aux structures, mais qui peuvent être dévastatrice si aucune mesure n'est prise pour endiguer leur évolution.



Déformation de la chaussée au passage du véhicule

13

b. Désordres dus à l'effort vertical

Lorsqu'un véhicule se déplace, la charge est diffusée à la chaussée par l'intermédiaire de ces pneu, qui représente une surface de contact très faible, de l'ordre de quelques centimètres carré : il s'ensuit une contrainte élevée à l'interface pneu/chaussée.

Sous l'effet de la charge, une déformation verticale est générée, plus ou moins importante selon la rigidité et l'élasticité du matériau. Après le passage de la charge le matériau reprend sa position initiale ou garde une déformation résiduelle. Mais sous chargement répété, quelle que soit son élasticité, le matériau ne reprend plus sa position initiale et deux types de dégradation s'ensuivent :

- Formation d'ornières par fluage dans différentes couches ;
- Fissuration /rupture, par fatigue des matériaux due à la flexion.

Ces dégradations s'accroissent dans le temps et peuvent générer des déformations permanentes au niveau du sol support, qui iront en empirant.

14

a. Désordres dus aux efforts tangentiels et transversaux

Les efforts tangentiels et transversaux créent des ornières mais aussi, par des phénomènes de glissement entre les couches, des décollements et arrachages de revêtements. Les désordres ne peuvent pas que s'aggraver si des réparations ne sont pas réalisées.

15

2. Désordres dus aux conditions climatiques

les principales contraintes dues aux conditions climatiques sont presque toujours liées à l'eau.

a. Désordres dus aux périodes hivernales

Les chaussées doivent être rendues étanches à l'eau. L'eau qui pénètre la chaussée et s'y accumule a une incidence directe sur la résistance, la durabilité et la déformabilité de celle-ci et du support.

▪ Gel et dégel

La présence d'eau combinée à l'effet du gel a des effets particulièrement désastreux sur la chaussée en présence de sols de fondation en matériaux gélifs.

Si le gel parvient à pénétrer sous la structure de la chaussée, l'eau migre vers la zone gelée par effet de succion et est aspirée par le front de gel. Ainsi concentrée, elle se transforme en lentille de glace et provoque un gonflement de la structure et sa fissuration. Au dégel, la structure de chaussée va reposer sur un sol gorgé d'eau ayant une portance très faible. Sous un trafic important, l'ensemble de la structure risque d'être totalement détruit : c'est la ruine de la chaussée. La mise en œuvre de barrières de dégel permet d'éviter la destruction de l'ouvrage.

16

▪ Déneigement et salage

De surcroît, le déneigement et le déglçage n'améliorent pas l'état des routes. Les engins déneigement équipés de lames peuvent provoquer des détériorations de la surface défavorables à la pérennité de la structure.

L'emploi des sels pour traiter les chaussées enneigées ou verglacées provoque des agressions chimiques, notamment au niveau du revêtement qui, en cas de dégradation, n'assurera plus l'étanchéité du reste de la structure, et des couches sous-jacentes.

b. Désordres dus aux températures élevées

Des fortes chaleurs réduisent les caractéristiques des couches supérieures et, combinées au trafic, engendrent des déformations des matériaux irréversibles. Le bitume devenant visqueux sous température élevées, des dégradations peuvent se produire : orniérage par fluage des matériaux, perte de rugosité par enfoncement des granulats composants le revêtement, fissuration par fatigue thermique, etc.

17

VII. Fonctions des structures de chaussées

Les matériaux qui composent la chaussée se comportent de façon différente sous les sollicitations dues au trafic.

1. Matériaux non traités

Situés en partie inférieure de la **chaussée souple** ou de la **chaussée inverse**.

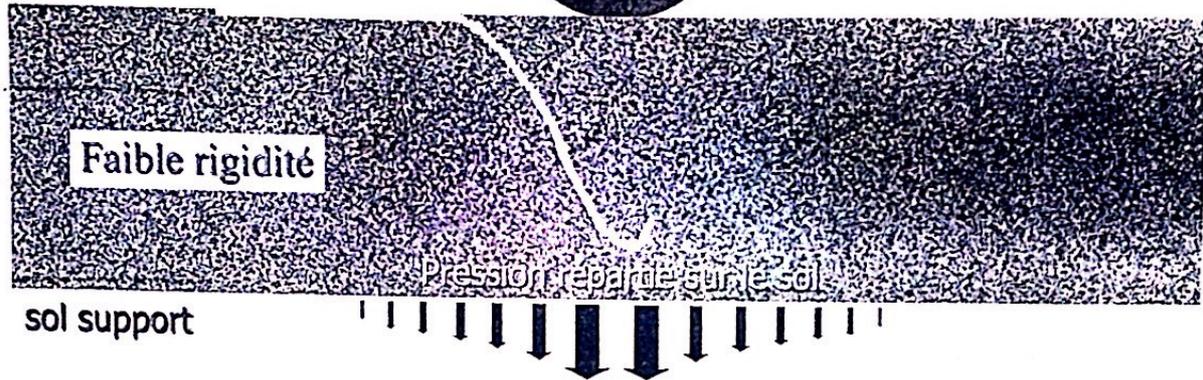
La rigidité des couches de ces matériaux dépend directement de leur support. Les grains constitutifs sont indépendants les uns des autres en raison de l'absence de liant : la couche ne travaille pas en flexion. Le matériau ne pouvant pas reprendre de contrainte de traction, les efforts verticaux induits par le trafic transmis au support avec une diffusion latérale faible. C'est le support qui encaisse tous les efforts et subit des déformations permanentes (orniérage, affaissement) qui se transmettent aux couches supérieures jusqu'à la couche de roulement.

Employés en **structure inverse** sur un support offrant une rigidité importante mais sensible aux fissures de retrait, une couche de matériaux granulaires non traités assez souple permet de d'éviter la remontée des fissures dans les couches supérieures.

Économique, par contre, possède un **module d'élasticité faible** et oblige une épaisseur relativement élevée.

18

Travail en compression



19

2. matériaux traités aux liants hydrauliques

Situés en fond de structure de la **chaussée semi-rigides**.

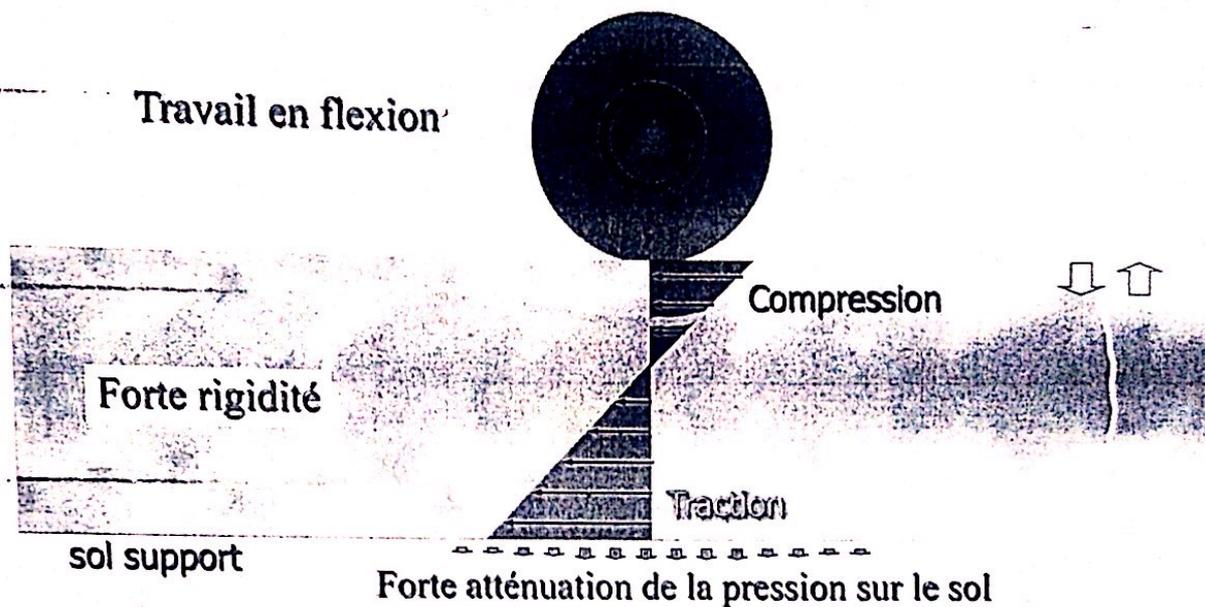
Grâce à leur module de rigidité élevé, les contraintes transmises verticalement sont faibles mais ont reprise à la base de la couche sous forme de traction. Les structures composées avec ce type de matériaux transmettent donc peu de contraintes au sol support. Les phénomènes de flexion répétés génèrent une fatigue du matériau.

Ce type de structure est soumis au phénomène de retrait dû à la prise des matériaux. Des fissures transversales se forment jusqu'à la couche de surface. Les fissures de retrait favorisent la pénétration de l'eau, ce qui modifie le comportement de la structure et accélère son endommagement.

A chaque passage de la charge, la couche traitée travaille à la traction par flexion au niveau de la partie inférieure; si on répète l'opération un grand nombre de fois, cette couche se fatigue et finit par se fissurer même si les efforts engendrés ne dépassent pas, à chaque fois, la **contrainte admissible du matériau**. C'est ce qu'on appelle la **fatigue sous efforts répétés**.

20

Travail en flexion



21

Sous l'action d'une charge, la couche traitée au liant hydraulique forme une dalle rigide (existence des liaisons entre les grains) et induit une :

- **répartition uniforme** de la charge sur le sol support : contraintes de compression sur le sol relativement faibles ;
- **apparition de deux types de contrainte** au sein de la couche liée :
 1. **Contrainte de compression** dont la valeur est très inférieure à la résistance en compression du matériau ;
 2. **Contrainte de traction par flexion**, dont la valeur peut être élevée, qui se manifeste à la base de la couche traitée.

Le dimensionnement est important, il est nécessaire de vérifier que le trafic est conforme aux prévisions pour anticiper le phénomène de fatigue. Seule la contrainte de traction est prise en compte pour le dimensionnement.

Il faut prévoir un dispositif visant à limiter la remontée des fissures. Une pré-fissuration de l'assise, permet, par exemple, de contrôler la fissuration de retrait et de limiter la remontée des fissures.

22

3. Matériaux traités aux liants hydrocarbonés

Situés en Couche de roulement et en partie supérieure de chaussée

En couche de roulement, ils assurent les fonctions d'étanchéité de la structure, d'uni et d'adhérence en raison de leur mode de mise en œuvre permettant un degré de finition élevé. Une surveillance continue est nécessaire afin d'anticiper la création de nids de poule.

Leurs emploi en couche d'assise est permis grâce à leur rigidité et à leur résistance à la traction. Cela permet de diminuer la transmission des contraintes verticales au support.

Comme pour les matériaux traités aux liants hydrauliques, la contrainte verticale est reprise en traction/flexion à la base de la couche ; il s'ensuit une rupture éventuelle de fatigue sous chargement répété. Ils sont sensibles au fluage, d'autant plus quand les températures sont élevées.

Il est nécessaire de surveiller les déformations afin d'anticiper toute fissuration, qui est source d'infiltration d'eau

23

Le dimensionnement d'une couche traitée au liant hydraulique consiste à déterminer son épaisseur pour qu'elle ne se fissure pas sous l'effet des charges répétées. Il convient donc de :

- a. déterminer la contrainte de traction de la couche traitée et s'assurer qu'elle est inférieure à la contrainte de traction admissible du matériau ;
- b. apprécier le comportement à la fatigue de la couche traitée.

Le module d'élasticité ne dépend pas de la température ~ 2300 MPa (grave – ciment) et les Caractéristiques mécaniques sont élevés : R_t comprise entre 1,5 et 2 MPa.

24

4. Structure en béton

Le béton est employé en une couche servant à la fois d'assise et de couche de roulement.

Les chaussées en béton travaillent en flexion. L'effort de traction qui en résulte est maximal à la base de la couche. Les efforts dus au trafic transmis au sol support sont donc faibles.

Comme pour les matériaux traités aux liants hydrauliques, le béton est sujet au retrait au moment de la prise, générateur de fissure.

Il subit directement les effets dus au gradient thermique qui provoque des mises en contrainte de la structure. Ce gradient thermique provoque le bombement des dalles de béton.

Prévention :

Des dispositifs antifissuration et assurant la continuité de la structure sont mis en place :

Réalisation des joints transversaux espacés régulièrement, visant à maîtriser la fissuration ;

Mise en œuvre de béton armé assurant la continuité de l'ouvrage ;

Réalisation de dalles de béton goujonnées : des goujons sont mis en place à la jonction des dalles afin d'assurer un transfert de charge correct d'une dalle à l'autre.

Avantages :

- Absence de retrait ;
- Module d'élasticité moyen, compris entre 1000 et 1500 MPa, structure souple acceptant la déformation et le surcharge accidentelle ;
- Dosage en liant faible (3 à 6%) : structure économique.

Inconvénients :

- Module d'élasticité moyen : épaisseur relativement élevé ;
- Module d'élasticité variable en fonction de la température et de la durée d'application de la charge :
 - Module d'élasticité baisse si la température est élevée ou si la durée de stationnement est longue : risque d'orniérage.
- Résistance moyenne à la fatigue.

25

4. Structure en béton

Le béton est employé en **une couche** servant à la fois d'**assise** et de **couche de roulement**.

Les chaussées en béton travaillent en traction/flexion. L'effort de traction qui en résulte est maximal à la base de la couche. Les efforts dus au trafic transmis au sol support sont donc faible.

Pour toutes les structures en dalles de béton, un phénomène de fissuration apparaît lorsque ceui-ci est soumis à l'influence du retrait et de dilatation à jeune âge, à un gradient de température important, aux sollicitation du trafic ou à des éventuels mouvements de sol.

Pour éviter que ces structures en béton ne se fissure pas de manière aléatoire , des joints sont mis mis en place. Les fissures sont donc localisées intentionnellement au niveau de ces joints et, de cette manière, sont maîtrisées.

Les structures en béton armé continue ne comportent aucun joint, mais dans lequel un réseau de fines fissures transversales apparaît, et dont l'évolution est contrôlé par les armatures longitudinales disposées dans le béton.

Une chaussée en béton se présente comme une succession de dalles séparées par des joints. On distingue trois grandes familles de joints :

1. joints transversaux ;
2. joints longitudinaux ;
3. joints de dilatation.



21

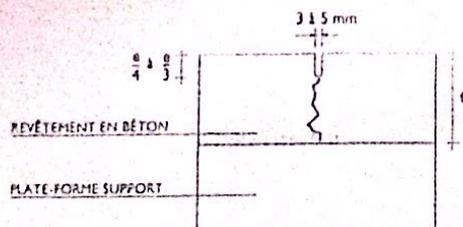
1. Joints transversaux

Ils sont perpendiculaires à l'axe de la route et sont classés en deux catégories : les joints de retrait/flexion et les joints de construction.

1.1. Joints de retrait/flexion

Le rôle de ce type de joints est de limiter les conséquences du retrait et de la flexion. Ils sont réalisés en créant à la partie supérieure du revêtement, une saignée ou une entaille servant d'amorcer de fissuration.

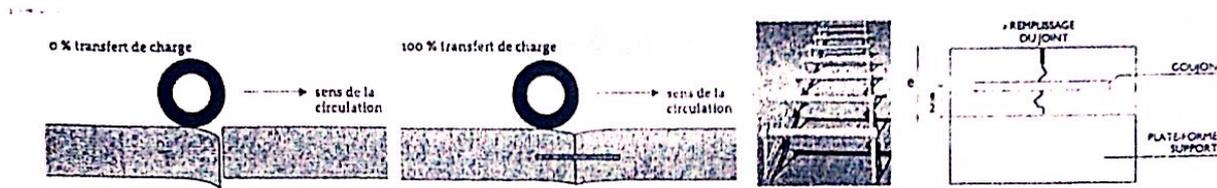
L'espacement optimal des joints dépend du retrait du béton et de l'épaisseur du revêtement. Le transfert de charges aux droits des joints est d'autant mieux assuré que leur espacement est réduit.



1.2. Joints de construction

Ces joints se situent aux endroits d'interruption du bétonnage, à la fin de chaque production journalière ou en cas d'interruption de plus de 2 heures. Au niveau de ces joints, aucun transfert de charge via les granulats ne peut être considéré.

Pour les revêtements à **trafic lourd**, l'utilisation de **goujons** est nécessaire pour le transfert de charge et donc éviter la mise en escalier au niveau des joints.



Ces goujons, de diamètre compris entre 20 et 30 mm, sont installés à mi-hauteur de la dalle dans le sens longitudinal et espacés de 0,75m. Ils sont placés sur des berceaux métalliques ou enfoncés par vibration dans le béton frais. Le joint transversal doit être posé au milieu de ces goujons.

Dans le cas où un revêtement est mis en œuvre en plusieurs bandes, un joint de construction doit correspondre obligatoirement à un joint de retrait/flexion dans la bande adjacente.

29

2. Joints longitudinaux

Ces joints sont parallèles à l'axe de la chaussée. Ils ne sont nécessaires que si la largeur du revêtement est supérieure à 4,5 m. La profondeur du sciage doit être d'au moins 1/3 de l'épaisseur du béton. Ils sont classés en deux catégories : les joints de retrait/flexion et les joints de construction.

2.1. Joints de retrait / flexion

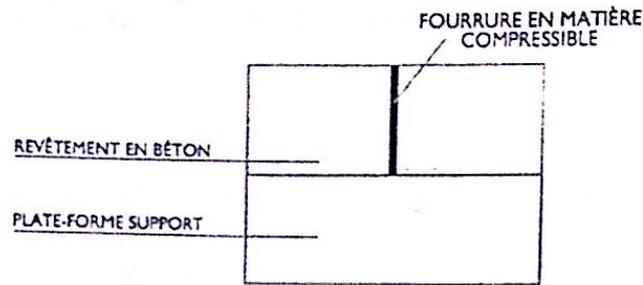
Ils sont réalisés quand le revêtement est mis en œuvre en une seule phase de bétonnage et qu'il est divisé en deux bandes au moyen d'un sciage bandes. Le rôle et les caractéristiques de ces joints sont similaires à celles des joints de retrait/flexion transversaux.

2.2. Joints de construction

Ils sont réalisés quand le revêtement est mis en œuvre en deux bandes contiguës coulées en deux phases de bétonnage. Il est recommandé alors, de solidariser les deux bandes adjacentes du revêtement.

3. Joints de dilatation transversaux

Ces joints se caractérisent par la présence d'une fourrure compressible qui permet le déplacement horizontal du revêtement en béton dues essentiellement à l'élévation de la température. L'épaisseur de ces joints est comprise entre 10 et 20 mm.



31

Méthodes de dimensionnement des chaussées

I. Introduction

Les chaussées sont des structures composites, multicouches, plus ou moins complexes, conçues pour résister sur l'ensemble de leur durée de vie aux multiples sollicitations mécaniques et climatiques, qui l'une après l'autre, sapent imperceptiblement les performances initiales des matériaux.

L'objectif de dimensionnement des chaussées est de fixer les règles qualitatives et quantitatives permettant à l'ingénieur de choisir et concevoir le profil vertical des structures de chaussée, compte tenu des données des projets (durée de vie, trafic annuel, climat, contraintes de réalisation...) et de la politique économique des maîtres d'ouvrage (investissement initial, budget d'entretien et de renforcement).

I. Paramètre de dimensionnement

Le dimensionnement de la chaussée fait appel à une série de paramètres qui influence l'épaisseur des différentes couches qui la composent. Ces paramètres sont :

a. Trafic

Il est nécessaire d'estimer correctement le trafic (Poids Lourds) et sa croissance sur la période de service.

b. Environnement et ses conditions climatologiques

Les études de dimensionnement doivent prendre en considération d'une part la particularité de chaque climats (pluviométrie, température, gradient de température,...) et d'autre part l'impact des nappes phréatiques.

c. Matériaux

La construction des routes fait appel à différents types de matériaux. les différentes régions n'ont pas les mêmes ressources mais l'utilisation des matériaux locaux est souhaitée.

33

d. Plateforme de chaussée

La plateforme support de chaussée est la base de la construction. La conception et la réalisation des plateformes font l'objets de cours de la géotechnique routière.

e. Mise en œuvre

La conception d'une chaussée est réalisé en prenant des hypothèses sur l'ensemble des points abordés ci-avant. La réalisation sur site de l'ouvrage est tout autre.

Afin de garantir à l'ouvrage des qualités proches de la modélisation, il est nécessaire de tenir en compte des variables de réalisation dans le dimensionnement, qui peuvent être :

- une situation météorologique particulière au moment de la réalisation du corps de chaussée ;
- des défauts de compactage de différentes couches ;
- une épaisseur des couches mises en œuvre variable et s'écartant de celle retenue dans le calcul de dimensionnement.

2. Risque de calcul

Le risque de calcul est fonction du type de structure et du trafic considéré. Il est d'autant plus faible que la structure mise en œuvre est résistante, avec des contraintes de niveau de service et de trafic élevés.

Avec un paramètre du risque de calcul pris égal à 10 %, une chaussée aura 90 % de chances de ne subir aucune dégradation pendant sa période de service.

35

II. Définition des méthodes de dimensionnement des chaussées

Il n'y a pas de méthodes simples et exactes pour dimensionner une chaussée du fait qu'il est difficile de formuler des hypothèses de calcul précises relatives aux paramètres de base pris en compte à cause de leur diversification. Les méthodes de dimensionnement sont classées principalement en deux catégories :

1. Méthodes empiriques

Les méthodes de type empirique, basées sur l'observation du comportement d'un grand nombre de chaussées existantes et induire des corrélations entre conditions de trafic et climatiques à supporter et type de structure, épaisseurs des couches à adopter.

Pour dimensionner les routes par cette méthode, on se sert des abaques qui permettent de déterminer les épaisseurs des différentes couches de la chaussée en fonction des matériaux utilisés, de la nature du sol support, du trafic, etc....

2. Méthodes rationnelle (semi empirique)

Ces méthodes reposent sur l'utilisation d'une part des résultats empiriques, et d'autre part des modèles mécaniques de comportement des matériaux et des structures de chaussées.

Ces dernières présentent l'avantage de pouvoir être appliquées à des structures sous différents types de climat et pour divers chargements de trafic.

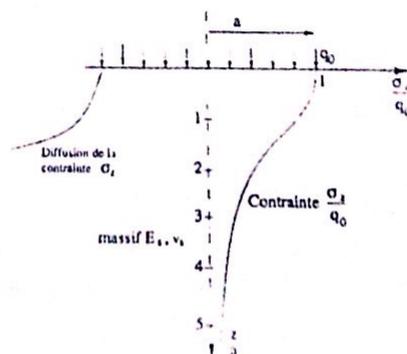
Le comportement des matériaux de chaussées et de plate-forme sera représenté avec des modèles mathématiques. On distingue dans cette approche: le modèle de Boussinesq, le modèle Bicouche, le modèle de Hogg, le modèle de Westergaard et le modèle multicouche de Burmister.

a. Méthode de Boussinesq :

Boussinesq considère le sol comme un massif élastique semi-infini et suppose que le corps de chaussée en matériau granulaire ne lui est pas très différent.

Pour une charge circulaire de rayon a et de pression q_0 , la contrainte σ_z à l'aplomb du cercle est maximum. À la profondeur z , elle a la valeur :

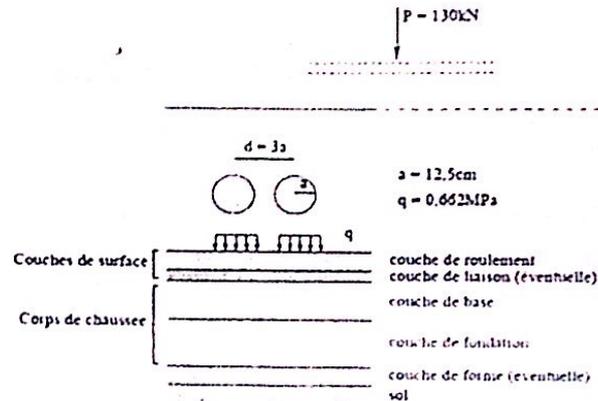
$$\sigma_z = q_0 \left[1 - \frac{(z/a)^3}{(1 + z^2/a^2)^{3/2}} \right]$$



Il s'agit donc de déterminer la **contrainte admissible** σ_{ad} du sol ainsi que la **profondeur** z de la chaussée pour laquelle, la contrainte verticale σ_z induite sur le sol de plateforme reste inférieure à la contrainte admissible du sol σ_{ad} .

b. 2. Méthode multicouche de Burmister (1943)

Face à la multiplicité de types de structures et au renforcement lors de leur entretien, Burmister a développé un modèle qui peut tenir compte de plusieurs couches.



Ce modèle décrit la structure de chaussée comme une superposition de couches élastiques linéaires, homogènes et isotropes, dont les interfaces sont soit collées ou glissantes. Les couches sont infinies en plan et la couche la plus profonde est d'épaisseur infinie.

La charge appliquée en surface, représentative de l'empreinte du pneumatique sur la chaussée, est un disque de rayon r exerçant une pression uniforme q .

39

II. Description de la méthode rationnelle

Le dimensionnement des structures de chaussées repose depuis plus de trente ans sur des méthodes rationnelles. Ces méthodes dimensionnent les chaussées en deux étapes successives :

▪ Première étape :

Elle est de type mécanique, consiste à vérifier par le calcul qu'une structure choisie a priori suffit à supporter le trafic qui devra circuler sur la chaussée pendant sa durée de vie et sur un sol donné.

▪ Seconde étape :

Elle consiste à vérifier que cette structure issue du calcul mécanique peut supporter sans désordre majeur un cycle de gel/dégel. Dans le seul cas où le sol est gélif, cette vérification permet de s'assurer que le sol ne sera pas (ou que peu) atteint par le gel lors d'un hiver d'intensité donnée.

1. Première étape : principes l'étape de type mécanique

La première étape de dimensionnement rationnel, de type mécanique, s'articule selon les trois phases principales suivantes :

1.1 Choix du type de structure et des matériaux qui la composent

Ce choix est en fonction du cadre et des spécificités du projet étudié. La structure de chaussée peut être de type souple, bitumineuse épaisse, semi-rigide, rigide, mixte ou inverse.

À chaque type de structure est associé l'emploi possible de matériaux, répartis eux même en quatre familles : les matériaux hydrocarbonés, les matériaux traités aux liants hydrauliques, les bétons, les matériaux non traités.

41

1.2 Détermination des sollicitations induites et admissibles

a. Sollicitations induites :

Les propriétés des matériaux permettent également de déterminer les **sollicitations induites** dans les différentes couches de matériaux de cette structure au passage d'un essieu représentatif du trafic poids lourd «essieu de référence» à l'aide du modèle théorique choisi (Exemple : modèle multicouches de Burmister).

b. Sollicitations admissibles :

Les propriétés des matériaux permettent aussi de calculer les **sollicitations admissibles** dans les différents matériaux constituant la structure de chaussée. Elles découlent de deux modèles d'endommagement sur lesquels est fondée la méthode rationnelle.

Les contraintes et les déformations admissibles sont déterminées à partir des résultats de l'**essai de fatigue au laboratoire**.

Elles sont ensuite évaluées en connaissant le trafic cumulé, le risque de calcul et les données d'observation du comportement des chaussées similaires.

☐ Matériaux non traités :

le modèle adopté est le modèle d'endommagement par accumulation des déformations plastiques irréversibles (orniérage), résultant des sollicitations de compression verticale exercées par le trafic.

La déformation admissible s'exprime sous la forme suivante :

$$\epsilon_{z, adm} = \epsilon_1 \cdot (NE)^{-0,222}$$

NE : nombre équivalent d'essieux de référence (voir cours de Route I, GCI S2) ;

ϵ_1 : paramètre d'origine empirique, indépendant du matériau non traité considéré, mais variant en pratique selon l'intensité du trafic. $\epsilon_1 = 12000$ sauf pour les faibles trafics ou $= 16000$;

☐ Matériaux bitumineux

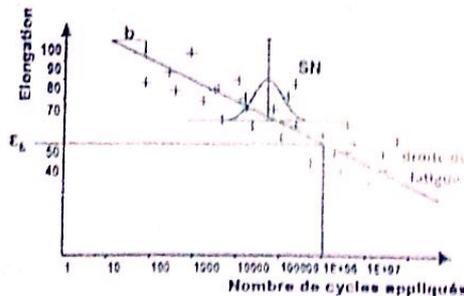
le modèle adopté est le **modèle d'endommagement par fatigue** sous les sollicitations répétées de traction par flexion exercées par le trafic.

La **déformation admissible** s'exprime sous la forme suivante :

$$\epsilon_{t, adm} = \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b \cdot \epsilon_6(10^6; 25Hz) \cdot k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

b : pente de la droite de fatigue du matériau ;

ϵ_6 : déformation provoquant la rupture du matériau à 10^6 cycles ;



Paramètres de la droite de fatigue : déformation ϵ_6 (ou contrainte σ_6) ; la pente b ; Présence de RM

$k_0 = (E_{10^{\circ}\text{C}} / E_{\text{eq}})^{0.5}$: coefficient lié à la température de calcul avec :

$E_{10^{\circ}\text{C}}$: module à $10^{\circ}\text{C}/10\text{Hz}$

E_{eq} : module à la température équivalent ;

$k_r = 10^{-u\delta}$: Coefficient qui ajuste la valeur de déformation admissible au risque de calcul retenu, avec :

u : Variable centrée associée au risque, et est directement liée au niveau de risque choisi en fonction du niveau de trafic et de la catégorie de la route;

$\delta = [\delta_N^2 + (c/b)^2 \times \delta_H^2]^{0.5}$ avec :

δ_N : Dispersion de la fatigue ;

δ_H : Dispersion des épaisseurs ;

c : Coefficient relie la variation des déformations à la dispersion sur les épaisseurs de mise en œuvre;

k_s : Facteur tenant compte de l'hétérogénéité de la portance de la plate-forme qui vaut :

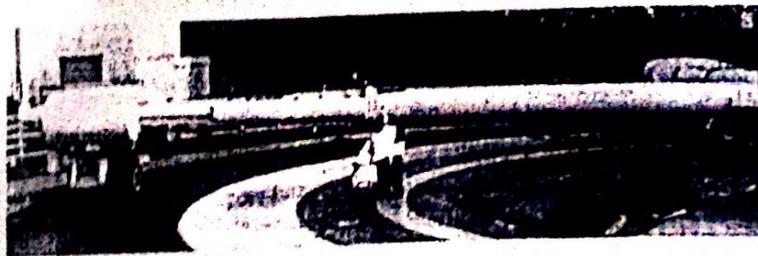
Plate-Forme	PF1	PF2	PF3 et PF4
k_s	1/1,2	1/1,1	1

45

k_c : Coefficient de calage pour ajuster les résultats du modèle de calcul au comportement observé de chaussée.

Les hypothèses du modèle et ses résultats sont validés par des expérimentations conduites sur chaussées réelles ou expérimentales.

En ce qui concerne les chaussées expérimentales, le LCPC dispose d'un outil privilégié : le manège de fatigue (un outil de validation des structures).



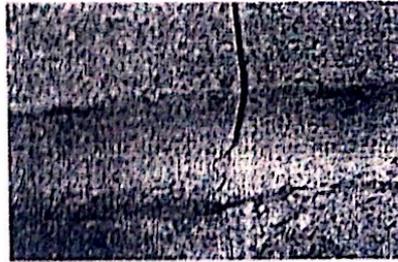
☐ Matériaux traités aux liants hydrauliques :

La limite admissible est caractérisée par la contrainte de traction par flexion à la base de la couche traitée. Elle s'exprime par la relation suivante :

$$\epsilon_{t, adm} = \left(\frac{NE}{10^6} \right)^b \cdot \epsilon_0(10^\circ; 25Hz) \cdot k_\delta \cdot k_r \cdot k_s \cdot k_c$$

k_δ , k_r , k_s , k_c et σ_0 : idem que matériaux bitumineux ;

k_δ : Coefficient de prise en compte de l'effet des discontinuités pour la couche de Base ;



47

1.3 Détermination des épaisseurs des différentes couches de matériaux

La détermination de l'épaisseur de chaque couche de matériau repose sur la vérification de la condition suivante :

$$S_{max j} \leq S_{adm j}$$

$S_{max j}$: Sollicitation maximale créée par le trafic dans la couche de matériau n° j, au sens du mode d'endommagement attaché au type de matériau considéré ;

$S_{adm j}$: Sollicitation admissible par le matériau.

2. Seconde étape : vérification au gel/dégel



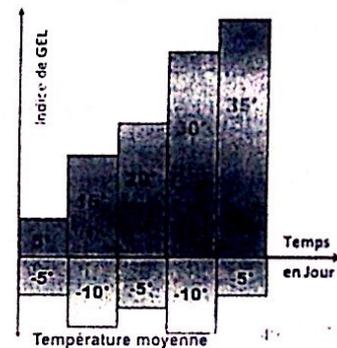
La vérification au gel/dégel s'effectue en fin de démarche de dimensionnement, elle consiste à s'assurer qu'en phase de dégel correspondant à un hiver de référence choisi, les matériaux de chaussée peuvent supporter l'augmentation momentanée des sollicitations qu'elles supportent de la part du trafic.

a. Quelques définitions et notations

I_{am} : Indice de gel atmosphérique est la somme cumulée des températures moyennes journalières de l'air sous abri calculée à partir du premier jour pour lequel la température moyenne devient négative, exprimée en valeur absolue, unité °C. j.

I_s : indice de gel en surface de la chaussée ;

I_t : indice de gel transmis à la base du corps de chaussée.



Indice de gel atmosphérique admissible IA : indice de gel atmosphérique que peut supporter chaque année une chaussée sans subir un endommagement excessif sous l'action du trafic en période de dégel.

Hiver de référence : hiver contre les effets duquel on désire protéger une chaussée pour une région donnée.

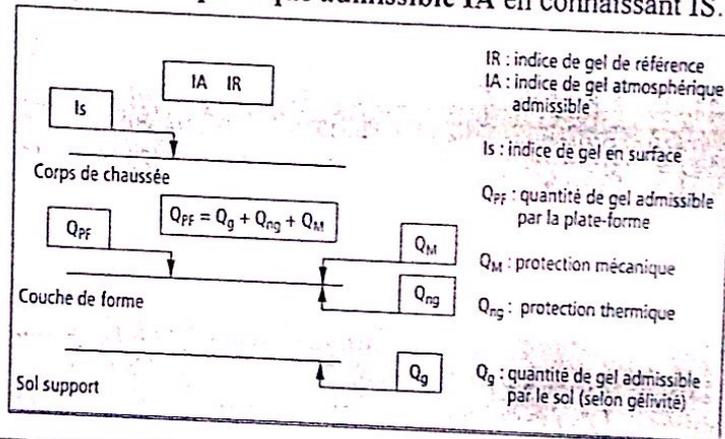
Quantité de gel : correspond à la racine carrée de l'indice de gel, exprimé en $\sqrt{(\text{°C} \cdot \text{j})}$. On l'utilise pour quantifier le gel aux différents niveaux dans la structure, comme :

- la quantité de gel atmosphérique (Q_{atm}) ;
- la quantité de gel en surface de la chaussée (Q_s) ;
- la quantité de gel transmise au sommet de la plate-forme (Q_{pf}).

b. Démarche de vérification au gel/dégel

Seules les chaussées reposant sur des matériaux sensibles au gel doivent faire l'objet d'une vérification au gel/dégel. Cette vérification consiste à comparer l'indice de gel atmosphérique admissible IA à l'indice de gel de référence IR. Elle comporte trois phases de calculs :

1. Déterminer la quantité de gel admissible au niveau de la plate-forme Q_{PF} en fonction des caractéristiques du sol et de la couche de forme ;
2. Calculer l'indice de gel de surface IS en fonction de Q_{PF} et des caractéristiques géométriques et thermiques du corps de chaussée.
3. Aboutir l'indice de gel atmosphérique admissible IA en connaissant IS.



51

1. Détermination de la quantité de gel admissible par la plate-forme Q_{PF}

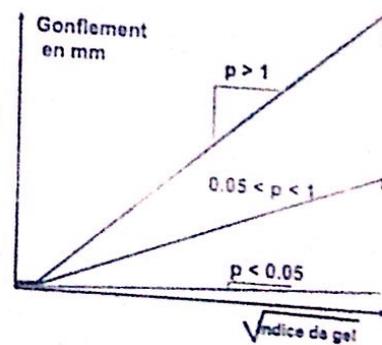
La détermination de la quantité de gel admissible par la plate-forme Q_{PF} s'effectue en trois étapes :

Etape 1 : Examen de la sensibilité au gel de la plate-forme support de chaussée, on détermine :

Q_g : Quantité de gel admissible par le sol c.-à-d. la quantité de gel autorisée à transmettre aux couches inférieures gélives du support.

La classe de la sensibilité au gel est évaluée à partir de la valeur de pente de la courbe de gonflement (essai de gonflement des matériaux gélifs).

- Support non gélif : $Q_g = \infty$;
- Support peu gélif : $Q_g = 4$ si $0,05 < p < 0,25$ et $Q_g = 1/p$ si $0,25 < p < 1$;
- Support très gélif : $Q_g = 0$.

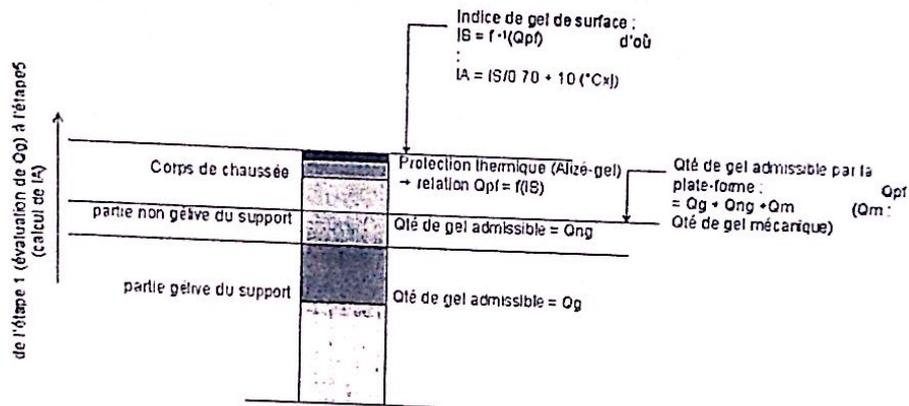


52

Q_{ng} : quantité de gel admissible des matériaux non gélifs de la couche de forme et du sol support.
Elle exprime la protection thermique apportée par ces matériaux. Elle est donnée par la formule suivante :

$$Q_{ng} = \frac{A_n \cdot h_n^2}{h_n + 10}$$

- h_n : épaisseur de la couche non gélive (cm) ;
- A_n : coefficient dépendant de la nature du matériau de couche de forme.



53

Etape 2 : Analyse de nature mécanique, On détermine :

Q_m : quantité de gel pénétrée à une épaisseur e maximale dans la partie gélive du support.

La perte de portance du massif support associée à cette pénétration se traduit par une majoration de la sollicitation maximale S_2 créée par le trafic dans la structure de chaussée, par rapport à la sollicitation maximale S_1 à l'état normal hors gel et dégel. La majoration maximale admise est de 5%.

Hypothèse : la valeur du module d'Young du sol en phase de dégel nécessaire égale à $1/10^{\text{ème}}$ de celle de ce même sol dans son état normal.

Etape 3 : Détermination de la quantité de gel admissible Q_{pf} au niveau de la plate-forme :

Elle s'exprime par la somme des termes précédents :

$$Q_{PF} = Q_g + Q_{ng} + Q_m$$

54

2. Détermination de l'indice de gel de surface IS

Deux approches sont proposées par le Guide technique de 1994 :

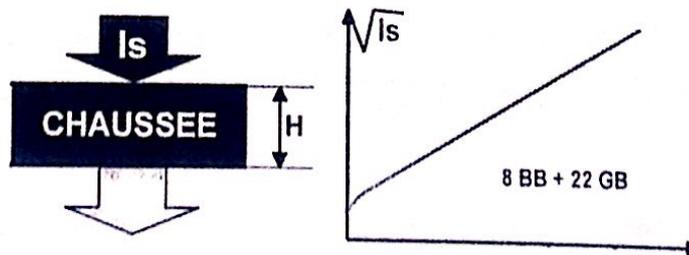
1. **Calcul thermique de propagation du gel à travers la chaussée** (plus précise). Cette approche permet d'établir la relation $Q_{pf} = f(IS)$ à l'aide des calculs relativement complexes de propagation de la chaleur qui doivent être réalisés par un logiciel particulier, comme Gel1D du LCPC. Il repose sur le modèle de Fourier.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -q_B = \frac{C}{\partial T / \partial t}$$

- T : température ;
- k_n : conductivité thermique normale à la surface.
- q_B : chaleur générée par unité de volume ;
- C : capacité thermique volumique ;
- t : temps ;

55

2. **méthode simplifiée** (moins précise) s'appuie sur une linéarisation de la relation entre Q_{pf} et IS. Les deux coefficients de cette relation linéaire dépendent de la nature des matériaux constituant les différentes couches de chaussée, et de l'épaisseur de ces couches.



$$\sqrt{Is} = (1 + aH)\sqrt{It} + bH$$

3. Détermination de l'indice de gel atmosphérique admissible IA

0

L'indice de gel atmosphérique IA correspondant à IS est calculé par à l'aide d'une relation empirique.

$$IA = \frac{IS}{0,7} + 10$$

On conçoit un dimensionnement de la chaussée pour que l'indice de gel admissible IA de la chaussée soit supérieur à l'indice de gel de référence IR

57

III. Outils généraux de calcul des structures : Logiciels

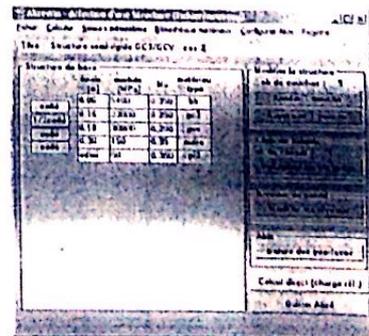
Les logiciels de dimensionnement des structures sont en général basés sur la solution semi-analytique de Burmister (Alizé, Ecowin, etc.).

Les paramètres d'entrée pour chacune des couches sont :

- L'épaisseur ;
- Le module d'Young et le coefficient de poisson ;
- Le conditions d'interface (collée-glissante) ;
- Le caractéristiques des charges : rayon de l'aire de contact, pression de contact, dispositions géométriques) ;

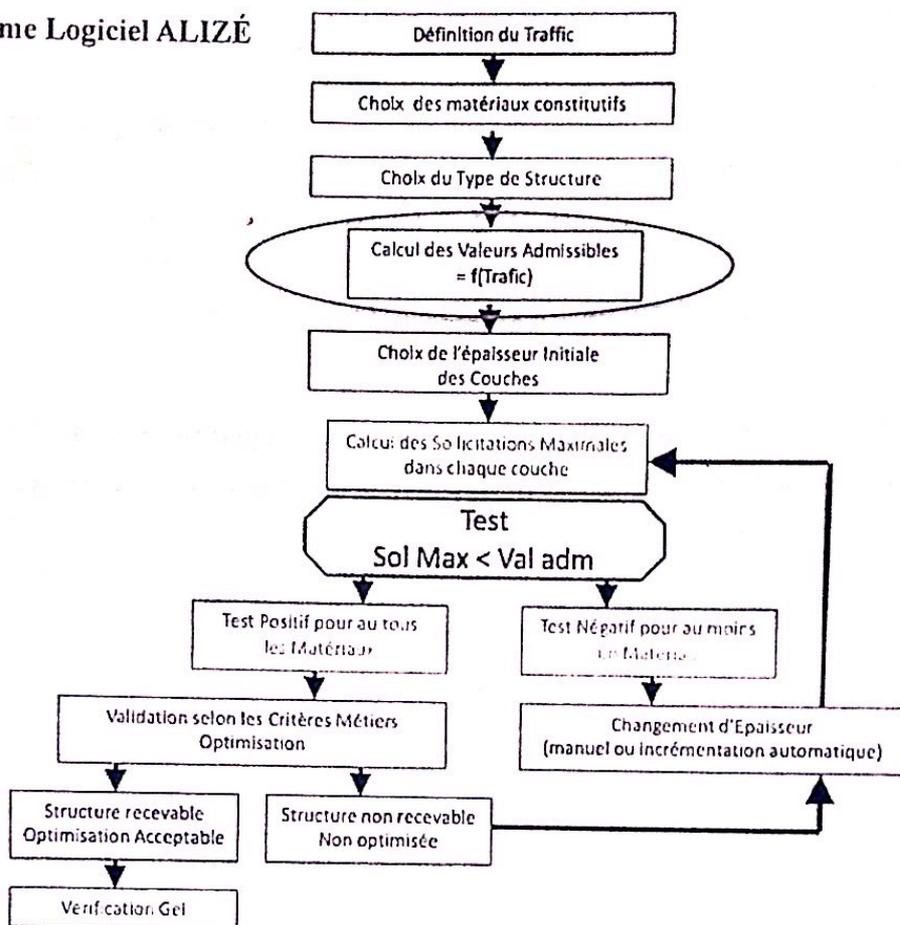
Les résultats fournis sont :

- les contraintes et déformations des couches ;
- la déflexion et le rayon de courbure ;
- le calcul de structures ;
- Le calcul des limites admissibles ;
- La vérification au gel/dégel...



Ecran de saisie des caractéristiques de la structure de chaussée

Logigramme Logiciel ALIZÉ



IV. Pratique du dimensionnement



Le **Catalogue des structures type de chaussée Neuves** du Sétra-LCPC a été édité afin de dimensionner rapidement une structure de chaussée en vérifiant les points suivants : le trafic, le Climat, la Plate-forme support de chaussée et la nature des matériaux de chaussées envisagés.

Cette démarche a plusieurs avantages :

- Elle limite les calculs à des formules simples et prend en compte les différents paramètres ;
- Elle permet de mettre en concurrence facilement les différentes types de structures de chaussée adaptées au projet.

1. Trafic

Le trafic est exprimé en **Moyenne Journalière Annuelle** de passage de Poids Lourd de plus de **8 tonnes** de charge sur les deux sens de circulation. Il est réparti en **six classes (TPL_i)** :

Classe	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6
NPL	0 à 5	5 à 50	50 à 125	125 à 250	250 à 325	325 à 450

Certaines hypothèses ont été utilisées concernant :

- Largeur de chaussée : **TPL1** : Largeur < 4 m et **TPL2 à TPL6** : Largeur > 6 m
- Agressivité du trafic :

Classe de TPL	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6
Structure souple et semi-rigide	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0
Structure rigide	0,7	0,7	0,9	1,2	1,3	1,5

- Taux de croisement : il a été pris égale à 4%.
- Trafic global : il est exprimé sur les deux sens et supposé équilibré entre ces deux sens.
- Durée de vie : durée de vie courte : 10 ans et durée de vie longue : 15 à 20 ans

61

Si pour un projet donné, les données réelles de trafic diffèrent des hypothèses énoncées précédant, on utilisera le catalogue en calculant le **trafic équivalent** en essieu de 13 T (NE*) cumulé sur la période choisie et en le comparant au tableau suivant (limite supérieur de trafic cumulé indiqué dans chaque classe).

Structure	Durée de vie	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6
Souple ou semi rigide	Courte	8,8 10 ³	4,5 10 ⁴	1,4 10 ⁵	3,8 10 ⁵	5,7 10 ⁵	10 ⁶
	Longue	2,2 10 ⁴	1,1 10 ⁵	3,5 10 ⁵	9,5 10 ⁵	1,4 10 ⁶	2,5 10 ⁶
Rigide	Longue	4 10 ⁴	2,7 10 ⁵	6,1 10 ⁵	1,6 10 ⁶	2,3 10 ⁶	3,7.10 ⁶

* Calcul du NE : voir le cours de Route I (GC1 – S2)

62

1. Trafic

Le trafic est exprimé en **Moyenne Journalière Annuelle** de passage de Poids Lourd de plus de 8 tonnes de charge sur les deux sens de circulation. Il est réparti en **six classes (TPL_i)** :

Classe	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6
NPL	0 à 5	5 à 50	50 à 125	125 à 250	250 à 325	325 à 450

Certaines hypothèses ont été utilisées concernant :

- Largeur de chaussée : TPL1 : Largeur < 4 m et TPL2 à TPL6 : Largeur > 6 m
- Agressivité du trafic :

Classe de TPL	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6
Structure souple et semi-rigide	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0
Structure rigide	0,7	0,7	0,9	1,2	1,3	1,5

- Taux de croisement : il a été pris égale à 4%.
- Trafic global : il est exprimé sur les deux sens et supposé équilibré entre ces deux sens.
- Durée de vie : durée de vie courte : 10 ans et durée de vie longue : 15 à 20 ans

61

Si pour un projet donné, les données réelles de trafic diffèrent des hypothèses énoncées précédant, on utilisera le catalogue en calculant le **trafic équivalent** en essieu de 13 T (NE*) cumulé sur la période choisie et en le comparant au tableau suivant (limite supérieur de trafic cumulé indiqué dans chaque classe).

Structure	Durée de vie	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6
Souple ou semi rigide	Courte	8,8 10 ³	4,5 10 ⁴	1,4 10 ⁵	3,8 10 ⁵	5,7 10 ⁵	10 ⁶
	Longue	2,2 10 ⁴	1,1 10 ⁵	3,5 10 ⁵	9,5 10 ⁵	1,4 10 ⁶	2,5 10 ⁶
Rigide	Longue	4 10 ⁴	2,7 10 ⁵	6,1 10 ⁵	1,6 10 ⁶	2,3 10 ⁶	3,7.10 ⁶

* Calcul du NE : voir le cours de Route I (GC1 – S2)

62

2. Climat

Quatre zones sont considérées en fonction de la **précipitation annuelle moyenne** déterminée sur une période de récurrence longue (30 ans environ)

Code	Dénomination	Précipitation (mm/an)
H	Humide	600
h	Semi Humide	250 à 600
a	Aride	50 à 250
d	Désertique	< 50



Environnement géotechnique

Deux zones sont considérées :

- * **Zone I** : où les problèmes de stabilité de plate-forme sont réglés ;
- * **Zone II** : où les problèmes de stabilité de plate-forme ne permettent pas d'assurer un comportement sans risque majeur de structure de chaussée (fissuration, affaissement, etc. ...).

63

3. Plate Forme support de chaussée

Classification des sols

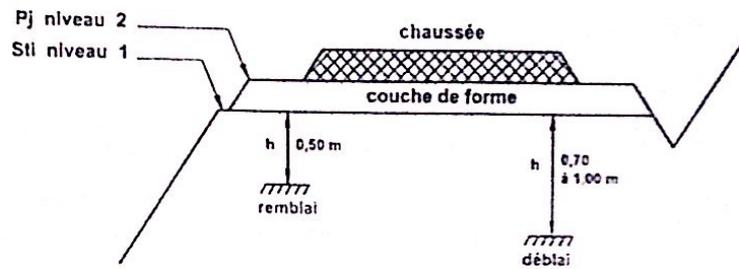
La classification des sols utilisée est le **classement R.T.R (Recommandation pour les terrassements routiers)** définissant la classification Française **G.T.R (classes A, B, C, D, R et F)** complétée par l'introduction des :

- **sols tireux TxA3 et TxA4** : sols fins noirs à gris foncé caractérisés par un fort gonflement fortement fissurés en état très sec et présentant un aspect sableux ;
- **sols tuffacés** : sols fins et graveleux, classé selon leurs degré de calcification :
 - ✓ Si $50\% \leq \text{CaCO}_3 < 70\%$: sol faiblement carbonaté Tt, soit Tt Ai ou Tt Bi ;
 - ✓ Si $\text{CaCO}_3 > 70\%$: sol fortement carbonaté Tc, soit : Tc Ai ou Tc Bi.Selon que le sol est classé en Ai ou Bi

64

4. Portance des Plate Formes - support de chaussée

C'est la portance à long terme qui est prise en compte pour le dimensionnement d'une structure de chaussée neuve. Elle est défini par :



Au niveau 1 : Partie supérieure des terrassements Sti ;

Au niveau 2 : Au sommet de la couche de forme Pj.



55

4.1. Portance Sti

La portance à long terme Sti au niveau 1 est estimée à partir de la connaissance des sols, sur une hauteur h (0,50 m en remblai – 0,70 à 1,00 m en déblai) et en fonction des conditions de drainage et d'environnement.

❖ Sols fins de classe A, B, TA3, TA4, Tf et Tc

La portance à long terme des sols fins qui ont moins de 30 % d'éléments supérieurs à 20 mm peut être évaluée à l'aide d'essai CBR. Elle s'exprime sous forme d'un nombre sans dimension allant de 0 à 4 pour les sols.

St	St0	St1	St2	St3	St4
Indice CBR	≤ 4	≥ 6	≥ 10	≥ 15	≥ 25

❖ Cas des sols graveleux et grossiers

Pour les sols à plus de 30% d'éléments supérieurs à 20 mm et les sols classés C et D, y compris les sables, la portance à long terme est estimée à partir des **essais de déformabilité**.

Indice i ou j	1	2	3	4
Essai à la plaque EV 2 (MPa)	20 à 50	50 à 120	120 à 200	> 200
Restitution Dynaplaque (MPa)	< 50	50 à 55	55 à 60	> 60
Déflexion sous 13 T en 1/100° (mm)	150 à 300	100 à 150	60 à 100	< 60

Ces essais peuvent intéresser soit le niveau 1 (Sti) soit le niveau 2 (Pj).

67

Classification de point de vue sensibilité à l'eau

Catégorie de sol		Description	Classification R.T.R
N°	Désignation		
I	Sol très sensibles à l'eau	Dont la consistance varie très rapidement en présence d'eau	A1, A2, A3, A4, TfAi
II	Moyennement à faiblement sensibles à l'eau	Dont la consistance varie plus lentement en présence d'eau	B2, B4, B5, B6, C1Ai, C1B5, C1B6, C2Ai, C2B5, C2B6, TcAi, TfBi, TcB6
III	Non sensible à l'eau	Dont les éléments fins sont insensibles à l'eau	B1, D1, TcB1, TcB2, TcB4, TcB5, D2, B3, TcB3
IV	Grossiers ou graveleux	Dont les éléments fins sont peu à non argileux ou en proportion très réduite	D3, C1B1, C1B2, C1B3, C1B4, C2B1, C2B2, C2B3, C2B4
V	Sols volumétriquement instables	Sol tireux qui présentent de très forts retraites (fissuration) lorsque la teneur en eau diminue	T×A3, T×A4

68

❖ Dispositif de drainage :

Type 1 :

- a) S'ils assurent un rabattement de nappe permettant à - 1 m sous le niveau 1.
- b) Si les eaux de ruissellement collectées dans les fossés ne peuvent atteindre en aucun cas les sols de niveau 1.
- c) Si l'étanchéité de la chaussée et des accotements est assurée et maintenue.

Ou (c') si le cas échéant, la conception du profil en travers prévoit le drainage rapide et sans obstacle de toutes les eaux qui ont pu pénétrer à travers la chaussée et les accotements sans risque d'ambition des sols rencontrés en partie supérieure du niveau 1.

Type 2 :

Les dispositifs de drainage qui ne répondaient pas aux trois points a, b, c et c' ci-dessus. L'évaluation du dispositif prend en compte les zones climatiques, en particulier le jugement d'efficacité du dispositif est d'autant plus sévère que la zone climatique est humide.

Portance en prend en compte l'environnement climatique (zone H, h, a, d), conditions de drainage (profondeur de nappe et dispositifs de drainage existant et à adopter) et la catégorie de sols (I -II - III - IV et V).

Environnement climatique		Zone inondable ou nappe proche (< à 1 m)	Hors zone inondable ou nappe profonde (> à 1 m)				
			H et h		a		d
Dispositifs de drainage		H, h, a, d	Type 2	Type 1	Type 2	Type 1	
sols	I		St0	St0	St1 (D) St2 (R)	St1	
	II	St1	St1	St2	St2	St3	St3
	III	St2	St2	St3 à St4 (2)			
	IV	St2 ou plus (2)					
	V	Dépend de l'épaisseur de la couche de tirseux					

- (1) Le choix St2 ou St3 se fait à partir de l'étude CBR;
- (2) Le choix se fait par de déformabilité ;
- (D) Déblai ;
- (R) Remblai.

4.2. Portance P_j

❖ Absence d'une couche de forme :

L'indice j de la plate-forme est égale à l'indice i de la partie supérieure des terrassement :

$$P_j = P_i = St_i \quad ; \quad \text{Où } i \text{ est l'indice de la classe de sol.}$$

❖ Présence d'une couche de forme :

La portance P_j à long terme au niveau 2 est estimée à partir de la portance au niveau 1 (St_1) et de la nature et de l'épaisseur de la couche de forme.

71

❖ Matériaux de la couche de forme pour trafics faibles TPL1 - TPL2 - TPL3

Pour les sols les plus faiblement portants, on passe par des couches intermédiaires de sols sélectionnées permettant d'atteindre à long terme des portances supérieures. Ces matériaux sont appelés matériaux F2.

Le choix du matériaux type F2 se fait à partir de son comportement à long terme jugé à l'aide de l'essai CBR.

Indice i existant de la portance au niveau 1	Indice j visé de la portance P_j	CBR seuil pour F2
0 - 1	1 et 2	> 10
2 - 3	3 - 4	> 20

Type de sol pouvant classées en F2 :

- ✓ Les sols non sensibles à l'eau : B1, D1, TcB, C1B1 et C1B3 .
- ✓ Une partie des sols faiblement sensibles à l'eau : TcA, T1B2, T1B4, B2 et B4.

72

❖ Couche de forme pour forts trafics TPL4 – TPL5 – TPL6

Deux types de matériaux de couche de forme :

Matériaux graveleux type F1 : les sols B11, B31, B41, D11, D21, D31, C1B1, C1B3, C2B11, C2B31, C2B21, C2B41, C2B51, C2B21, C1B41, C1B51, TcB;

Matériaux Traités MT : matériaux traités au ciment ou à la chaux ou en traitement mixte.

Trafic	Nature des matériaux	Classe St _i	Épaisseur couche de forme	P _j
TPL1 à TPL3	F2	St ₀	10 AC + 30 F2 = 40 cm	P1
		St ₁	10 AC + 20 F2 = 30 cm	P2
		St _i (i>1)	+ 30 F2	P _{i+1}
TPL4 à TPL6	F1	St ₀	10 AC + 40 cm F1	P2
		St ₁	10 AC + 40 cm F1	P2
		St _i (i>1)	+ 40 cm F1	P _{i+1}
	MT	St ₀	40 cm	P2
		St ₁	25 cm	P2
		St ₁	+50 cm	P3

4.3. Choix de la portance à long terme

Pour la portance finale à long terme sur chantier, il est recommandé d'atteindre les portance P_j minimales suivantes :

Type de structure	Trafic	Portance P _j minimale
Souple	TPL1 à TPL3	P1
	TPL4 à TPL6	P2
Semi-rigide	TPL3 à TPL4	P3
	TPL5 à TPL6	P2
Rigide	Tous trafics	P1

La portance P₀ est exclue dans tous les cas, ce qui implique qu'en cas de classe St₀ au niveau 1, il est impératif de concevoir une couche de forme pour passer à la portance minimale P₁

4.4. Cas des sols tirseux (catégorie V)

Pour les sols tirseux T×A3, T×A4, deux cas se présentent :

1. L'épaisseur de sol tirseux est faible et une purge de 50 cm au maximum permet d'atteindre un sol d'une autre catégorie (très souvent des sol tuffacés). dans ce cas la portance est définie comme exposé ci-avant.

2. L'épaisseur de sol tirseux est important, on doit alors procéder **sur toute la largeur de la plate-forme** :

- Soit à une stabilisation sur 40 cm à la chaux du sol en place ;
- Soit à la mise en œuvre d'une couche sus-jacente :
 - De 40 cm de matériaux F2 pour trafic TPL1 à TPL3 ;
 - De 60 cm (30 cm F1 + 30 cm F2) pour trafic TPL4 à TPL6 ;

Dans ce cas, le niveau de plate-forme atteint sera de P2.

75

5. Dimensionnement des structures

Couche de roulement :

Trafic	Zone I						Zone II
	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	Tous trafics
RS						////	
ECF	////				////	////	
EB ou mEB	////	////	////				////



Matériau utilisable



Matériau inutilisable en raison de ses caractéristiques insuffisantes.



Matériau normalement inutilisable mais pour lequel une expérimentation mérite d'être tentée en vue d'un sur classement ultérieur.



Matériau utilisable mais de caractéristiques nettement plus performantes que nécessaire, donc généralement anti-économique.

RS : Revêtement Superficiel

ECF : Enrobé Coulé à Froid

EB : Enrobé Bitumineux

mEB : mince Enrobé Bitumineux

76

Couche de base :

Trafic	Zone I						Zone II
	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	
Grave non traitée							
Pierre cassée			//////	////////	////////	////////	Idem
GND		exper	////////	////////	////////	////////	Idem
GNC			exper	////////	////////	////////	Idem
GNB				////////	////////	////////	Tous trafics
GNA					////////	////////	
GNR						////////	Idem
Graves stabilisées au ciment							
GVC					////////	////////	////////
GAC2						////////	////////
GAC1							////////
Graves stabilisées au bitume							
GE						////////	Tous trafics Structure non prévue
GBB							Structure non prévue
Béton de ciment							
BC							Structure non prévue

GN : Grave Non traitée type : GNA – GNB – GNC – GND

GNR : Grave Non traitée Reconstituée

GVC : Grave Valorisée au Ciment

GAC : Grave Améliorée au Ciment

GE : Grave Emulsion

GBB : Grave Bitume

BC : Béton de Ciment

77

Couche de fondation :

Trafic	Zone I						Zone II
	TPL1	TPL2	TPL3	TPL4	TPL5	TPL6	
Grave non traitée							
Blocage (sous P.C)			//////	////////	////////	////////	Idem
GNF3			////////	////////	////////	////////	Idem
GNF2					////////	////////	Idem
GNF1							Tous trafics
Grave traitée							
GBF (sous GBB)							Structure non prévue
GAC2 (sous BC)							
Graves drainante							
GD							Structure non prévue
Béton maigre							
Bm (sous BC)							

GNF : Grave Non traitée pour couche de fondation : GNF1 – GNF2 – GNF3

GBF : Grave Bitume pour couche de Fondation

GBB : Grave Bitume

GAC : Grave Améliorée au Ciment

BC : Béton de Ciment

GD : Graves Drainante

Bm : Béton maigre

78

Structure de chaussées

Zone	Type	Structures			Fiche n°	Trafic TPL					
		Revêtement	Couche de base	Couche de fondation		1	2	3	4	5	6
I	Souple	RS ou ECF	GN/GNC	GNF ou GVC	1						////
		ECF/EF	P.C	Blocage	1			////	////	////	////
		RS (ECF) ou EB/mEB	GNB	GNF1-2	1	////			////	////	////
		RS (ECF) EB/mEB	GE	GNF ou GVC	2	////					////
	Semi-rigide	RS (ECF) EB/mEB	GBB	GNF	3	////	////	////			
		RS (ECF) EB/mEB	GBB	GBF	3	////	////	////	////	////	////
Rigide	RS/ECF ou EB	GAC1.2	Eventuellement GAC1.2	4	////	////					
II	Souple		BC	Bm ou GAC1.2 ou néant	5						
		RS/ECF	GN	GNF	6						
	RS/ECF	GE	GNF	7	////	////	////				

//// Structure non utilisée pour ce trafic

GNF : Grave Non traitée pour couche de fondation : GNF1 - GNF2 - GNF3

GBF : Grave Bitume pour couche de Fondation

GBB : Grave Bitume

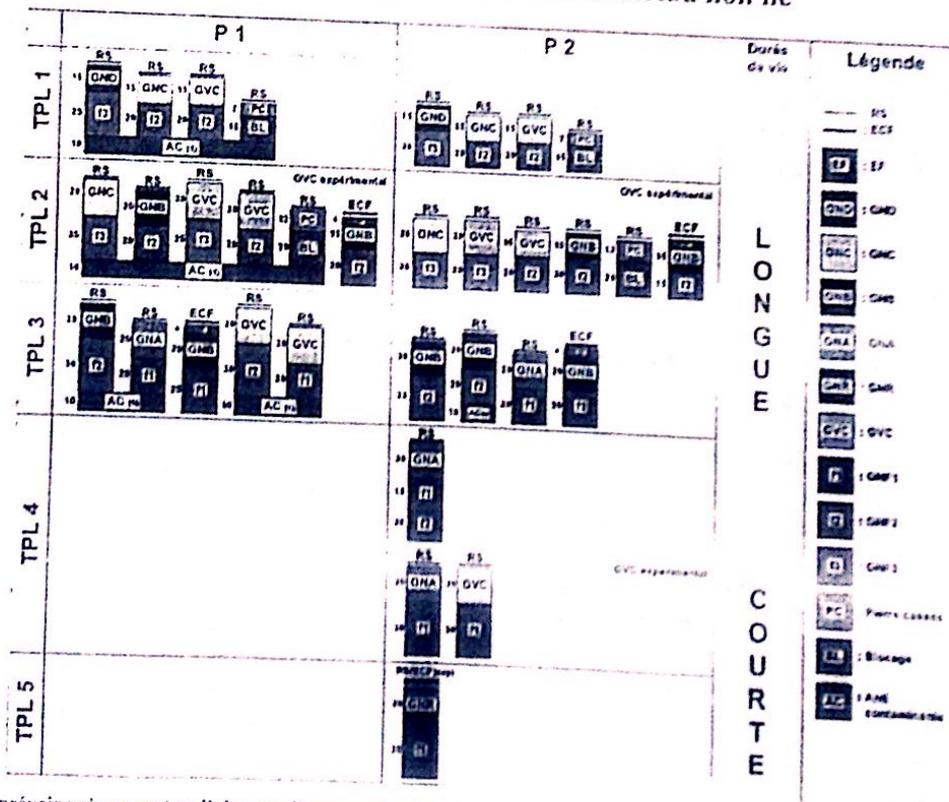
GAC : Grave Améliorée au Ciment

BC : Béton de Ciment

GD : Graves Drainante

Bm : Béton maigre

Fiche n°1 : couche de base en matériau non lié



(1) AC est à prévoir uniquement en l'absence d'une couche de forme

(2) AC + Structure sous-jacente sont à prévoir uniquement en l'absence d'une couche de forme

	P 3	P 4	Durée de vie	Légende
TPL 1			LONGUE	— RS
TPL 2				— ECF
TPL 3				EF
TPL 4				GND
TPL 5				GNC
			COURTE	GNB
				GNA
				GNR
				GVC
				GNF 1
				GNF 2
				GNF 3
				Pierre cassée
				Blocage

81

Fiche n°2 : couche de base en grave émulsion

	P 1	P 2	P 3	P 4	Durée de vie	Légende
TPL 2					Longue	— RS
TPL 3						— ECF
TPL 4						GNF 1
TPL 5						GNF 2
						GNF 1 ou GNF 2
		Anti contamination				AE
		OE				ED

82

6. Profils en travers types

Fiche	Plate-forme	Trafic TPL						Page n°	
		1	2	3	4	5	6		
1	P1	1-1 1-9	1-12 1-1 1-9	1-1 1-12				30 31 32 33	
	P2	1-2 1-10	1-12 1-2 1-10	1-2 1-12	1-6				
	P3	1-2 1-11 1-3	1-2 1-11 1-13	1-2 1-12	ou				
	P4	1-4 1-11	1-11 1-13 1-3	1-2 1-12 1-5	1-7				
2	P1		2-1					34	
	P2								
	P3		2-2		2-3				
	P4								
3	P1				3-1	3-2		35 36	
	P2								
	P3					3-3	3-4		
	P4								
4	P1					4-3		37	
	P2								
	P3						4-4		
	P4		4-1	4-2	4-3				
5	P1 - P2		5-1	5-2 (a)	5-1	5-2 (a)	5-3	5-2 (b)	38
	P3 - P4					5-2 (a) (b)	5-3 (a) (b)		39
6	P1 - P2	1-10	6-1				6-1	40	
	P3 - P4	1-11	6-2	6-1			6-2	40	
7						2-2		34	

Exemple : Profil n° 1-2

