


# COURS : ROUTES & VOIRIES



Filière : MASTER GCBM2




# Conception et dimensionnement des chaussées

Enseignant : ALLA Ahmed    a.allaecole@gmail.com

# Plan du cours

- 1- Définitions et constitution des chaussées
- 2- Les sols
- 3- Les matériaux routiers
- 4- Le trafic routier
- 5- Dimensionnement des chaussées



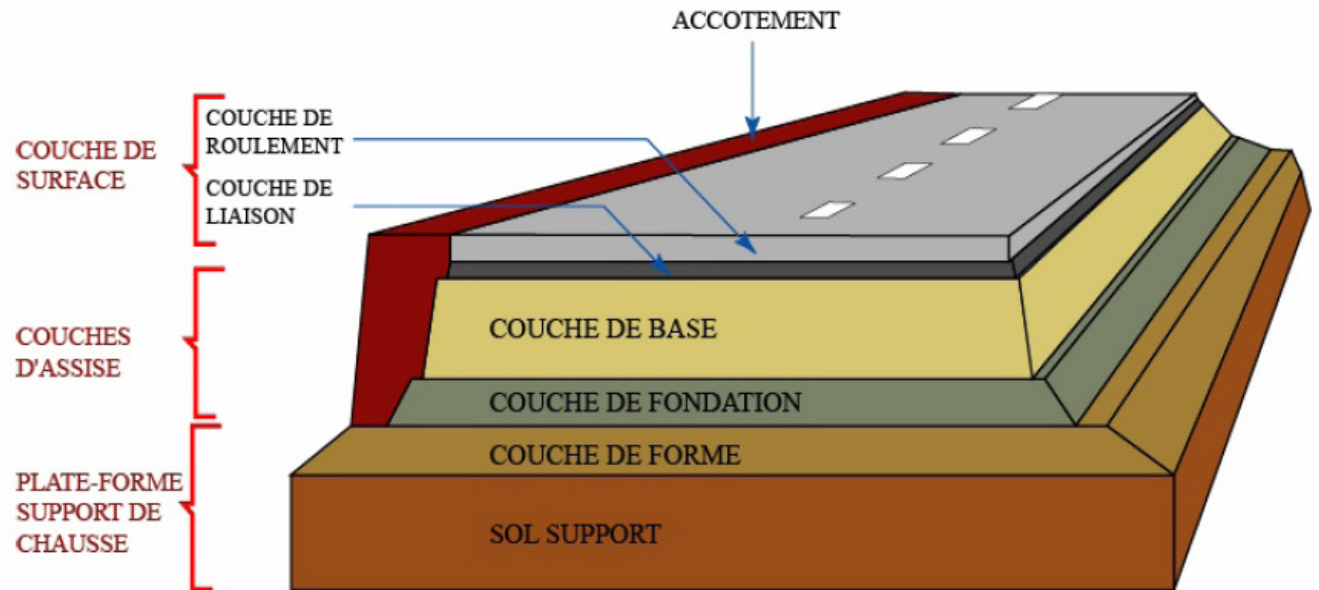
# Chapitre 1

## Définitions et constitution des chaussées

Enseignant : ALLA Ahmed    a.allaecole@gmail.com

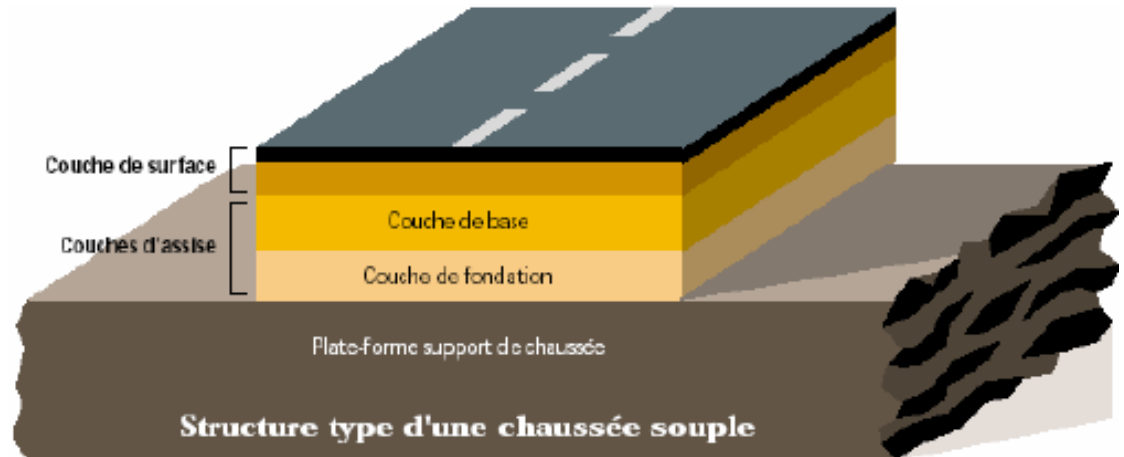
# Définitions de la chaussée

1. Chaussée: l'ensemble des couches constituant la structure sur laquelle le trafic roule
2. Couches de l'assise: les couches inférieures constituant le corps de la chaussée (fondation et base)
3. Couches de roulement: les couches supérieures constituant les couches de surface (liaison revêtement)

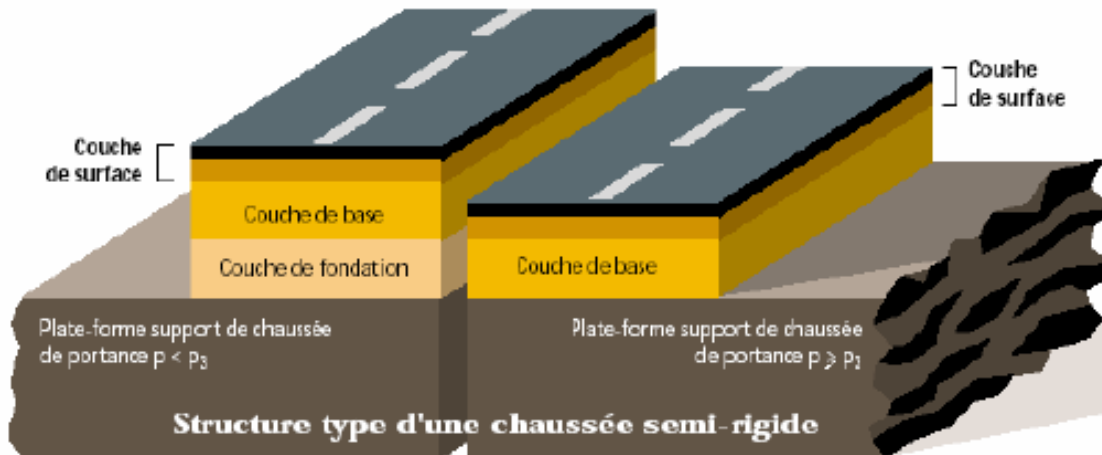


# Les types de chaussées

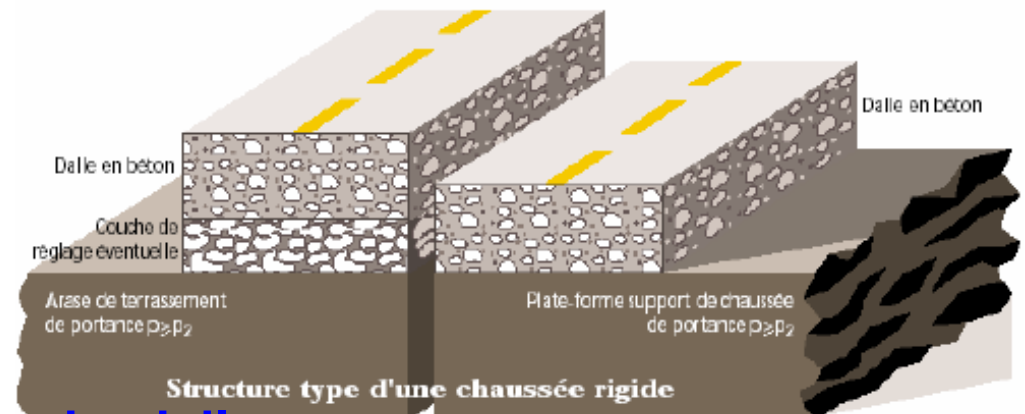
Chaussée souple



Chaussée semi-rigide



Chaussée rigide



# Les matériaux de chaussée

## 1- Le sol support:

Sol de terrain rencontré (déblai)

Sol de remblai (à choisir du déblai ou d'un emprunt)

## 2- Les couches de chaussée

Couche de forme: c'est une couche qui permet d'améliorer la portance du sol support

Couches d'assise : Fondation et Base; en grave non traitée (c à d) tout-venant non mélangé par un liant

Couches de surface : Revêtement superficiel; ou Couche de roulement en liant avec ou sans couche de liaison en liant

## 3- Les liants

# Les matériaux de chaussée

3- Les liants: ce sont des colles qui permettent de lier les granulats entre eux, \*Soit des liants hydrauliques (Ciment, Chaux, Cendres volantes, etc...)

\*Soit des liants hydrocarbonés :ce sont des colles d'hydrocarbures (Composées d'atomes Hydrogène (H) et Carbone (C) :

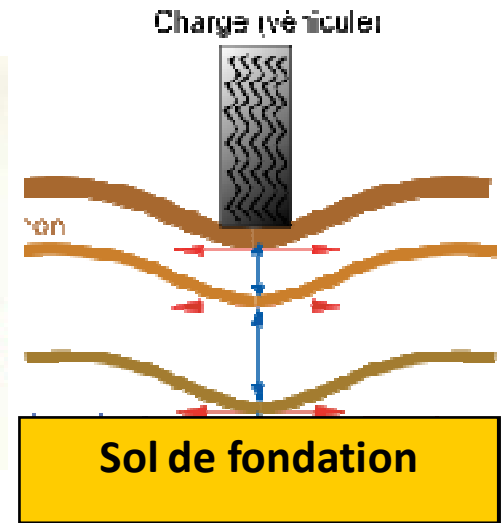
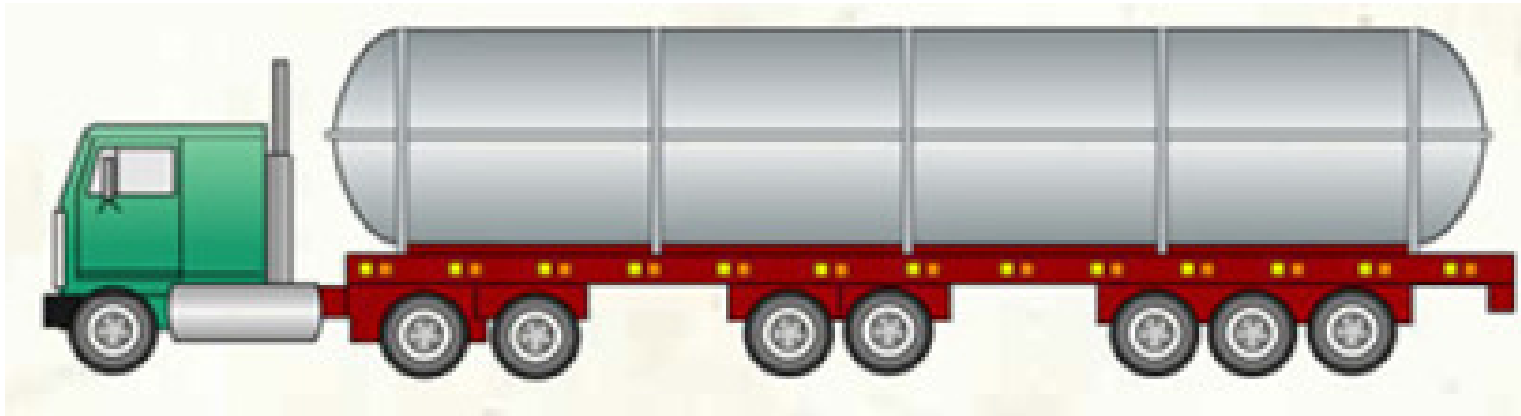
les types: Asphalte (origine rocheuse) , Goudron (origine végétale) , le bitume (origine pétrole)

Un Barrel de pétrole: 1-Gaz (ex  $\text{CH}_4$ : méthane), 2-Essence, 3-Kérozène, 4- Gaz-oil , 5-Huilles, 6- Fuel Lourd, 7- Graisses, 8- Bitume (distillation sous vide)

# Les types de bitumes

- 1- Bitume pur (BP): le bitume telqu'il a été extrait de pétrole (utilisé après chauffage dans les enrobés à chaud)
- 2- Bitume fluidifié (BF) ou Cut-Back (CB) :  
=BP+Kérozène (fluidifiant) (utilisé après chauffage)
- 3- Emulsion de bitume (EAR 65%): Solution aqueuse du BP +kérozène+eau+ émulsifiant (100%-65% =35% d'eau)  
E55%- 65%- 66%-70% (utilisée à froid pour les revêtements superficiels , pour la couche d'imprégnation)

# Constitution des chaussées





# Chapitre 2

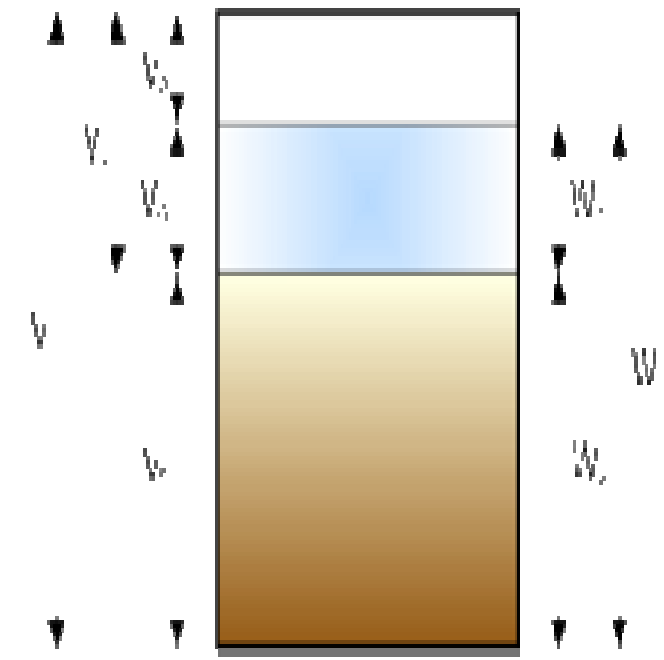
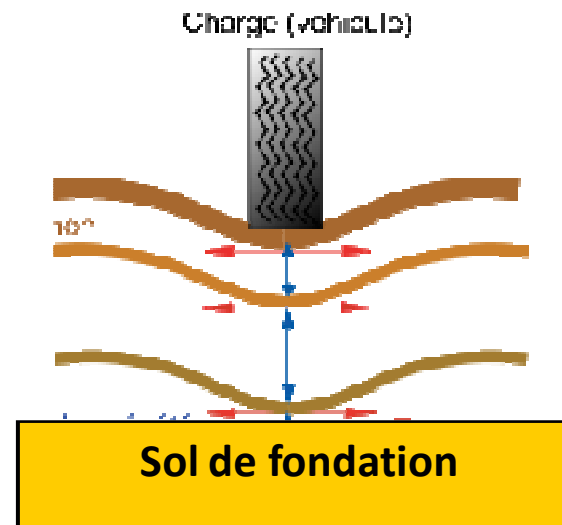
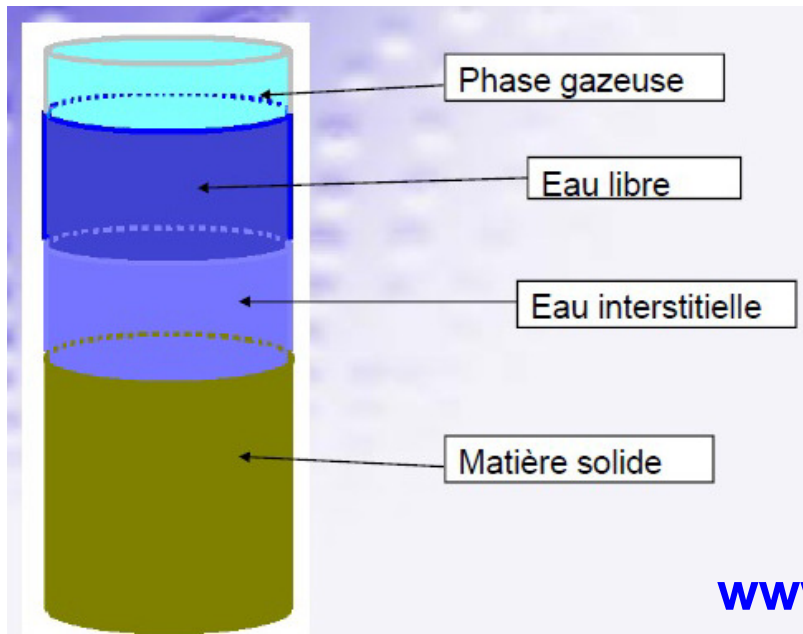
## Les sols

Enseignant : ALLA Ahmed    a.allaecole@gmail.com

# 1. Sols de fondation

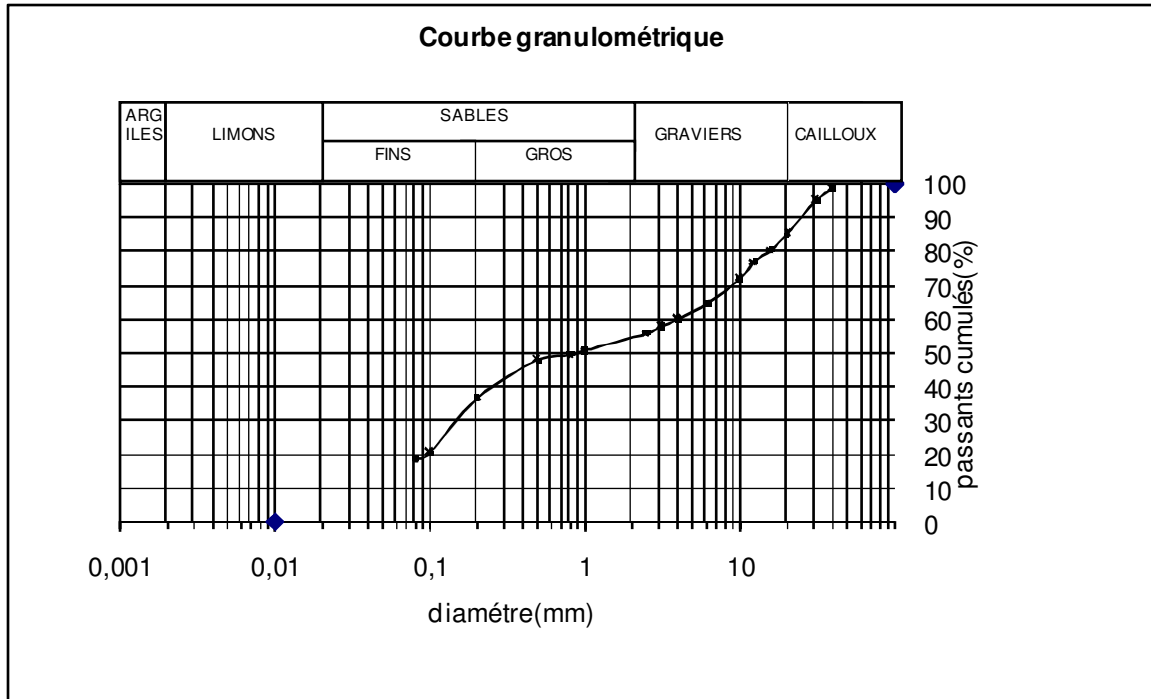


## Composition d'un sol



# Classification des sols

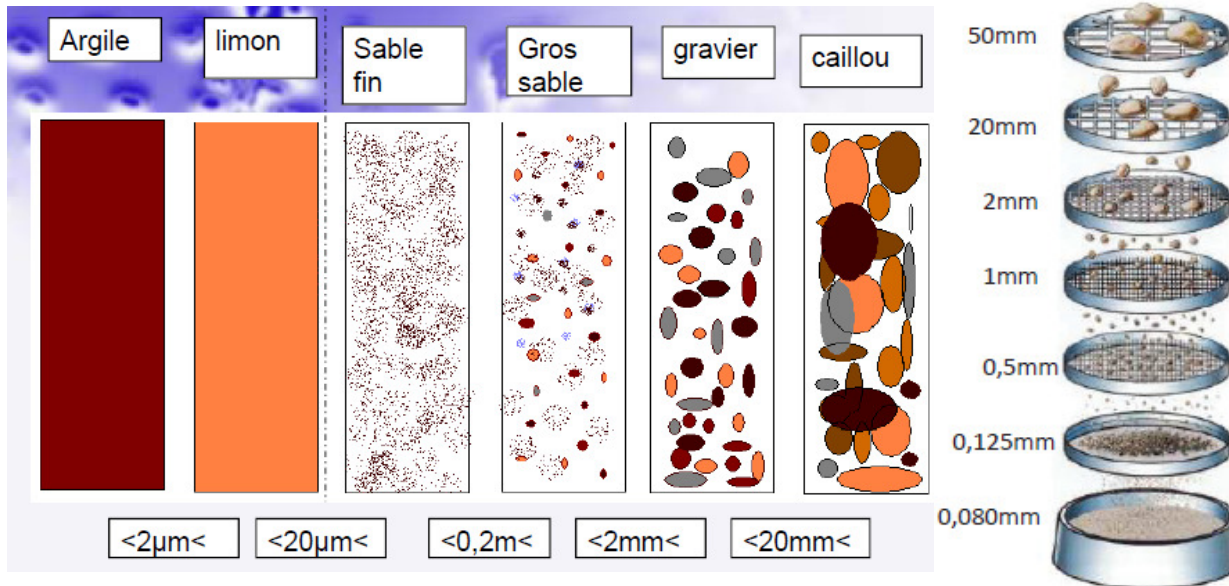
essais spécifiques qui permettent d'évaluer le comportement



## 1-Analyse granulométrique >80 µm



## 2-Sédimentométrie < 80 µm



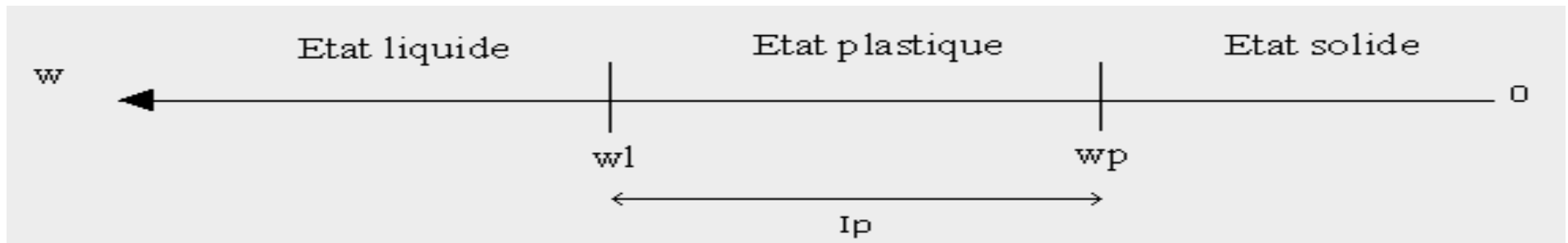
Maxi	Appellation	Mini
	blocs	50
50	cailloux	20
20	graviers	2
2	Sables grossiers	0,2
0,2	sables fins	20 µm
20 µm	Limons	2 µm
2 µm	Argiles	

# Essais utilisés

## Limites d'Atterberg

$$W = \frac{\text{poids de l'eau contenue dans l'échantillon}}{\text{poids du sol sec}}$$

## Comportement des sols pendant les terrassements



l'indice de plasticité

$$IP = wL - wP$$



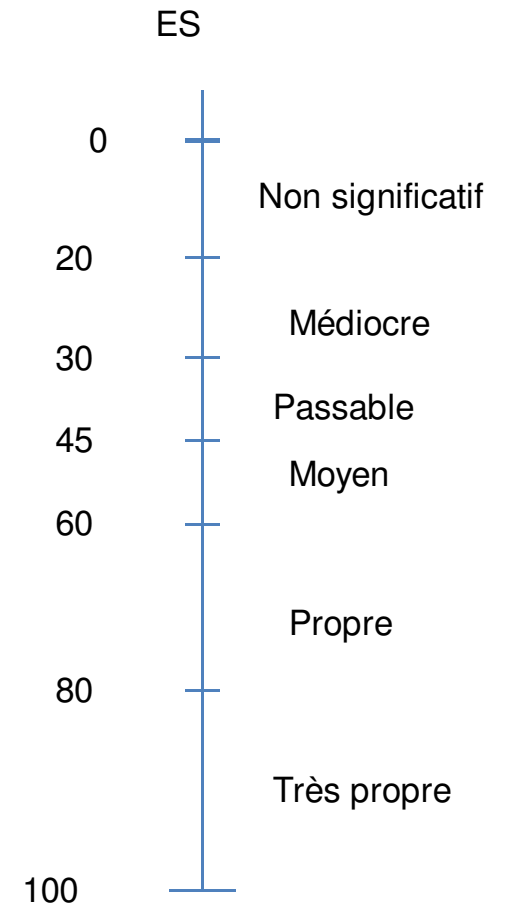
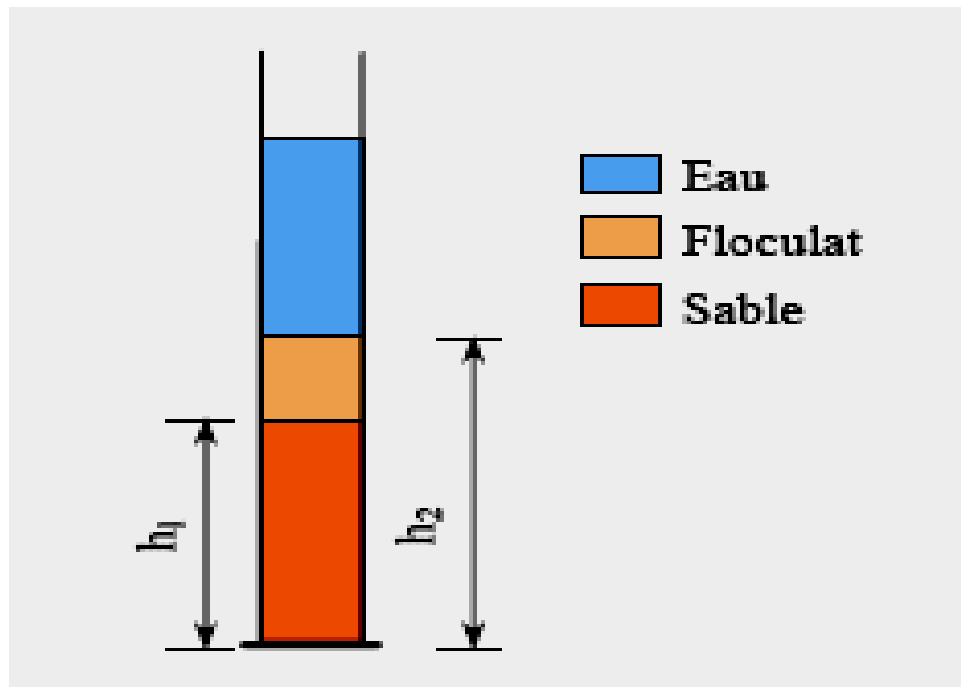
# Selon IP les sols peuvent se classer comme suit

<b>Indice de plasticité</b>	<b>Degrés d'argilosité</b>	<b>Degrés de plasticité</b>
<b><math>0 &lt; I_p &lt; 5</math></b>	<b>Non argileux</b>	<b>Non plastique (l'essai perd sa signification dans cette zone de valeurs)</b>
<b><math>5 \leq I_p &lt; 12</math></b>	<b>Faiblement argileux</b>	<b>Moyennement plastique</b>
<b><math>12 \leq I_p &lt; 25</math></b>	<b>Moyennement argileux</b>	<b>Plastique</b>
<b><math>25 \leq I_p &lt; 40</math></b>	<b>Argileux</b>	<b>Plastique</b>
<b><math>I_p \geq 40</math></b>	<b>Très argileux</b>	<b>Très plastique</b>

# Équivalent de sable

- les sols - peu de fines  
- faiblement plastiques  
- < 2 ou 5 mm

$$ES = 100 \times \frac{h_1}{h_2}$$

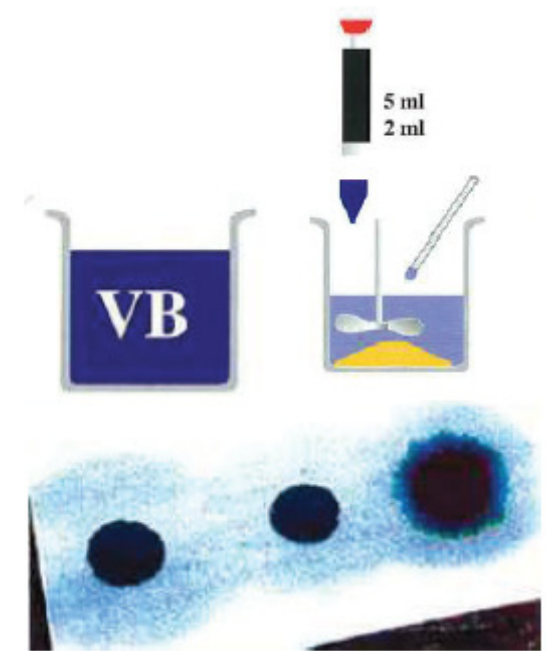


# Essai au bleu de méthylène

les sols - fraction 0/2 ou 0/5 mm

Les seuils significatifs retenus pour la valeur au bleu :

Valeur du bleu VBs		Appellation
Mini	Maxi	
	<b>0,2</b>	<b>Seuil de sensibilité</b>
<b>0,2</b>	<b>1,5</b>	<b>Sols sablo-limoneux</b>
<b>1,5</b>	<b>2,5</b>	<b>Sols limoneux peu plastiques</b>
<b>2,5</b>	<b>6</b>	<b>Sols limoneux moyennement plastiques</b>
<b>6</b>	<b>8</b>	<b>Sols argileux</b>
<b>8</b>		<b>Sols très argileux</b>



# Paramètres d'état

la masse volumique du sol sec  $\gamma_d$ ,  $\gamma_s$

$$\gamma_d = \frac{\text{poids des particules solides}}{\text{Volume total du sol}}$$

$\gamma_d$ : l'appréciation du niveau de compactage du sol

la teneur en eau  $w$

$$W = \frac{\text{poids de l'eau contenue dans l'échantillon}}{\text{poids du sol sec}}$$

$w$ : l'évaluation de l'aptitude des sols au compactage

Classement d'un sol selon 5 états hydriques: th-h-m-s-ts

la position de la teneur en eau naturelle  $w_{nat}$  par rapport  $w_{op}$

# Essais spécifiques

- les conditions de compactage d'un sol
- le comportement du sol sous la chaussée

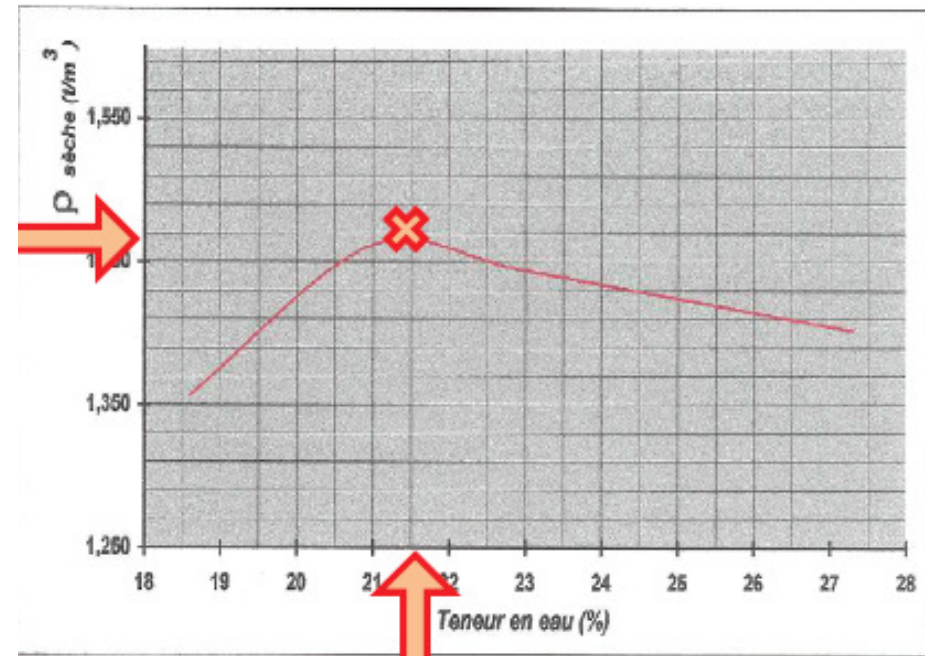
## Essai Proctor

- simuler l'évolution du sol au cours du compactage
- Déterminer  $w$  qui permet d'obtenir  $\gamma_d$  maximale /énergie

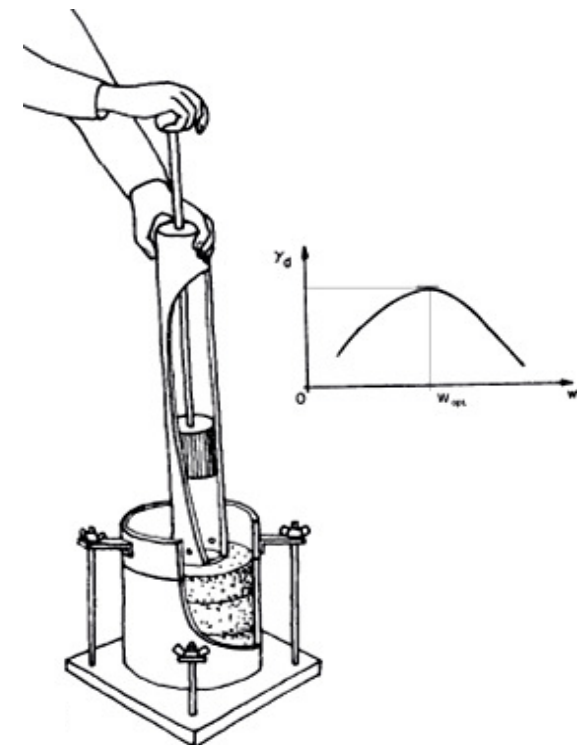
## Essai CBR

- apprécier la résistance des sols supports de chaussée.

# Essai Proctor

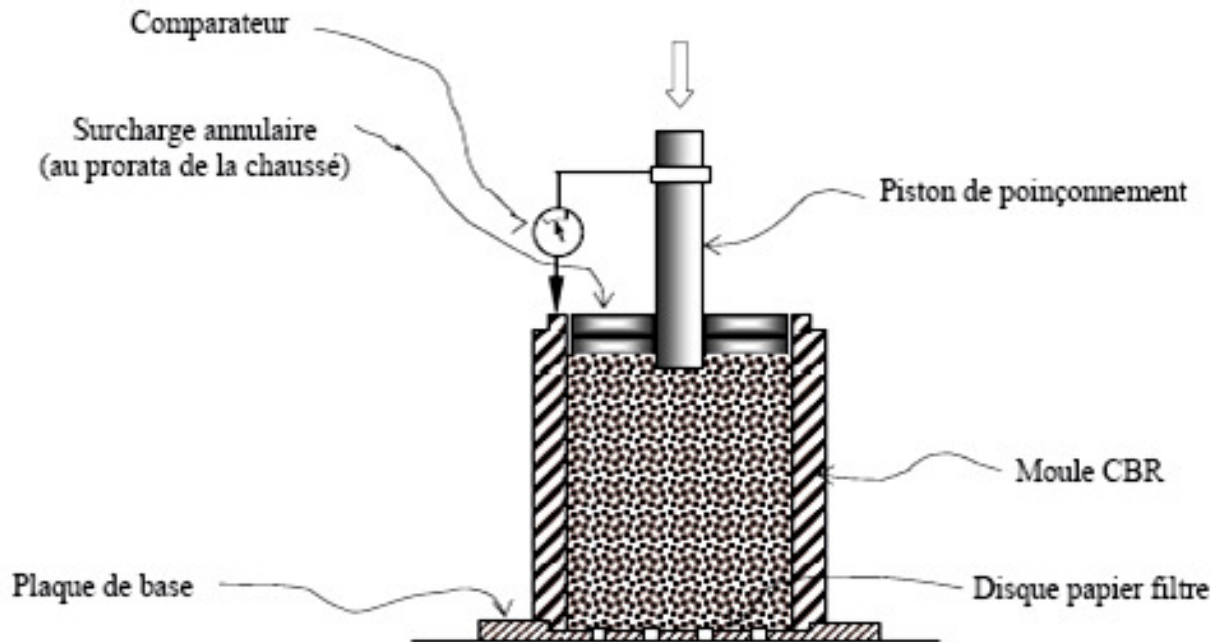


	Diamètre (mm)	Hauteur (mm)
<b>Moule Proctor</b>	<b>101,6</b>	<b>117</b>
<b>Moule CBR</b>	<b>152</b>	<b>127</b>

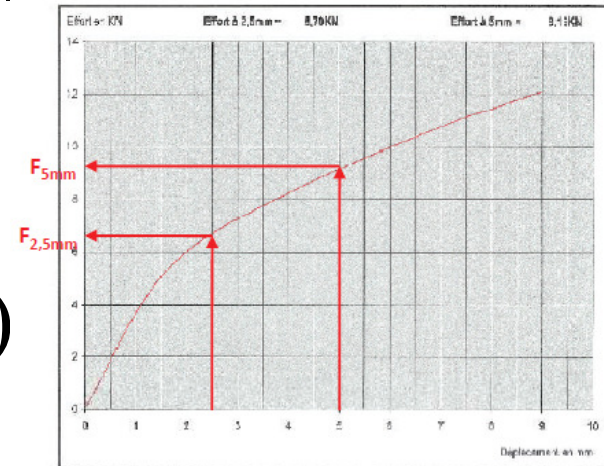


# Essai CBR ( *Californian Bearing Ratio* )

## L' indice portant californien ou CBR



$$\text{CBR} = \text{Max} \left( \frac{P_{2,5}}{0,7} \quad \text{et} \quad \frac{P_5}{1,05} \right)$$



# Essai CBR ( *Californian Bearing Ratio* )

## L' indice portant californien ou CBR



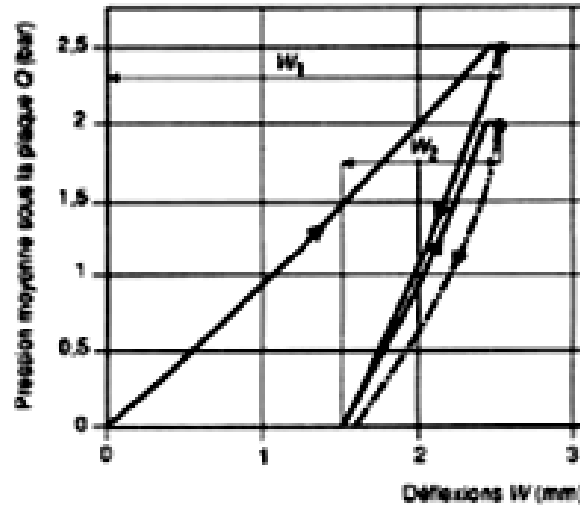
Classes de portance	CBR [%]
S0 portance très faible	CBR < 3
S1 portance faible	3 < CBR < 6
S2 portance moyenne	6 < CBR < 12
S3 portance élevée	12 < CBR < 25
S4 portance très élevée	25 < CBR

## L' indice portant Immédiat ou IPI:

lorsqu' on utilise la teneur en eau naturelle

# Essai à la plaque

déterminer directement la déformabilité du sol en place



$$E_v = \frac{1,5 Q a}{W} (1 - \nu^2)$$

Q: Pression moyenne  
 a: rayon de la plaque circulaire  
 ν: coefficient de poisson  
 E<sub>v</sub>: Module de déformation  
 W: Déflexion  
 K: Caractéristique du niveau de Compactage

$$E_{v_2} \text{ et } K = \frac{E_{v_2}}{E_{v_1}}$$

le compactage du sol est satisfaisant si  $K < 1,25$

# Systemes de classification des sols

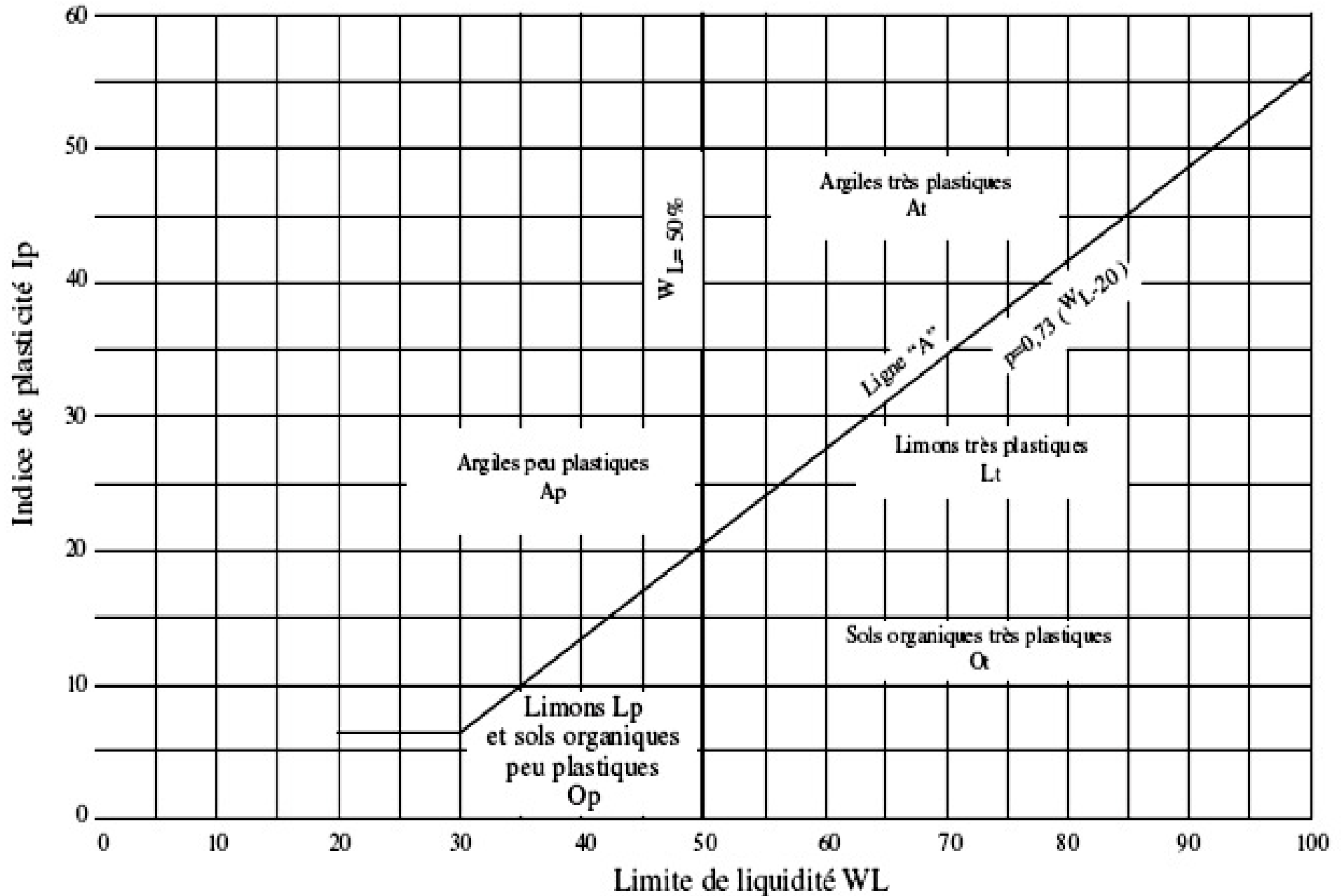
## a- Classification LCPC

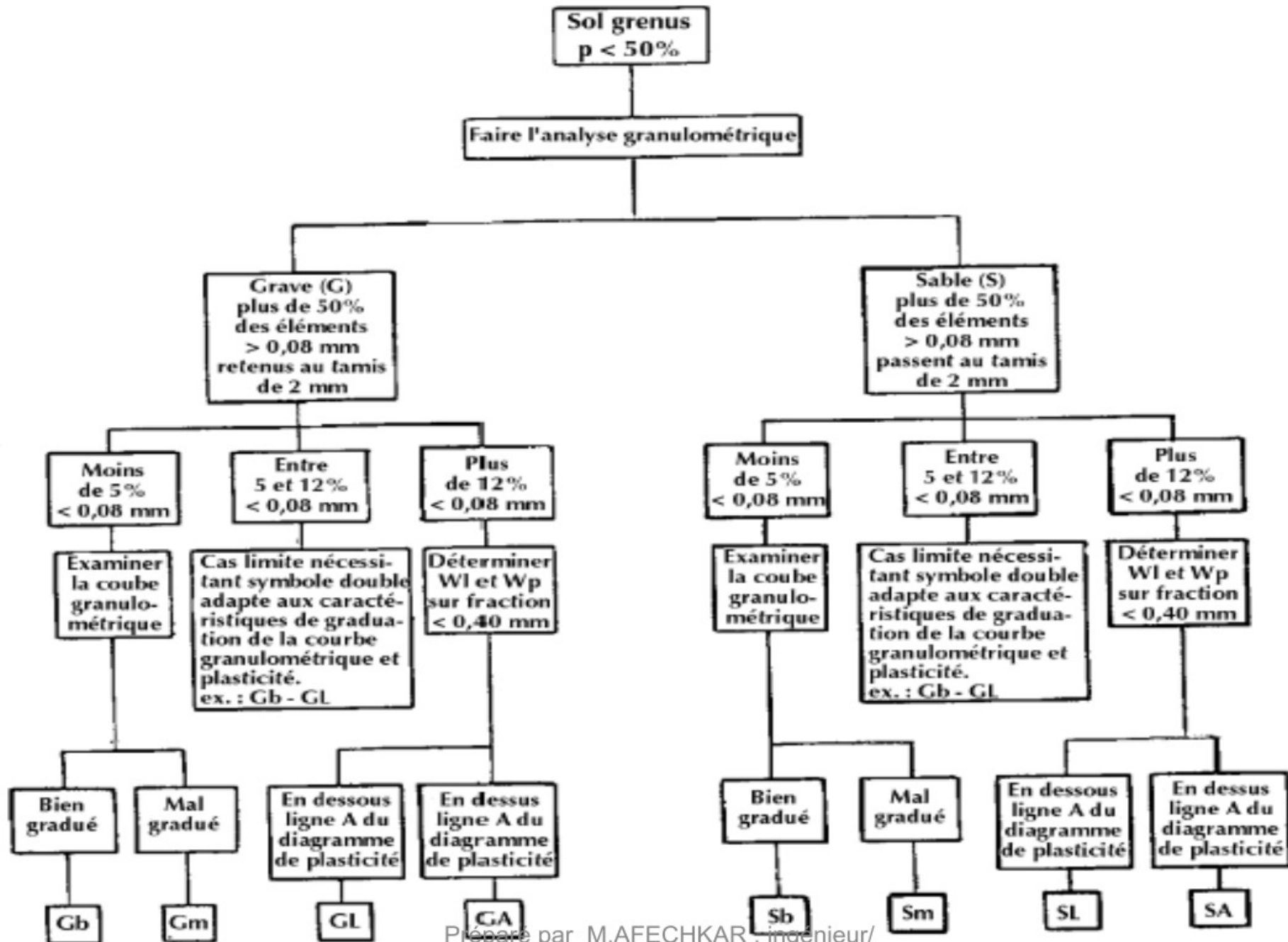
Se base uniquement sur les paramètres de nature à savoir la granularité et l'argilosité.

la classe  $S_i$  d'un sol on utilise:

- Le graphe ou abaque des sols fins
- Le tableau de la classification des sols grenus
- Le tableau de la détermination de la classe des sols.

# Classification des sols fins





Préparé par M.AFECHKAR, ingénieur/

## TABLEAU : MATERIAUX POUR REMBLAIS ROUTIERS

### 1- CLASSIFICATION DES SOLS GRENUS

( Plus de 50% des éléments > 0,08 mm)

Définitions		Symboles	Conditions	Appellations
<b>GRAVES</b>	Plus de 50% des éléments > 0,08 mm ont un diamètre > 2 mm	Moins de 5% des éléments < 0,08 mm	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \geq 4 \quad (1)$ et $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ compris entre 1 et 3}$	grave propre bien graduée
		Plus de 12% des éléments < 0,08 mm	GL Limite d'Atterberg au dessous de A (2)	grave limoneuse
		Plus de 5% des éléments < 0,08 mm	Gm Une des conditions de Gb non satisfaite	grave propre mal graduée
		Plus de 12% des éléments < 0,08 mm	GA Limite d'Atterberg au dessus de A (2)	grave argileuse
<b>SABLES</b>	Plus de 50% des éléments > 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm	Moins de 5% des éléments < 0,08 mm	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \text{ supérieur à 6}$ et $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ compris entre 1 et 3}$	sable propre bien gradué
		Plus de 12% des éléments < 0,08 mm	SL Limite d'Atterberg au dessous de A (2)	sable limoneux
		Moins de 5% des éléments < 0,08 mm	Sm Une des conditions de Sb non satisfaite	sable propre mal gradué
		Plus de 12% des éléments < 0,08 mm	SA Limite d'Atterberg au dessus de A (2)	sable argileux
Lorsque le pourcentage des éléments inférieurs à 0,08 mm est compris entre 5 et 12% on utilise un double symbole				

## DETERMINATION DE LA CLASSE DE SOLS

CLASSIFICATION		Limites d'Atterberg WL= limite de liquidité IP = Indice de plasticité		Indice portant CBR	Zone non aride		Zone aride			
					Régime hydraulique	Classe du sol	Conditions Hydrauliques particulières	Classement du sol		
Sols grenus sablo-graveleux ayant moins de 50% passant à 0,080 mm	Sols graveleux moins de 50% de la fraction retenue à 0,080mm passe à 2mm	Gb-Gm graves propres				S4	Dans le cas de conditions hydraulique particulières dans la zone aride (Zone irriguée - Zone inondable annuellement - nappes peu profondes dans les sols fins limono-argileux) adopter le classement des zones non arides pour bon régime hydraulique).	S4		
		GL graves limoneuses			Bon	S4		S4		
					Mauvais	S3				
		GA graves argileuses		WL > 50% IP > 0,73 (WL-20)		Bon		S3	S4	
						Mauvais		S2		
		Sb - Sm Sables propres				Bon		S3	S3	
	Mauvais					S2				
	Sols sableux plus de 50% de la fraction retenue à 0,080 mm passe à 2 mm		SL Sables limoneux		WL < 50 IP < 0,73 (WL-20)			Bon	S3	S3
								IP < 7	Mauvais	
			IP > 7	Bon	S2					
				Mauvais	S1					
	SA Sables argileux		WL > 50% IP > 0,73 (WL-20)					Bon	S2	S3
Mauvais							S1			
Sols fins Limono - argileux plus de 50% passant à 0,080 mm	Lp Limons		WL < 50% IP < 0,73 (WL-20)		CBR > 4	Bon	S2	S3		
						Mauvais	S1			
	Ap Argiles peu plastique craies et marnes		WL < 50% IP > 0,73 (WL-20)				S1	S2		
	Lt - Ot Limons très plastiques		WL > 50% IP < 0,73 (WL-20)			Voir note de recommandations n°1	S1	S2		
							IP < 28		S0	
At Argiles très plastiques		WL > 50% IP > 0,73 (WL-20)			Voir note de recommandations n°1	S1	S2			
						IP > 28		S0		

## b- Classification (GTR) et GMTR

- GTR: Guide des Terrassements Routiers (Français)
- GMTR: Guide Marocain des Terrassements Routiers

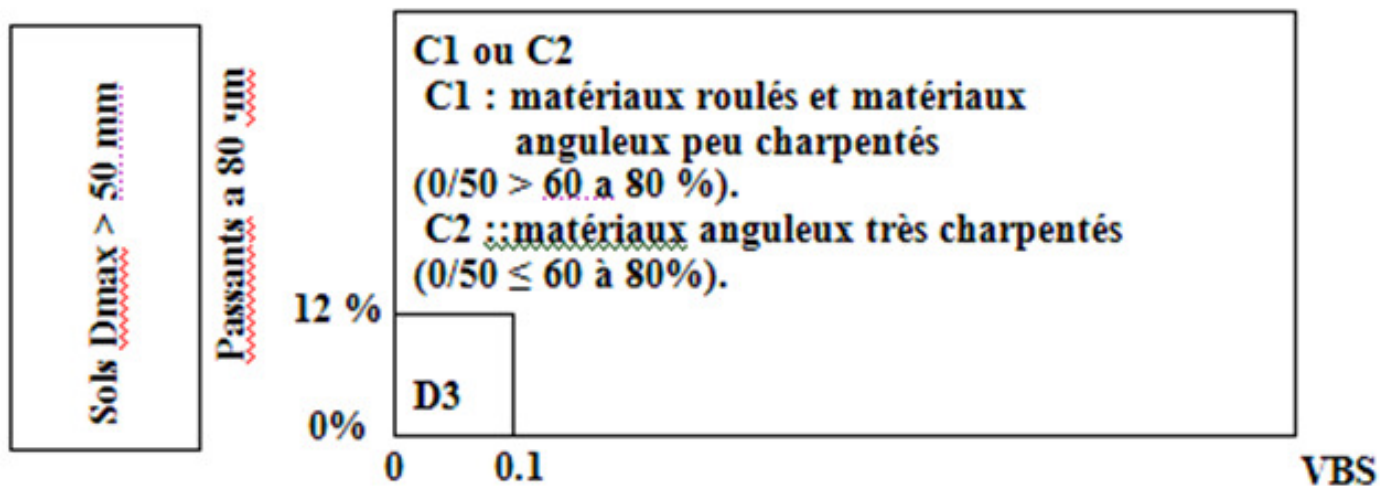
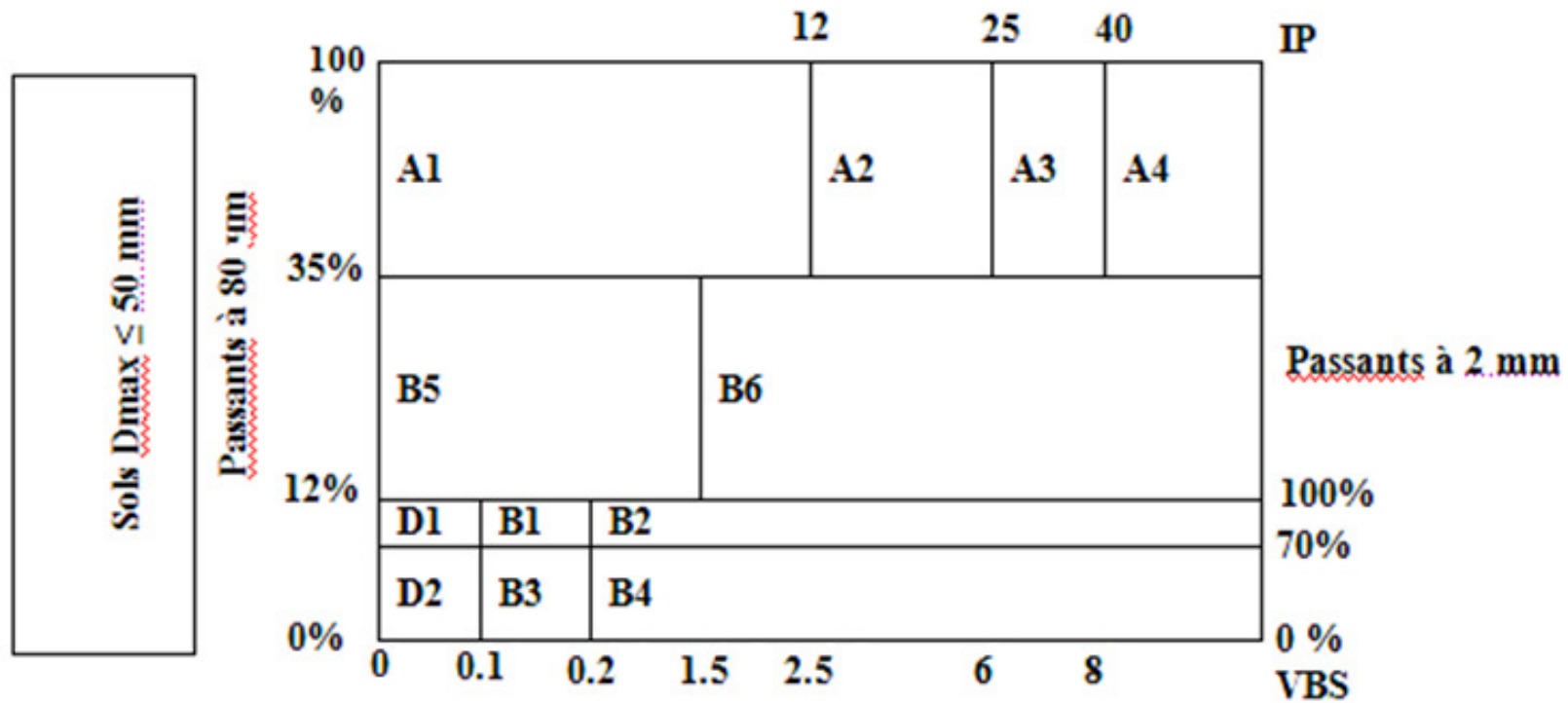
Se base sur les paramètres géotechniques

- Les classes A, B, C, D pour les sols meubles*
- La classe R pour les matériaux d'origine rocheuse*
- La classe F pour les sols organiques et les sous produits industriels*

*Elle est complétée par :*

- La classe des sols tirseux et la classe des sols tufacés pour les sols meubles.*
- Les sous-classes concernant les calcaires tendres en ce qui concerne les matériaux rocheux.*
- De sous-classes spécifiques, pour la classe F.*

# Classification française GTR

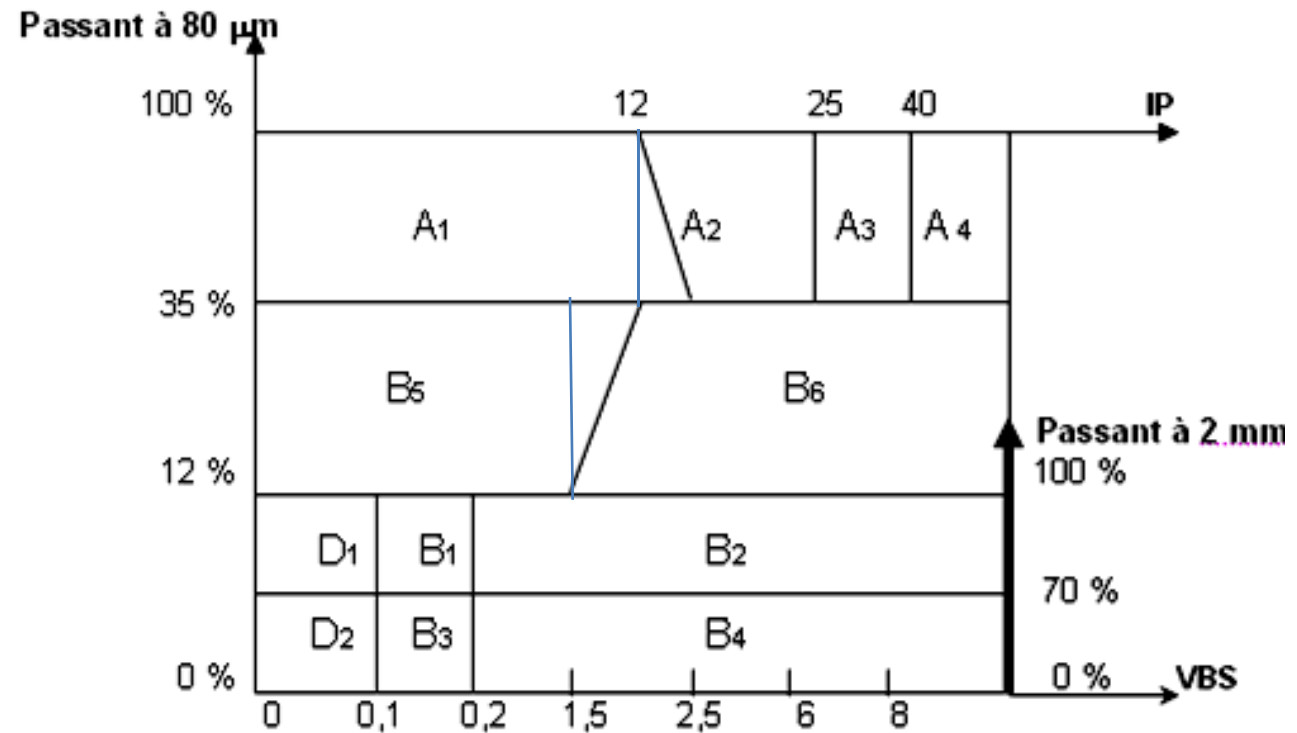


# Classification des matériaux rocheux (GTR)

<b><u>Roches sédimentaires</u></b>	<b><u>Roches carbonatées</u></b>	<b><u>Craies</u></b>	<b>R1</b>
		<b><u>Calcaires</u></b>	<b>R2</b>
	<b><u>Roches argileuses</u></b>	<b><u>Marnes, argilites, pélites</u></b>	<b>R3</b>
	<b><u>Roches siliceuses</u></b>	<b><u>Grès, poudingues, brèches</u></b>	<b>R4</b>
	<b><u>Roches salines</u></b>	<b><u>Sel gemme, gypse</u></b>	<b>R5</b>
<b><u>Roches magmatiques et métamorphiques</u></b>	<b><u>Granites, basaltes, andésites, gneiss, schistes métamorphiques et ardoisiers....</u></b>		<b>R6</b>

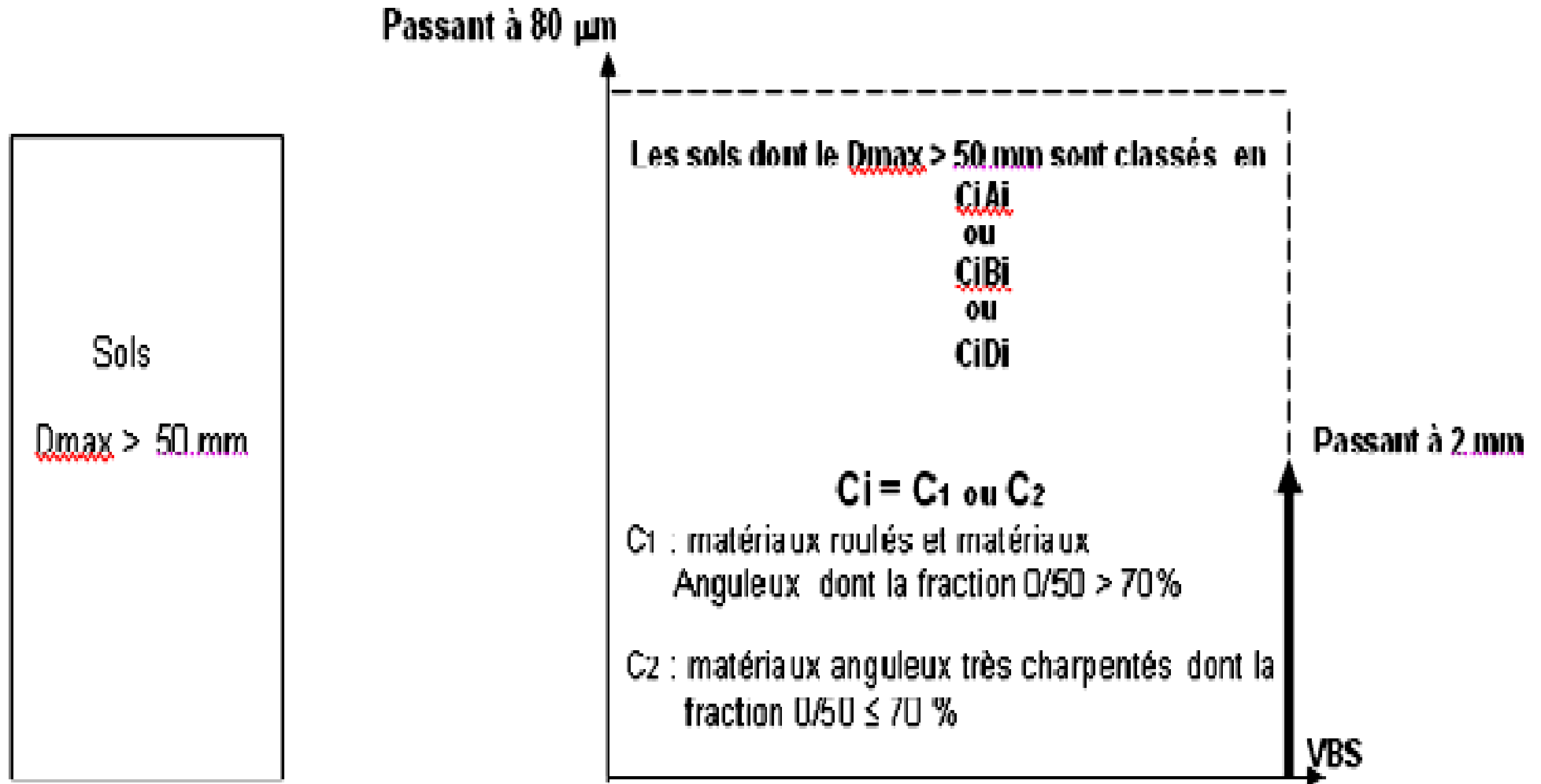
# Classification GMTR

Sols  
 $D_{max} \leq 50 \text{ mm}$



- Les  $A_i$  et/ou  $B_i$  peuvent être parfois :
  - ⇒ des tufs fortement carbonaté  $TcA_i$  ou  $TcB_i$  si  $CaCO_3 > 70\%$
  - ⇒ des tufs faiblement carbonaté  $TfA_i$  ou  $TfB_i$  si  $50\% \leq CaCO_3 \leq 70\%$
- Les  $A_3$  et les  $A_4$  peuvent être parfois :
  - ⇒ des tirses dont :  $Wl - W_r > 42$  avec  $Wl > 53$  et  $W_r < 13$

# Classification des matériaux rocheux 1/2



# Classification des matériaux rocheux 2/2

<b>Roches Sédimentaires</b>		<b>Craies</b>	<b>R<sub>1</sub></b>
	<b>Roches carbonatées</b>	<b>Grès calcaire Calcarénite Encroûtements calcaires Calcaires marneux Calcschistes Calcaires durs Calcaires dolomitiques</b>	<b>R<sub>2</sub></b>
	<b>Roches argileuses</b>	<b>Marnes Schistes sédimentaires Flyschs marneux Argilites Pelites</b>	<b>R<sub>3</sub></b>
	<b>Roches siliceuses</b>	<b>Grès argileux Grès siliceux Poudingues Brèches</b>	<b>R<sub>4</sub></b>
	<b>Roches salines</b>	<b>Gypse Gypse marneux Sel gemme</b>	<b>R<sub>5</sub></b>
<b>Roches Magmatiques et Métamorphiques</b>	<b>- Granite - Basalte - Diorite - Quartzite Autres roches éruptives et métamorphiques dures</b>	<b>R<sub>6</sub></b>	

# Classification des Sols Meubles

La classification des sols, en général , se fait sur la base des 3 paramètres:

- a) Les paramètres de nature : la granularité et l'argilosité (IP et VBS).
- b) Les paramètres de comportement mécanique : la dureté, la résistance à l'usure et le coefficient de friabilité des sables LA, MDE et CFS)
- c) Les paramètres d'état : l'état hydrique d'un sol , la teneur en eau naturelle par rapport à celle mesurée à l'optimum Proctor , L'indice portant Immédiat (IPI), L'indice de consistance  $I_c$

Les sols sont classés :

A :Sols Fins (Silts, Limons, Argiles, etc...) de A1 à A4

B :Sols Sableux ou Graveleux avec Fines de B1 à B6

C : Matériaux d'éboulis, TV Bréchique, TV Grossiers de C1 et C2

D : Sables et Graves Propres de D1 et D2

R: Sols rocheux de R1 à R6

# Cas des sols tirseux

Les sols tirseux :

TxA3 : pour les sols avec  $I_p \leq 40$

TxA4 : pour les sols avec  $I_p > 40$

Gharb et Berrechid.

## Cas des sols tufacés

Les tufs : sols calcaires.

Chaouia, Doukkala et Abda

le taux de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ).

## Cas des sols tufacés

:

Soit :  $T_f A_i$  ou  $T_f B_i$

Soit :  $T_c A_i$  ou  $T_c B_i$

# Sols organiques et sous produits industriels

Cette classification est mentionnée uniquement pour mémoire.

La classe F contient les sous-classes provisoires suivantes :

**F1** : sous-classe relative aux matériaux naturels renfermant des

matières organiques

**F2** : sous-classe relative aux cendres volantes des centrales thermiques.

**F3** : sous-classe relative aux déchets de phosphates.

**F4** : sous-classe relative aux pouzzolanes.

**F5** : sous-classe relative aux matériaux de démolition.

**F6** : sous-classe relative aux autres déchets et sous-produits industriels.

# Exercice d'application GTR & GMTR

Types	% de passant au tamis de (mm)					WL	WP
	12	10	6	2	0,08		
Sol 1	85	52	30	16	4	52	46
Sol 2	98	66	51	42	16	51	27
Sol 3	-	100	89	66	56	70	50

## Solution

Types	% <2 mm	% < 80 $\mu$ m	IP	Classe GTR	Classe GMTR
Sol 1	16	4	6	B3	B3
Sol 2	42	16	24	B4	B4
Sol 3	66	56	20	A2	A2

Sol 1 : B3 = graves silteuses

Sol 2 : B4 = graves peu argileuses

Sol 3 : A2 = limon argileux

Caractéristiques		Sols d'emprunts pour remblais				
		Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5
Granularité (mm) en %	0,08	35	30	40	23	31
	0,2	37	33	43	27	34
	0,5	43	37	48	29	38
	1	49	38	56	30	45
	2	54	48	59	36	49
	5	61	53	72	49	58
	10	69	65	83	55	69
	20	79	75	92	67	79
	31,5	90	86	98	83	88
	50	100	98	100	95	100
	80		100		100	
Descriptif de sol	Nature	Tufs argileux à graves calcaires				
	Couleur	Blanchâtre à rougeâtre				
Classification	LCPC					
	GMTR					
Limites atterberg	WL (%)	37	37	36	36	37
	IP (%)	9	10	11	9	10
Proctor modifié	Wop (%)	6,5				
	$\gamma_{max}$	2,1				

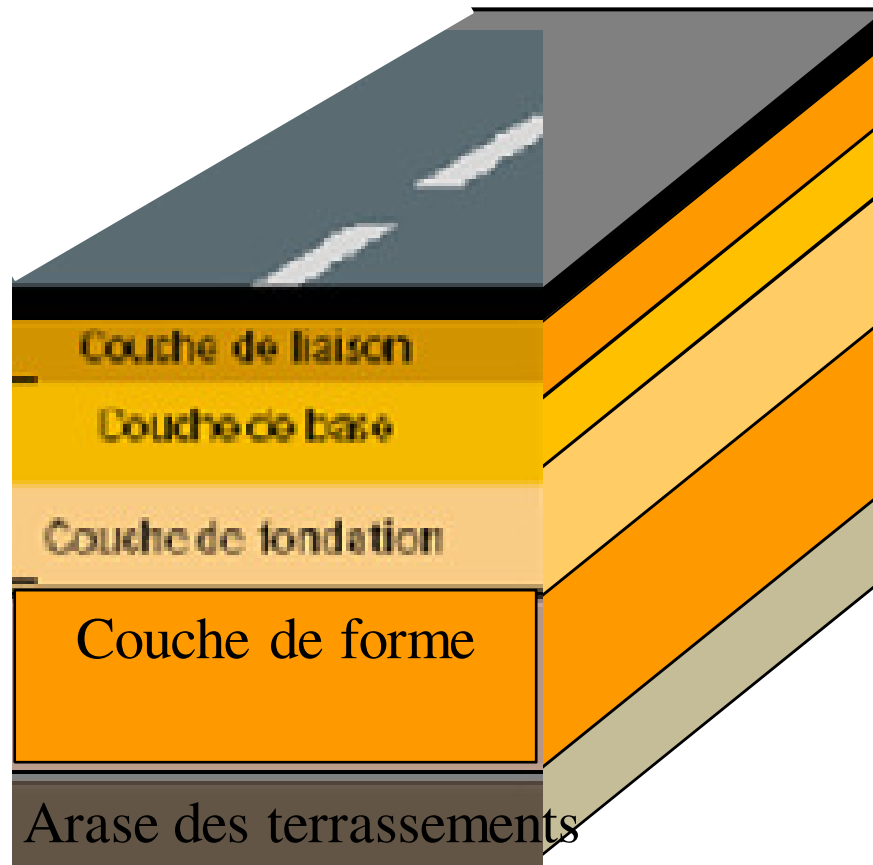


# Chapitre 3

# Les matériaux routiers

Enseignant : ALLA Ahmed    a.allaecole@gmail.com

# Couche de forme



- Structure + - complexe
- Sur laquelle repose la chaussée,
- Placée sur PST,
- Permettant une plate-forme support homogène et performante,
- Constituée d'une seule couche ou plusieurs

Objectifs.

À court terme,

- bonnes conditions de mise en place des couches de chaussée
- qualités d'uni,
- résistance aux intempéries,
- portance vis-à-vis des engins

# les assises

Constitution : 2 couches : fondation , base.

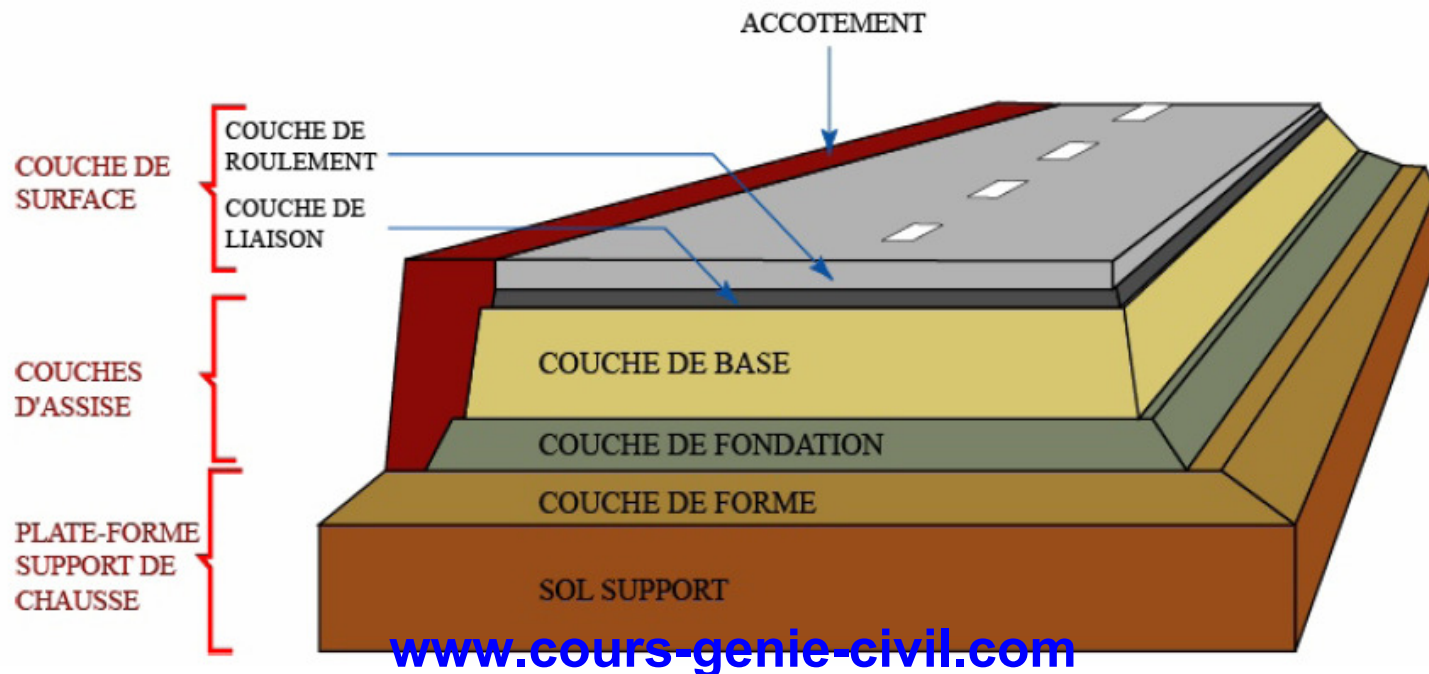
Matériaux élaborés

Rôle : structurel

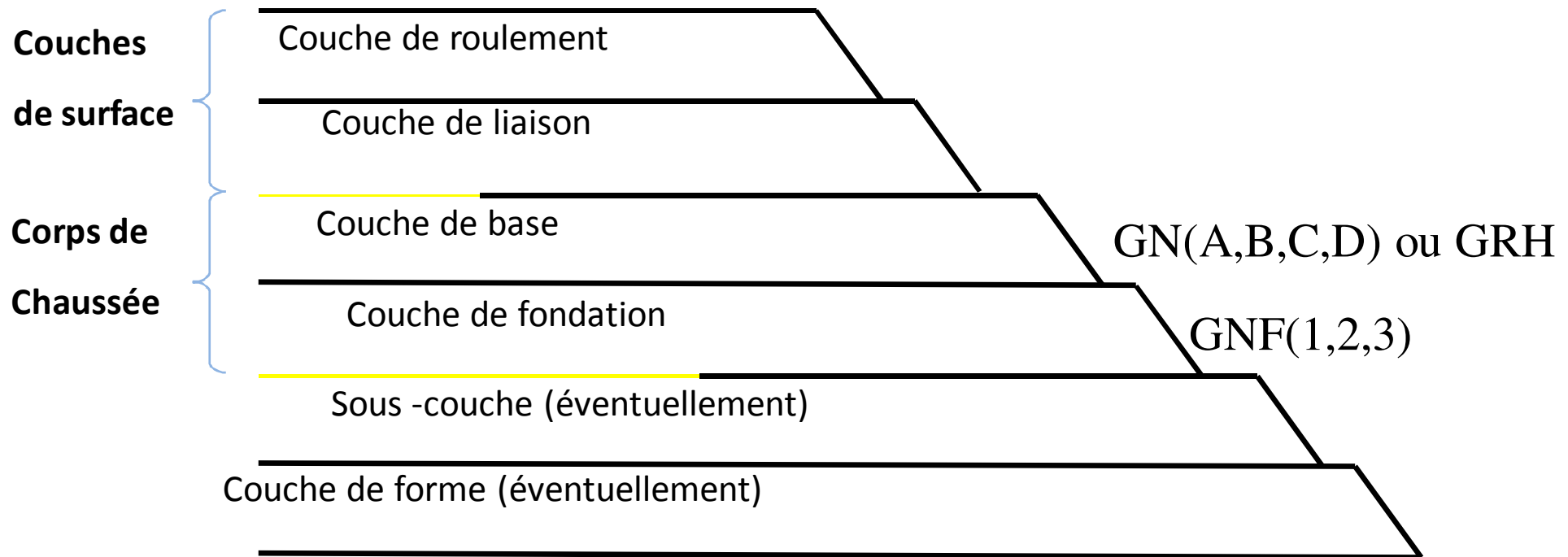
résistance mécanique à la chaussée

répartissant les pressions sur la plate-forme support

Pour les chaussées à faible trafic, le rôle de la couche de fondation peut être assuré par un traitement du sol support.



# Matériaux utilisés dans les assises



GRH : grave recomposée humidifiée



# Stabilité des assises non traitées

La stabilité est donnée par l'angle de frottement interne du matériau qui est intimement lié à :

la granularité

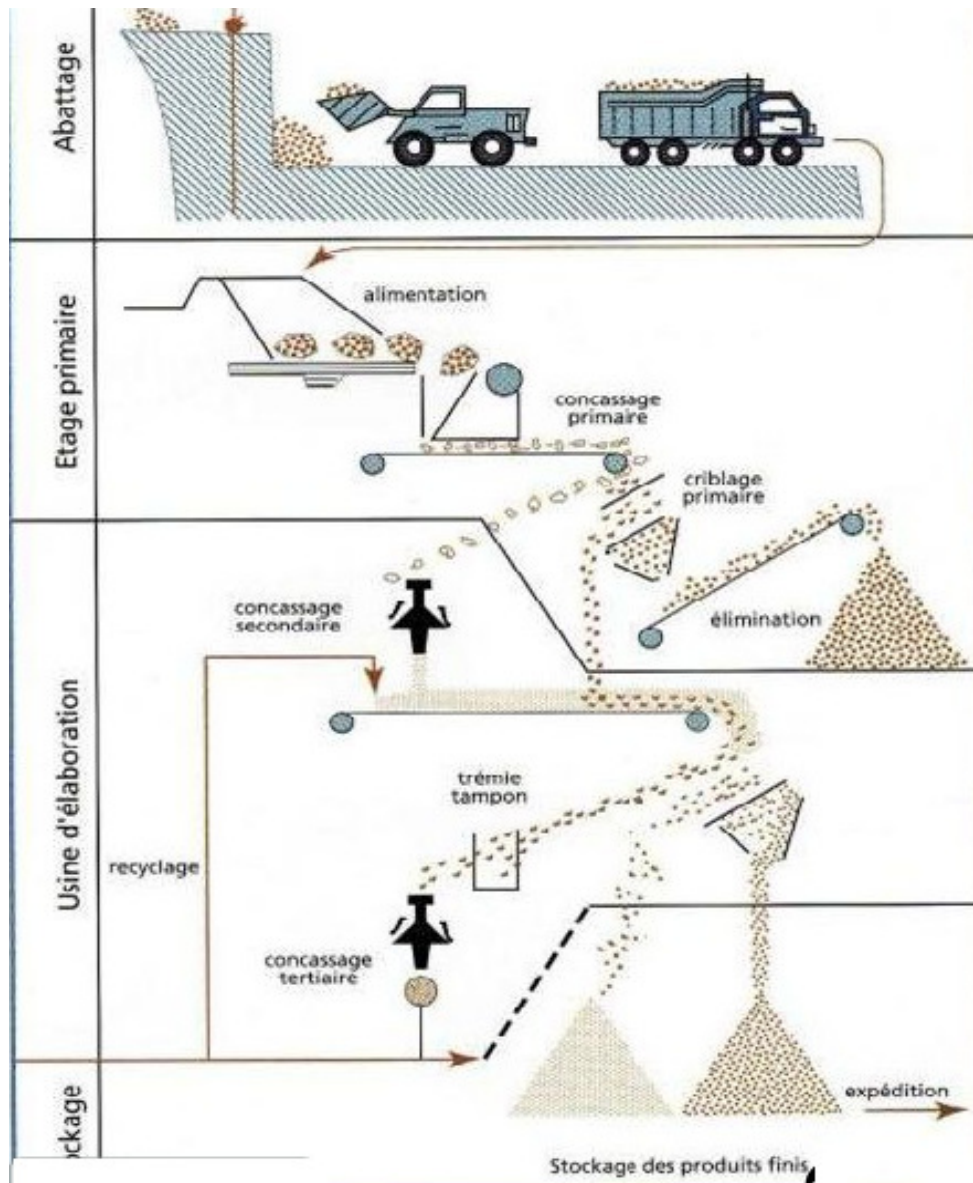
l'angularité et forme (I.C)

La propreté

La dureté

L'IP....

# Phases de préparation des matériaux utilisés dans les assises



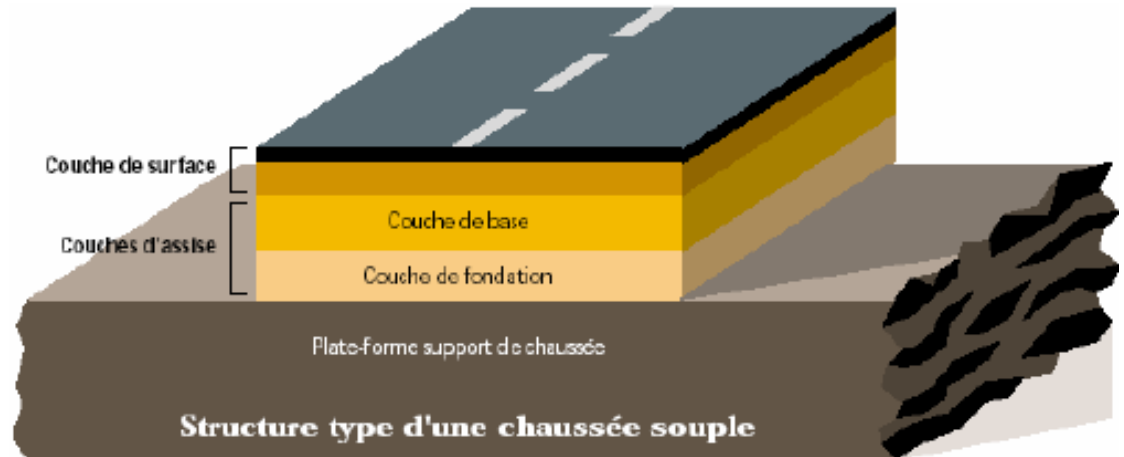
Du front de taille en carrière ou de la ballastière jusqu'à l'expédition vers l'utilisateur, les roches vont subir plusieurs opérations:

- Extraction
- Transport
- Réduction volumétrique ou concassage\*
- Criblage
- Lavage ou débouillage\*
- Recomposition\*
- Stockage
- Chargement

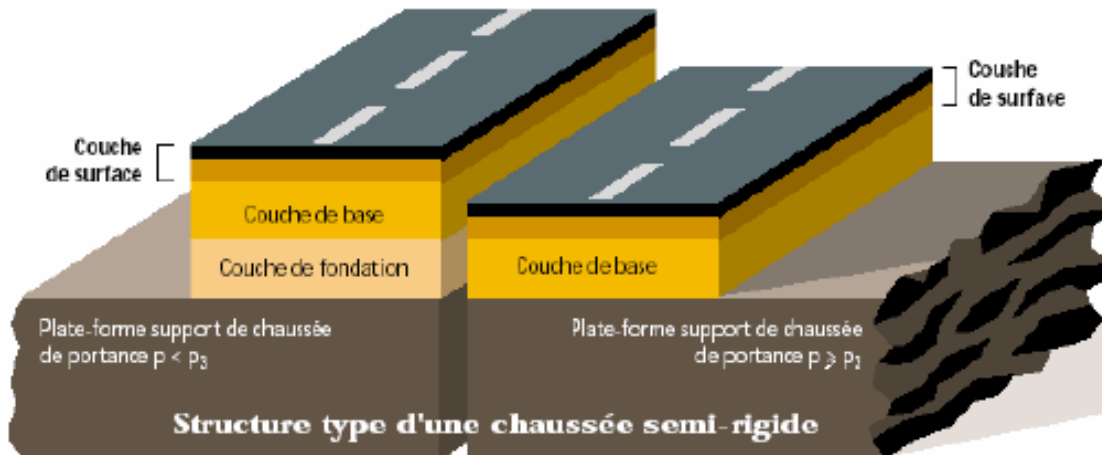
\* opérations optionnelles selon le type de produit

# Les assises et couches de roulement

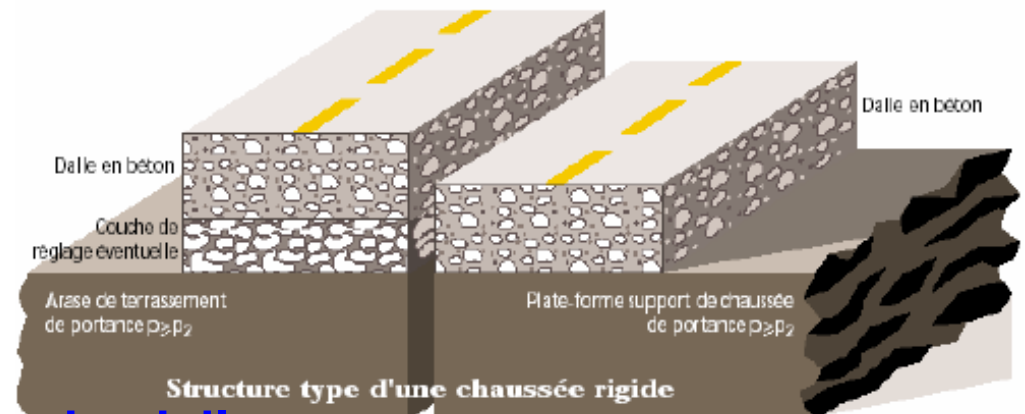
Chaussée souple



Chaussée semi-rigide



Chaussée rigide



# Abréviations des GNT couches d'assise

<b>Abréviation</b>	<b>Désignation</b>
<b>GNR</b>	<b>Grave non traitée recomposée</b>
<b>GNA</b>	<b>Grave non traitée type A</b>
<b>GNB</b>	<b>Grave non traitée type B</b>
<b>GNF1 ou 2 ou 3</b>	<b>Grave non traitée type F</b>
<b>GNC</b>	<b>Grave non traitée type C</b>
<b>GND</b>	<b>Grave non traitée type D</b>

## Abréviations d'autres couches

<b>Abréviation</b>	<b>Désignation</b>
<b>MS</b>	<b>Matériaux sélectionnes</b>
<b>Sc</b>	<b>Matériaux pour sous couche</b>
<b>AC</b>	<b>Matériaux anti contaminant</b>
<b>MD</b>	<b>Matériaux drainant</b>

# Essai Los Angeles

## Domaine d'application

Gravillons pour chaussées et bétons hydrauliques.  
Détermination de la résistance aux chocs.

La mesure est destinée à évaluer l'aptitude des granulats à se fragmenter sous l'action du trafic



## Mode opératoire

Un échantillon de fraction 10/14 mm et de masse sèche égale à  $5\,000\text{g} \pm 5\text{ g}$  ( $M_0$ ) est placé dans un tambour contenant 11 boulets d'acier.

Au cours de l'essai, le tambour effectue 500 tours à une vitesse de rotation comprise entre 31 et 33 tours/min.

La friction des granulats entre eux et des granulats contre les boulets et les parois du tambour provoque leur dégradation plus ou moins accrue.

Le coefficient Los Angeles (LA) est un pourcentage en masse du rapport des éléments passant au tamis de 1,6 mm séchés après lavage ( $M_1$ ) et la masse sèche initiale des granulats intacts.

$$LA = 100 * ( M_0 - M_1 ) / ( M_0 )$$

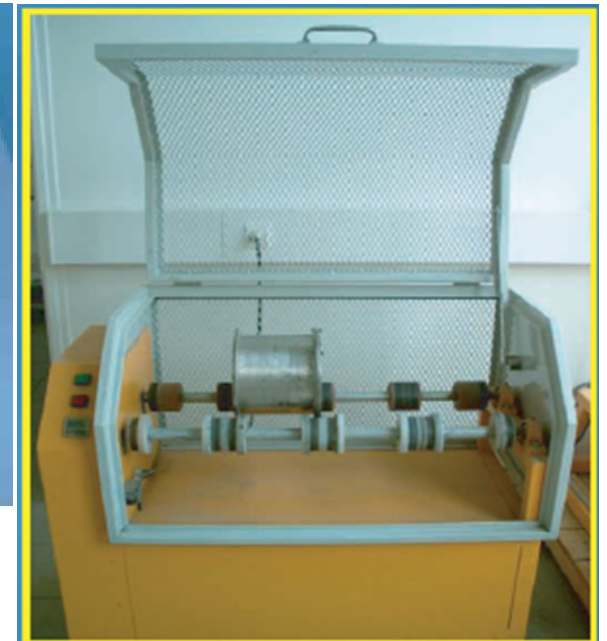
# Dureté MDE

MDE permet de quantifier à la fois l'usure par frottement réciproque des granulats dans une assise (attrition), et l'usure par frottement des pneumatiques sur les gravillons à la surface du revêtement.

## Principe

Quatre échantillons identiques, de fraction 10/14 mm, sont soumis à un cycle d'usure, en présence d'eau, par contact avec des billes d'acier à l'intérieur d'un cylindre en rotation.

Le degré d'usure est apprécié par détermination de proportion d'éléments fins, inférieurs à 1.6 mm générée au cours de l'essai.



Appareil MDE



Tambour avec billes en acier

## Méthode d'essais

- 1) Prise d'essai de 500 g lavée et séchée.
- 2) Mise en place dans un tambour avec 5 kg de billes métalliques calibrées et 2.5 litres d'eau.
- 3) Appliquer une rotation de 12 000 tours au tambour à la vitesse de 100 tours/minute.
- 4) Retirer alors la prise d'essai, pour lavage au-dessus d'un tamis de 1.6 mm.
- 5) Peser le refus à ce tamis après séchage (M, exprimé en g).

$$MDE = (500 - M) / 5$$

Le coefficient MDE est la moyenne de deux déterminations (1 détermination = essai sur 2 échantillons 10/14mm de même nature).

# Résistance au polissage

Les gravillons situés à la surface de chaussée doivent présenter des arêtes vives et des faces râpeuses pour lutter contre la glissance.

Pour maintenir cette capacité il faut bien entendu qu'ils conservent dans le temps ces arêtes qui ont tendance à disparaître par polissage.

On utilise une roue supportant des plaques sur laquelle sont collés les granulats à tester, et on la fait froter contre une autre roue à bandage de caoutchouc en présence d'eau et d'abrasifs.

# Coefficient de polissage accéléré (CPA)

Après un certain nombre de rotation, on mesure à l'aide d'un pendule la perte de rugosité à la surface des plaque et l'on en tire le CPA qui donne son nom à l'essai



# Valeurs repères

CPA	Appréciation
$> 0,55$	Excellent
0,50 à 0,55	Bon à très bon
0,45 à 0,49	Médiocre à passable
$< 0,45$	Interdit

# Abréviations des caractéristiques

<b>Abréviation</b>	<b>Désignation</b>
<b>LA</b>	<b>Dureté Los Angelès</b>
<b>MDE</b>	<b>Coefficient Micro Deval en présence d'eau</b>
<b>FS</b>	<b>Coefficient de friabilité du sable</b>
<b>ES 10%</b>	<b>Equivalent de sable ( fraction 0/2 ) à 10% de fines</b>
<b>ESV</b>	<b>Equivalent de sable visuel ( fraction 0/5 )</b>
<b>IP</b>	<b>Indice de pasticité</b>
<b>Pp</b>	<b>Pourcentage de passant à 1 mm par lavage</b>
<b>CPA</b>	<b>Coefficient de polissage accéléré</b>
<b>IC</b>	<b>Indice de concassage</b>
<b>RC</b>	<b>Rapport de concassage</b>
<b>VB</b>	<b>Valeur au bleu</b>
<b>S</b>	<b>Surface spécifique du granulat en m<sup>2</sup>/kg</b>

# Caractéristiques des Matériaux pour couches d'assise

# GNT :R, A , B

MATERIAUX	DESIGNATION	CLASSE	GRANULARITE													
			% Passant au tamis de (mm)													
			80	60	40	31,5	30	20	10	6,3	5	2	1	0,5	0,2	0,08
Grave non traitée récompensée	GNR					100	85		56		38	23	16	11	7	4
							à		à		à	à	à	à	à	à
						100		84		66	46	34	24	14	8	
Grave non traitée type A et B	GNA et GNB	0/31,5			100	85		68	43	35		22				4
						à		à	à	à		à			à	
						100		100	78	64		43				11
Grave non traitée type A et B	ballastière	0/20						100		44		25				6
									à		à				à	
									65		42					10
Fréquences des essais	Essais d'agrément sur 300 m <sup>3</sup> ou sur une production journalière/catégorie et/provenance	0/31,5			100	85		62	35	25		14				2
						à		à	à	à		à			à	
						100		90	62	50		34				10
Essais de recette	roche massive	0/20				100		85	47	35		18				2
								à	à	à		à			à	
								100	77	60		38				10
Fréquences des essais	Essais de recette		5 essais													
			les résultats des essais d'agrément de la grave non traitée à la granulométrie sont considérés concluants si au moins 3 courbes granulaires sur 5 sont inscrites dans le fuseau préconisé.													
			1/1000 m <sup>3</sup>													

# GNT :R, A , B

MATERIAUX	DESIGNATION	DURETE*	PROPRETE	ANGULARITE	C.A	COMPACITE
Grave non traitée récompensée	GNR	-LA <25 MDE <20	-IP non mesurable -ES(0/2)>50 Sinon VB<1	IC >100%	<30	98% OPM
	GNA	LA<30 MDE<25 (non applicable en zone d)	ES (0/5)>30 ou ES (0/2)>45 sinon VB<1,5	IC>100% (ballastière)		98% OPM
Grave non traitée type A et B	ballastière					
	GNB roche massive	LA<30 MDE<25 (non applicable en zone d)	ES (0/5)>30 ou ES (0/2)>45 sinon VB<1,5	IC>35% (ballastière)		98% OPM
Fréquences des essais	Essais d'agrément sur 300 m <sup>3</sup> ou sur une production journalière/catégori e et/provenance	LA: 2 essais MDE: 2 essais	IP:5 essais ES:5 essais VB:5 essais	1 essai valable unique ment pour les ballastières	5 essais	
		Essais de recette	LA :1/5000 m <sup>3</sup> MDE:1/5000 m <sup>3</sup>	IP:1/1000 m <sup>3</sup> ES:1/1000 m <sup>3</sup> VB:1/1000 m <sup>3</sup>	1/5000 m <sup>3</sup>	1/1000 m <sup>3</sup>

(\*) Une compensation entre LA et MDE est autorisée dans la limite de 5 points

# GNT :C, D, F

MATERIAUX	DESIGNATION	CLASSE	GRANULARITE												
			% Passant au tamis de (mm)												
			80	60	40	31,5	30	20	10	6,3	5	2	1	0,5	0,2
Grave non traitée type C	GNC	0/31,5			100			52	35	25		13			2
								à	à	à		à			à
Grave non traitée type D	GND	0/20		100	80			57	30			10			2
					à			à	à			à			à
Grave non traitée pour couche de fondation	GNF1	0/60		100	89			69	59	53		40			10
					à			à	à	à		à			à
Grave non traitée pour couche de fondation	GNF2	0/60	100		58			40	31	26		18			2
				100	100			90	70	64		48			14
Grave non traitée pour couche de fondation	GNF3	0/40						à	à	à		à			à
								60	40	33		20			2
Grave non traitée pour couche de fondation	GNF2 et GNF3	0/60		100	89			69	59	53		40			10
					à	à		à	à	à		à			à
Grave non traitée pour couche de fondation	GNF3	0/40	100	80	55			32	25	17		7			2
					100			90	70	64		48			14
Fréquences des essais	Essais d'agrément **	5 essais	les résultats des essais d'agrément de la grave non traitée à la granulométrie sont considérés concluants si au moins 3 courbes granulaires sur 5 sont inscrites dans le fuseau préconisé.												
			Essais de recette	1/1000 m <sup>3</sup>											

(\*\*) Essais d'agrément sur 300 m<sup>3</sup> ou sur une production journalière catégorisée et provenance

# GNT :C, D, F

MATERIAUX	DESIGNATION	DURETE*	PROPRETE	ANGULARITE	C.A	COMPACITE
Grave non traitée type C	GNC	LA<35 MDE<30	IP<6: zones H,h sinon VB<1,5	IC>30% (ballastière)		
Grave non traitée type D	GND	LA<40 MDE<35 (!)	IP<6: zones H,h sinon VB<1,5	IC>30% (ballastière)		
Grave non traitée pour couche de fondation	GNF1	LA<30 MDE<25 (!)	IP<6 sinon VB<1,5 (zones H, h, a) -IP<8 ou VB<2(d)	IC>60 (ballastière)		95% OPM
	GNF2	LA<40 MDE<35 (!)	-IP<8 ou VB<1 (zone H, h, a)	IC>30 (ballastière)		95% OPM
	et GNF3	LA<50 MDE<45 (!)	-IP<8 ou VB<2 (zone H, h, a) -IP<12 (d)	IC sans condition		
Fréquences des essais	Essais d'agrément **	LA:2 essais MDE:2 essais	IP:5 essais ES:5 essais VB:5 essais	1 essai valable unique ment pour les ballastières	5 essais	
	Essais de recette	LA :1/5000 m <sup>3</sup> MDE:1/5000 m <sup>3</sup>	IP:1/1000 m <sup>3</sup> ES:1/1000 m <sup>3</sup> VB:1/1000 m <sup>3</sup>	1/5000 m <sup>3</sup>	1/1000 m <sup>3</sup>	1/200ML par couche

(\*) Une compensation entre LA et MDE est autorisée dans la limite de 5 points

(!) en zone d, le MDE n'est pas pris en compte

(\*\*) Essais d'agrément sur 300 m<sup>3</sup> ou sur une production journalière/catégorie et/provenance

# MS:1, 2 , 3

MATERIAUX	DESIGNATION	CLASSE	GRANULARITE				
			% passant au tamis de mm				
			50	40	10	5	0,08
Matériaux pour accotements (note technique DRCR/DT en 1990)	MS1						
		0/50	100	100	70	20	
				à	à	à	
				50	15	4 (2)*	
	MS2						
		0/50	100	100	100	75	50
				à	à	à	à
				50	35	15	2
	MS3			D max < à 50 mm			
		0/50		Sols de la classification			
				LPCsauf : Gm; Sm; SmSa; SmSl.			
		Essais d'agrément sur 300m <sup>3</sup> ou production journalière/catégorie et/provenance		5 essais			
Fréquences des essais			les résultats des essais d'agrément à la granulométrie sont considérés concluants si au moins 3 courbes granulaires sur 5 sont inscrites dans le fuseau préconisé.				
	Essais de recette		1/1000 m <sup>3</sup>				
			1/100m <sup>3</sup> pour MD				

# MS:1, 2 , 3

MATERIAUX	DESIGNATION	DURETE	PROPRETE	ANGULARITE f <sub>x</sub> IP(*)				COMPACITE
				Zone	IC >100	IC >30	Roulé	
Matériaux pour accotements (note technique DRCR/DT en 1990)	MS1	LA<50	6≤IP≤20	H,h	<225	<200	<175	95% OPM
		Pas de critères de dureté si la CaCo3>70%	pas de critère de propreté si CaCo3≥70%	a	<250	<225	<200	
				d	<300	<275	<250	
	MS2	LA<60	-IP≤12 (H,h)					95% OPM
		Pas de critères de dureté si CaCo3>70%	-IP≤15 (a) -IP≤20 (d) pas de critère de propreté si CaCo3≥70%					
	MS3	LA non défini	-IP≤15 (H,h) -IP≤20 (a) -IP≤25 (b)					95% OPM
	Fréquences des essais	Essais d'agrément (!)	LA: 2 essais	IP: 5 essais CaCO3: 1 essai	IC: 1 essai			
Essais de recette		LA :1/5000 m <sup>3</sup>	IP:1/1000 m <sup>3</sup> CaCO3:1/5000m <sup>3</sup> IP:1/100 pour MD	IC:1/5000 m <sup>3</sup>				1/200 ml/couche

(\*) Avec f = % d'éléments < 0,08 mm

H: Zone humide; h: Zone semi-humide; a: Zone aride; d: zone désertique

(!) Essais d'agrément sur 300 m<sup>3</sup> ou production journalière/catégorie et/provenance

# Matériaux Sous accotement :

## SC, AC , MD

MATERIAUX	DESIGNATION	CLASSE	GRANULARITE				
			% passant au tamis de (mm)				
			50	40	10	5	0,08
Matériaux pour sous couche pour accotements	SC	sol S3	Dmax < 1/3 épaisseur de la couche				
Couche anti-contaminante pour accotement	AC	d15 ≤ 4,5d85 du sol de la plateforme (!) Matériaux convenant: SL; GL; SA et GA (classes LPC) avec Dmax < 1/3 épaisseur de la couche					
Matériaux drainant pour accotement	MD	0/D avec: d15 du matériau filtre ≥ 4,5d15 du sol drainé ou grave avec passant à 0,08 < 5% et passant à 2 mm < 10 (matériaux convenants: Gb ; Gm de la classification LPC) d/D avec : d ≥ 5 mm protégé par un géotextile d'un poids minimum de 200 g/m2					
Fréquences des essais	Essais d'agrément	5 essais					
	sur 300 m <sup>3</sup> ou production journalière/catégorie et/provenance	les résultats des essais d'agrément à la granulométrie sont considérées concluants si au moins 3 courbes granulaire sur 5 sont inscrites dans le fuseau préconisé.					
	Essais de recette	1/1000 m <sup>3</sup>					
		1/100m <sup>3</sup> pour MD					

(\*) La valeur entre paranthèse s'applique aux matériaux concassés

(!) d15: tamis à travers passe 15% des éléments

d85: tamis à travers duquel passe 85% des éléments

# Matériaux Sous accotement :

## SC, AC , MD

MATERIAUX	DESIGNATION	DURETE	PROPRETE	ANGULARITE	COMPACITE
Matériaux pour sous couche pour accotements	SC		IP < 20 si f>35%		95% OPM
Couche anti-contaminante pour accotement	AC		IP < 20		
Matériau drainant pour accotement	MD				
Fréquences des essais	Essais d'agrément sur 300 m <sup>3</sup> ou production journalière/catégorie et/provenance	LA:2 essais	IP:5 essais CaCO3:1essai	IC:1 essai	
	Essais de recette	LA :1/5000 m <sup>3</sup>	IP:1/1000 m <sup>3</sup> CaCO3:1/5000m <sup>3</sup> IP:1/100 pour MD	IC:1/5000 m <sup>3</sup>	1/200 ml/couche

# Caractéristiques des Matériaux pour couches de roulement

# Les liants hydrocarbonés

- Définition:
- Liant organique constitué d'hydrocarbures à base de Carbone et d'hydrogène
- Ajout en faible quantité de:
  - Oxygène
  - Azote

## Origine des liants hydrocarbonés

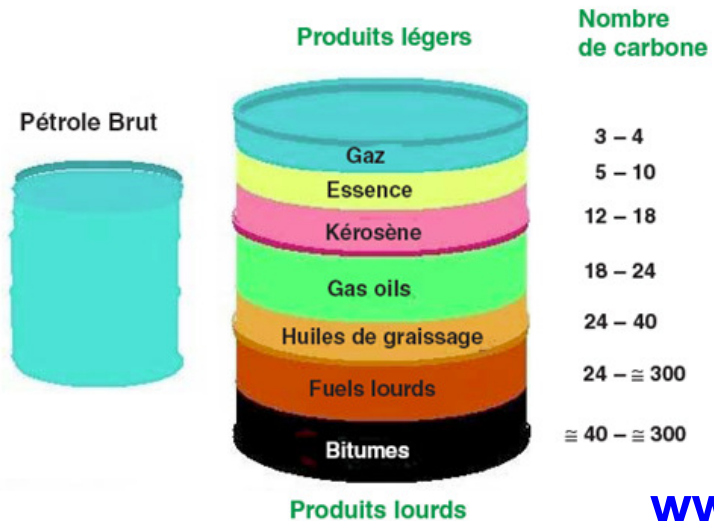
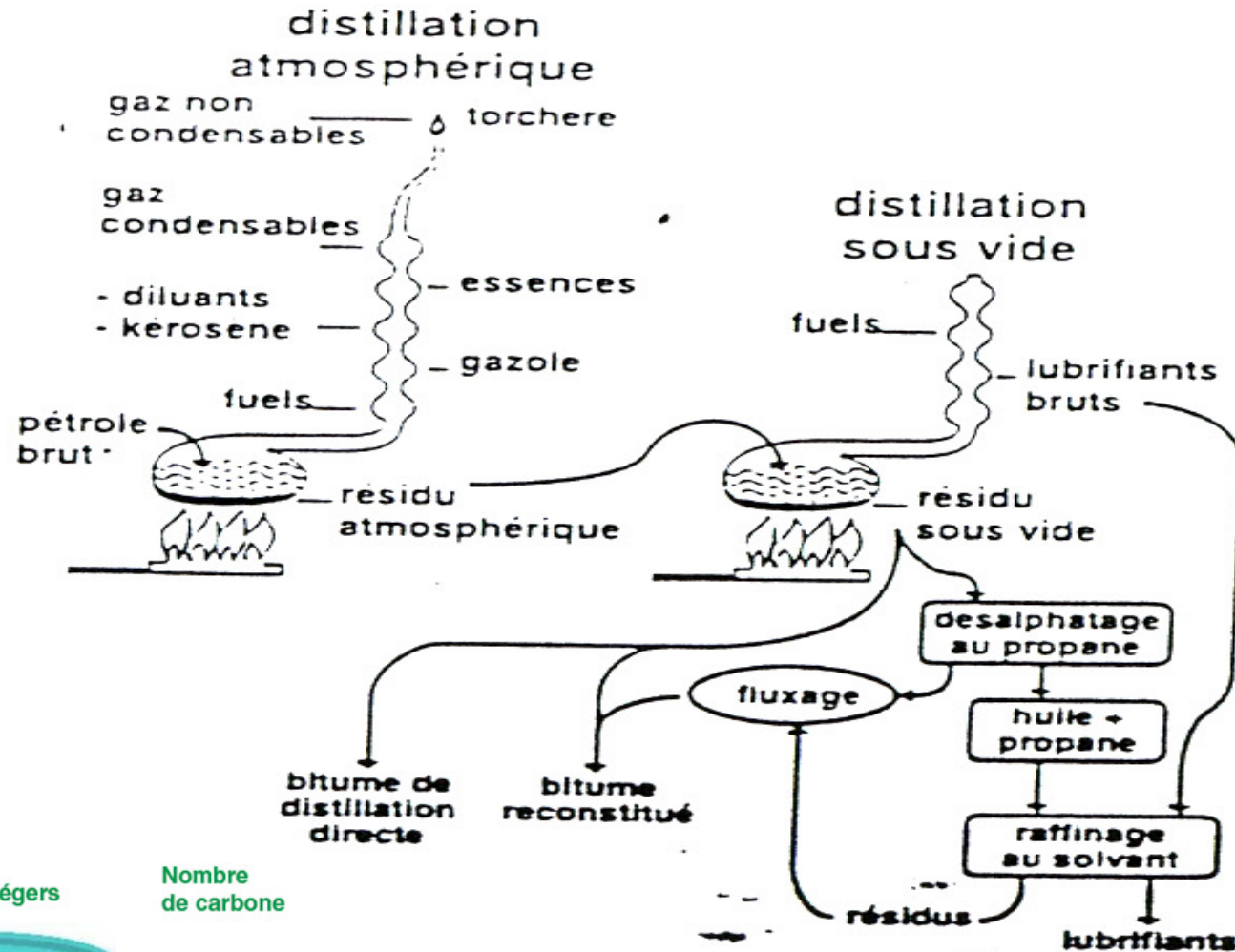


les goudrons : des produits qui dérivent de la houille (végétale),

les bitumes : des produits qui dérivent du raffinage du pétrole brut

l'asphalte : des matériaux naturels rigides (roche)

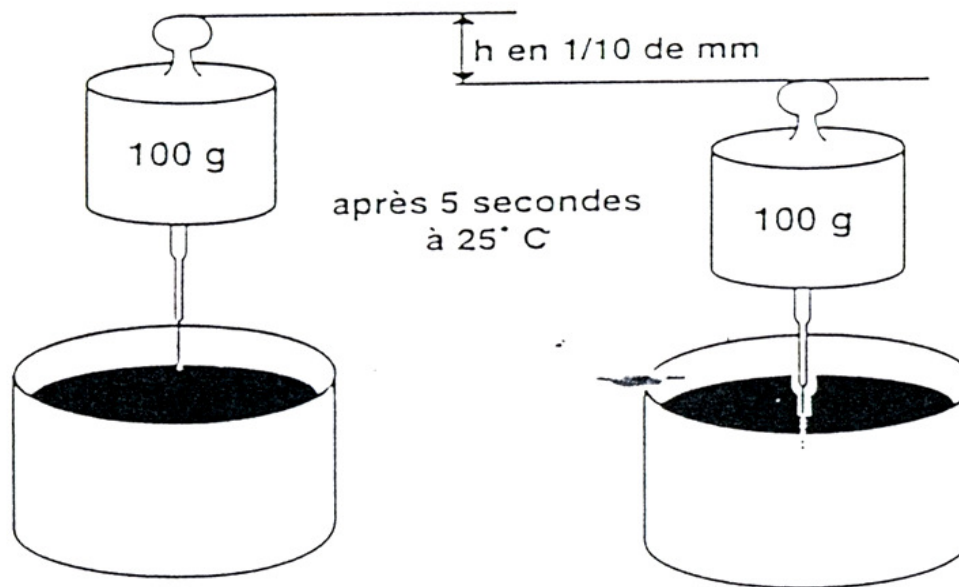
# Fabrication des bitumes



# Caractéristiques des bitumes purs

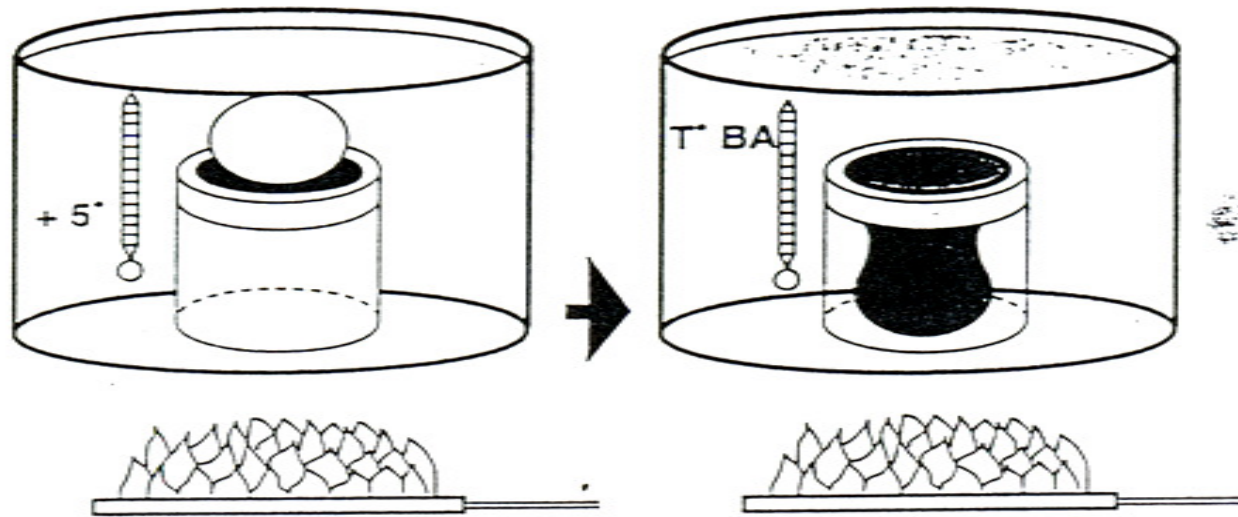
## 1- Pénétrabilité à 25 °C

L'essai consiste à mesurer l'enfoncement en dixième de mm d'une aiguille normalisée chargée à 100g dans un godet de bitume placé dans un bain thermostaté à 25 °C pendant 5s.



Bitume 20/30: l'enfoncement de l'aiguille doit être compris entre 2 et 3 mm

## 2- Température bille et anneau TBA



L'essai consiste à mesurer la température à laquelle une bille s'enfonce à travers le bitume remplissant le cercle intérieur d'un anneau de laiton placé dans un bain thermostaté. On monte progressivement la température jusqu'au point où la bille passe à travers l'anneau.

# Catégories des bitumes

Consistance	Dur ← Mou →				
	Appellation	20/30	40/50	60/70	80/100
Pen <sub>25</sub> °C	20 à 30	35 à 50	50 à 70	70 à 100	180 à 220
TBA °C	55 à 63	50 à 56	45 à 51	42 à 48	34 à 43

## Autres essais sur les bitumes

Le point de Frass: Il s'agit de la température de fragilité, on dépose un film de bitume d'une épaisseur normalisée sur une petite lamelle d'acier on plie la lamelle à température décroissante jusqu'à rupture du film. Sur des bitume purs et neufs le point de Frass varie entre 20°C et 0°C.

# Les bitumes fluidifiés ou Cut-Backs

## Définition

Les bitumes fluidifiés sont des liants à base du bitume pur et de solvants pétroliers (Kérosène).

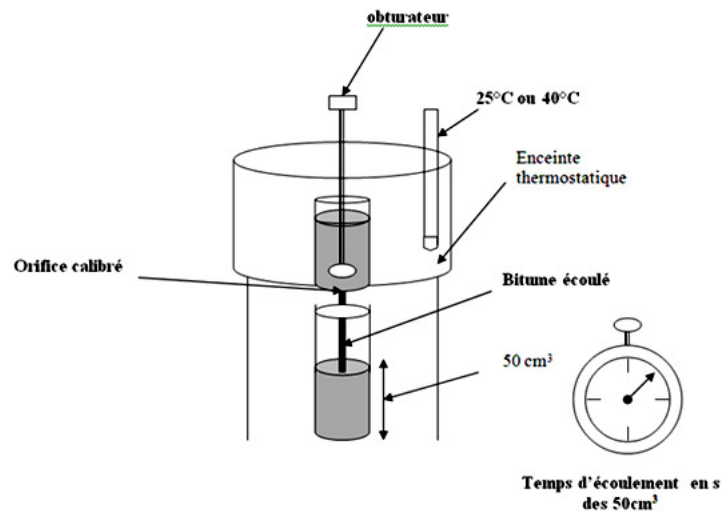
## Caractéristique

Ils sont beaucoup moins visqueux que les bitumes purs et leur viscosité est donnée par le temps d'écoulement en secondes d'une quantité de 200 cm<sup>3</sup> à travers un orifice de 10 mm de diamètre à la température de 25°C (essai normalisé).

Ainsi le CB 400/600 met au moins 400 secondes et au plus 600 secondes à s'écouler. Or on remarque que le cut-back est d'autant plus visqueux que le temps d'écoulement est élevé. La viscosité est fonction du poids du bitume pur entrant dans sa constitution (voir tableau).

# Essai de pseudo viscosité

## Tableau



Viscosité du CB 10 mm 25°	% bitume 80/100 (en poids)	% solvant (en poids)	Observations
0/1	64	36	très fluide
10/15	76,5 - 78,5	23,5 - 21,5	semi-fluide
150/250	86,1 - 87,5	13,9 - 12,5	semi-visqueux
400/600	89 - 89,5	11 - 10,5	visqueux
800/1400	90,0 90,8	10 - 9,2	visqueux

Liant 10/15 temps d'écoulement compris entre 10 et 15 seconde

La fluidification des bitumes améliore les transferts des liants, leur répendage, et le pouvoir mouillant du film. Lors de la mise en œuvre le liant ayant une viscosité faible permet un meilleur recouvrement de la surface des granulats.

Les huiles ayant servi de solvants, s'évaporent laissant sur place le bitume pur de base. Le temps que durent l'évaporation et le phénomène de densification du liant varie d'un cut back à un autre.

# Emulsions de bitumes

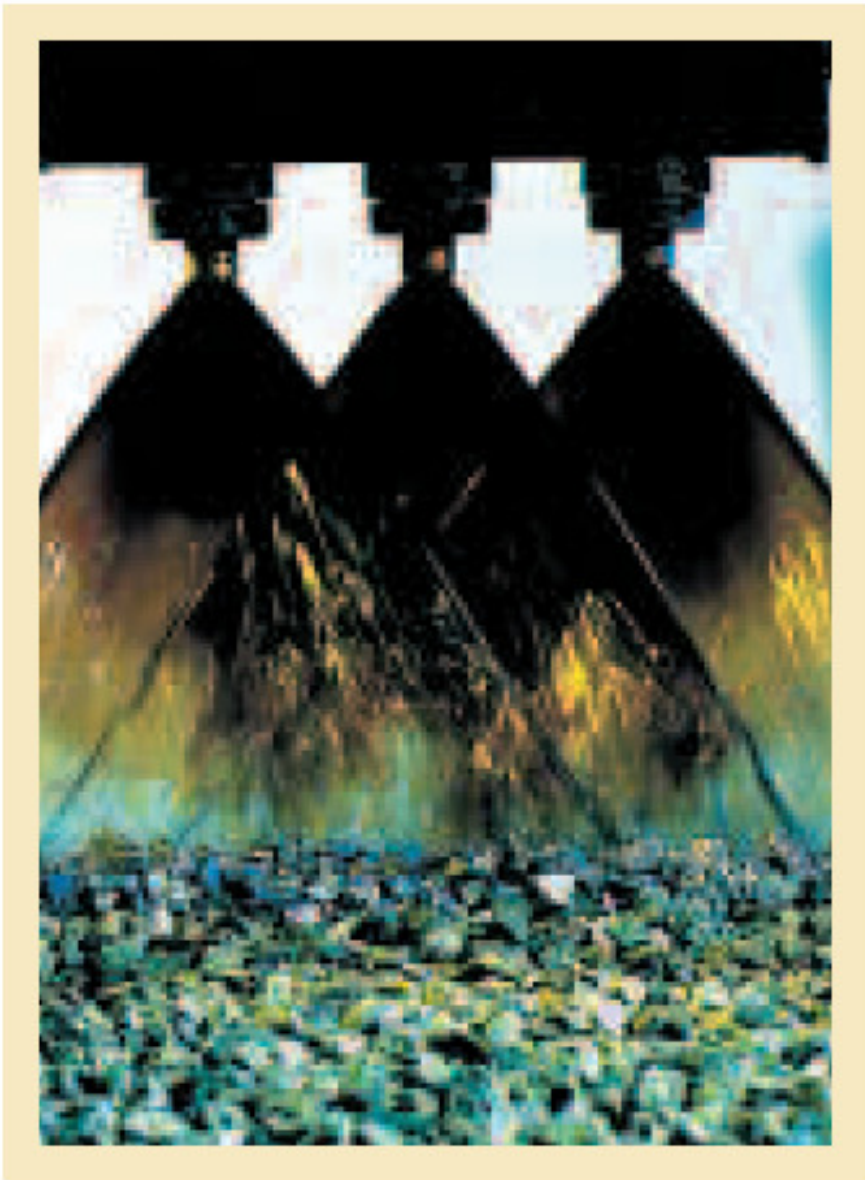
Une émulsion est une dispersion d'un liquide dans un autre non miscible obtenue généralement au moyen d'un produit appelé émulsifiant.

L'émulsion de bitume est la dispersion de ce dernier dans l'eau à l'aide d'un émulsifiant ayant des affinités avec le bitume de base et l'eau.

Le bitume est fractionné en globules dans l'eau contenant l'émulsifiant qui tapissera la surface de chaque sphère créant entre elles une répulsion électrostatique.

On classe les émulsions suivant leur concentration en bitume qui peut varier de 60 à 70%. Donc dans une tonne de produit on a au moins 30% d'eau qui après mise en œuvre doit disparaître. Ce qui fait que nous transportons « inutilement » au moins le 1/3 du liant, chose qui affecte le prix de revient .

## Répondage de l'émulsion



On distingue deux familles d'émulsion selon la nature chimique de l'émulsifiant:

- Les émulsions anioniques
- Les émulsions cationiques

Pour la première famille, (historiquement la première découverte), l'émulsion est une base. Elle n'est pas très utilisée en technique d'enduisage.

Par contre la deuxième (obtenue avec amine et acide) est la plus utilisée. En effet le caractère acide confère au liant une meilleure adhésivité.

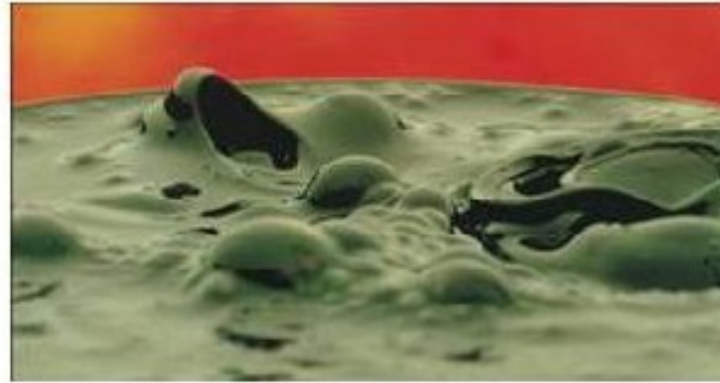
# Les dopes d'adhésivité

Les dopes sont des produits qui favorisent le mouillage des surfaces de granulats par le liant (secs ou humides) et contribuent à s'opposer à la rupture de la liaison – granulats par l'eau.

Ils sont à base de produits chimiques fabriqués à partir d'acide gras comme les amines (d'où la meilleure mouillabilité des granulats par les émulsions).

# Les liants hydrocarbonés

- Bitumes de différentes origines et duretés, purs ou modifiés.
- Utilisation sous différentes : à chaud , à froid , en émulsion.



# Enduits Superficiels

(Revêtements Superficiels)

# Les enduits superficiels

- Définition:
- C'est le répandage d'une ou plusieurs couches de liants hydrocarbonés, pour empêcher les infiltrations d'eau dans le corps de chaussée, et coller une ou plusieurs couches de gravillons destinés à donner une bonne rugosité à la surface de roulement.



# Les granulats

Ils doivent supporter seuls les contraintes verticales du trafic. Pour cette raison on n'utilise que les gravillons de bonne ou très bonne qualité

## 1- Coupures granulométriques:

Les granulats pour enduits superficiels seront des gravillons raffinés de concassage ayant les dimensions suivantes (en millimètres de maille de tamis) :

d	D
4	6,3
6,3	10
10	14

Les conditions de refus à D et de tamisât à d doivent être inférieures à 15% et le refus sur le tamis de maille  $1,58 D$  doit être nul.

# Les liants

Les liants hydrocarbonés seront de l'une des classes suivantes :

## Pour les enduits superficiels

- \* bitume fluidifié : 400/600 - 800/1400
- \* émulsion cationique à 65% ou 69% de bitume

## Pour les imprégnations

- \* bitume fluidifié 0/1 - 10/15

## Pour les enduits d'accrochage et de scellement

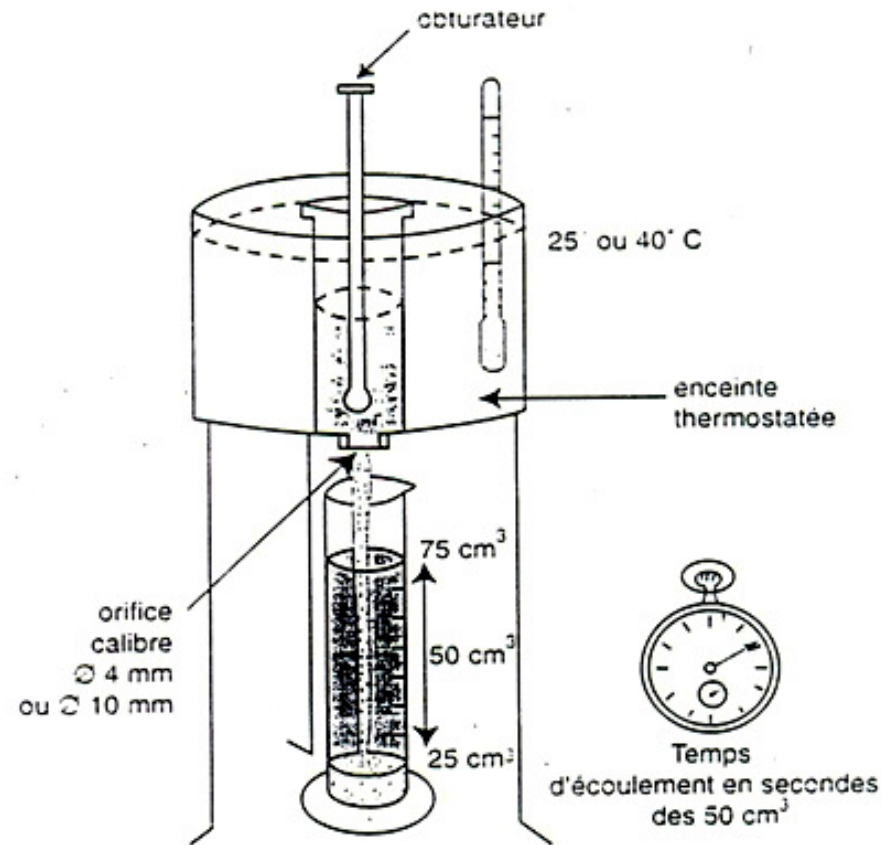
- \* émulsion cationique à 55,56 ou 69% de bitume

Les liants utilisés sont des liants obtenus à partir de bitume pur sont trop mou pour être caractérisés par l'essai de pénétrabilité.

On les classe à partir d'une mesure de pseudo-viscosité traduite par le temps d'écoulement d'une certaine quantité de produit 50cm<sup>3</sup> à travers un orifice de diamètre normalisé 4 ou 10mm et à une température donnée 25 ou 40°C

# Mesure de la Pseudo-viscosité

Des liants anhydres pour enduits superficiels



Liant 10/15 temps d'écoulement compris entre 10 et 15 seconde

# Contrôle des travaux

Désignation Du matériau	Qualité du Matériau à contrôler	Désignation De l'Essai	Fréquence des Essais	
			Essais préliminaires D'information	Essai de recette
- GRANULAT 4/6	Granularité	Granulométrie	Un essai pour chaque classe granulométrique et par provenance	Un essai tous les 500 m <sup>3</sup>
6/10	Propreté	% élément inférieurs à 1mm	" "	" "
10/14	Dureté	Los Angeles (L.A)	" "	" "
	Usure	Coefficient de polissage accéléré(C.P.A)	" "	" "
		Micro Deval en présence d'eau (M.D.E)	" "	" "
	Forme	Coefficient d'aplatissement( C.A)	" "	" "
	Adhésivité	Mode opératoire du LPEE	Un essai par Provenance	néant

# Adhésivité

- ❑ Adhésivité Active: le liant arrive-il à mouiller le granulat en présence d'eau
- ❑ Adhésivité passive: Cette liaison résistera-il à l'action de l'eau qui cherche à prendre la place du liant

## Le dopage

Lorsqu'il s'agit d'un problème entre le granulat et le liant, on a recours à la technique du dopage. Un dope d'adhésivité est un produit chimique de genre de base organique azotée, ou acide gras qui a pour objectif de modifier la tension interfaciale du liant pour favoriser le mouillage de ce dernier par rapport à l'eau.

# Formulation des enduits

On désigne sous ce terme le nombre de couches et la qualité de produit correspondant à chaque couche.

Le liant est caractérisé par son type sa catégorie et son dosage

Les gravillons sont définis par leur fraction granulométrique et leur dosage en L/m<sup>2</sup>

Les structures des enduits superficiels les plus courantes sont les suivantes :

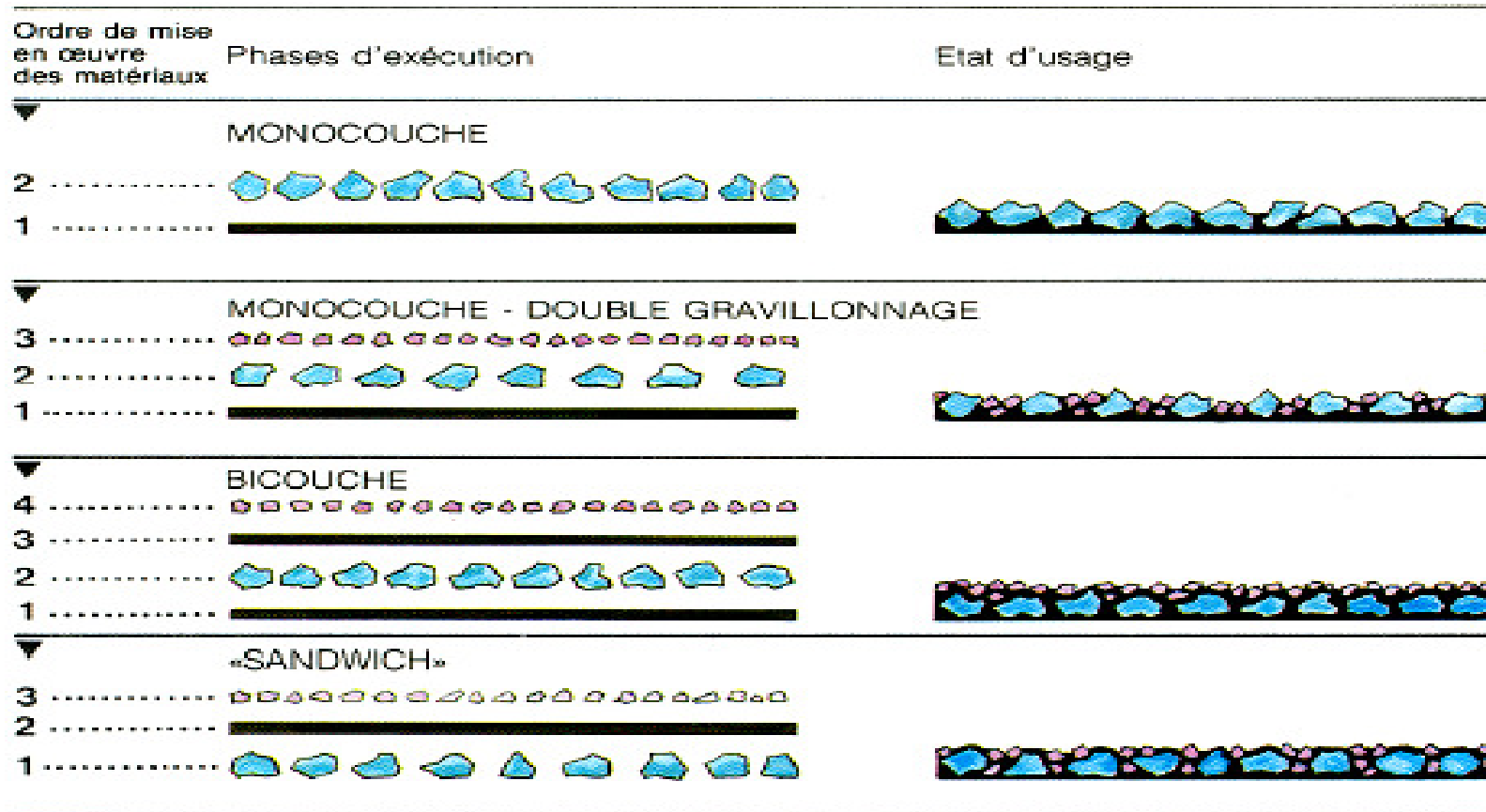
\*Enduits d'imprégnation : une couche de liant suivi éventuellement d'une couche de granulats fins.

\*Enduits monocouches : une couche de liant et une couche de granulats.

\*Enduits monocouches à double gravillonnage : Une couche de liant et deux couches de granulats successives.

\*Enduits bicouches : deux couches de liant et de granulats alternées.

# Différents types d'enduits Superficiels



# Revêtement Superficiel





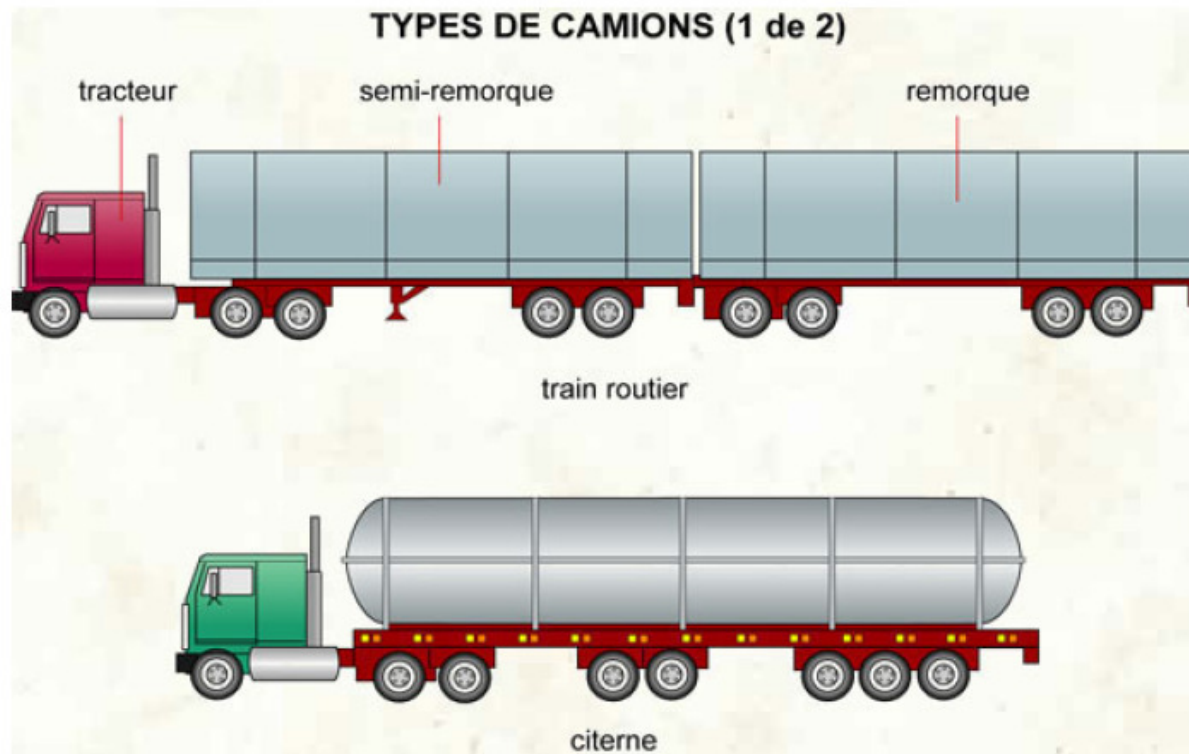
# Chapitre 4

# Trafic routier

Enseignant : ALLA Ahmed    a.allaecole@gmail.com

# Le trafic

Le passage d'un essieu de 13 tonnes a autant d'effet d'endommagement sur la chaussée, que celui d'un million de véhicules de tourisme.



C'est pour cela qu'on dimensionne les chaussée avec le trafic poids lourds

# Trafic routier

C'est l'ensemble des véhicules qui passent dans les 2 sens sur une route l'unité de mesure : Le

TMJA: C'est le nombre de véhicule passé dans les 2 sens durant une année divisé par 365j.

Poids lourd(PL)= C'est un véhicule dont le poids total en charge (PTC) > 3,5 Tonnes

Le % PL = Nombre de poids lourd(PL /J)/TMJA\*100

L'essieu d'un PL : C'est l'axe où il 1à2 roues aux extrémités qui transmet les charges du véhicule vers la chaussée via les roues.

Les essieux de référence : soit 13T soit 8,2 T

# Trafic routier

Les types d'essieux : 1- essieu Simple ou isolé distance entre-axe de l'essieu avec l'essieu voisin  $> 2$  m

2- essieu Tandem 2 essieux voisins dont les entre-axes des 2 essieux  $< 2$  m

3- essieu Tridem 3 essieux voisins dont les entre-axes des 3 essieux  $< 2$  m 2 par 2

L'agressivité d'un essieu : C'est la capacité de provoquer des dégradations à la chaussée

$$A_g/E_0 = K^*(P/E_0)^\alpha$$

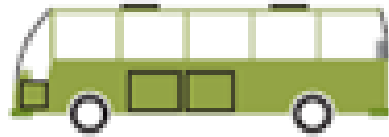
# Effet du passage des PL

L'action répétée des PL sur la chaussée fait apparaître 4 types de dommages:

- 1-Usure superficielle de la couche de roulement due aux efforts tangentiels;
- 2-Formation d'ornières par fluage des couches liées, sous l'effet des contraintes verticales et efforts tangentiels;
- 3-Fatigue des couches, provoquée par leur flexion sous l'effet des charges;
- 4-Accumulation des déformations permanentes au niveau du support ou couches non liées.

# Quelques définitions de l'essieu

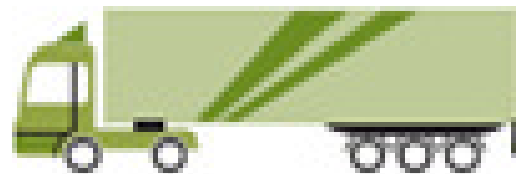
Essieu Simple: Essieu isolé dont l'axe est distant de plus 2 m de l'un quelconque des axes des essieux du véhicule;



Essieu Tandem: C'est un essieu faisant partie d'un groupe de deux essieux dont la distance des axes est inférieure à 2 m;



Essieu Tridem: C'est un essieu faisant partie d'un groupe de trois essieux dont la distance des axes est inférieure à 2 m;



# Agressivité

Définition : l'agressivité d'un essieu est définie par le nombre de passages de l'essieu de référence qui conduit au même endommagement qu'un passage de l'essieu considéré .

$$A_p = K \times \left( \frac{P}{P_0} \right)^\alpha$$

$A_p = 1$  pour un essieu de 13 T = 1

$A_p$  = Agressivité d'un essieu ou d'un assemblage d'essieux de charge P en tonnes

K = configuration de l'essieu (isolé ou simple; tandem ; tridem)

$\alpha$  = Type de la chaussée (souple ; semi-régide; régide)

P = Poids de l'essieu ou de l'assemblage de l'essieu

$P_0$  = Poids de l'essieu de référence de 13 t ou 8,2 t

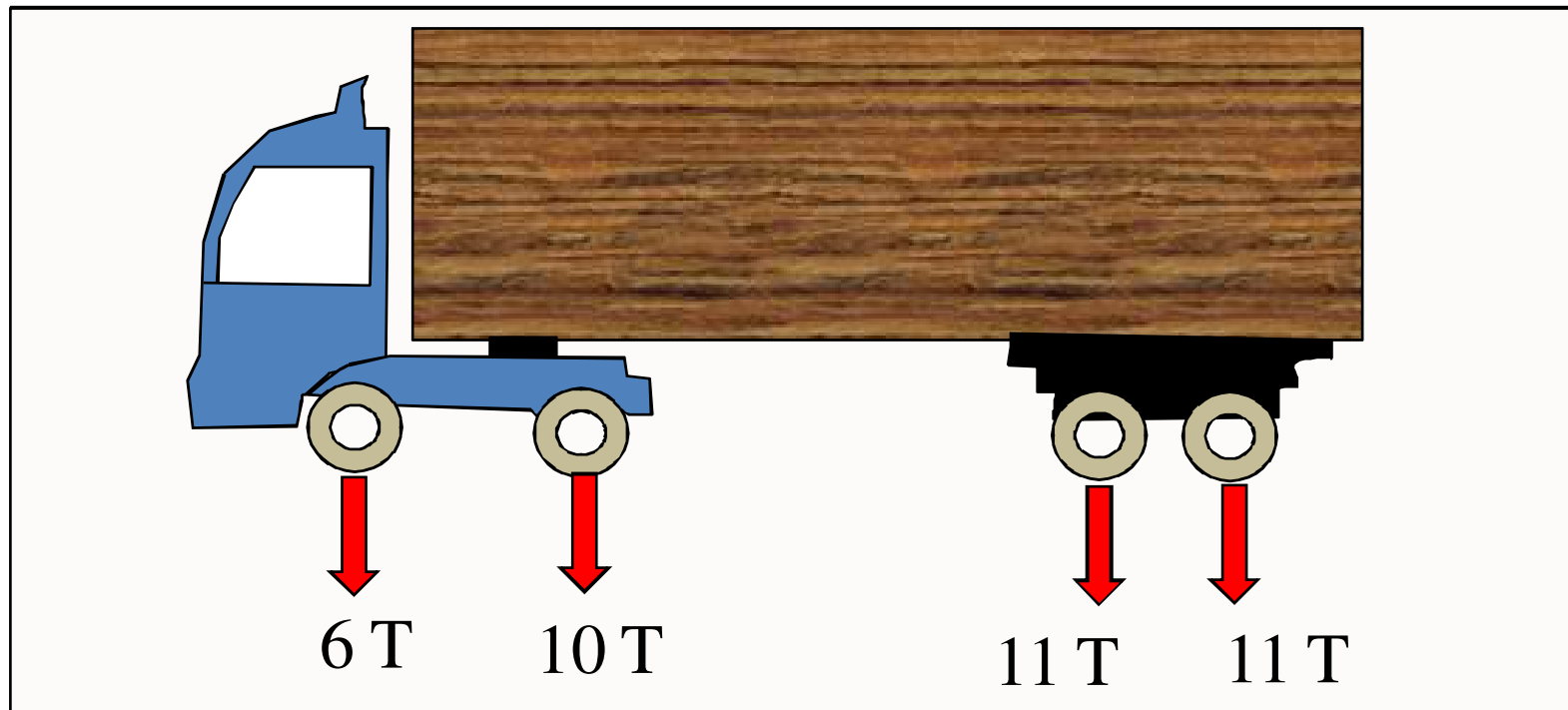
Type de chaussée	$\alpha$	K		
		Isolé	Tandem	Tridem
Souple	4	1	0,75	1,1
Semi-régide	8	1	12	113
Béton	12	1	12	113

Conversion d'une agressivité par rapport à  $E_{13T}$  et par rapport à  $E_{8,2T}$

$$A_{PL/8,2T} = A_{PL/13T} \times \left(\frac{13}{8,2}\right)^4$$

$$A_{PL/13T} = A_{PL/8,2T} \times \left(\frac{8,2}{13}\right)^4$$

Exemple (Agressivité : Semi-remorque sur la Chaussée) souple)



$$A = \left(\frac{6}{13}\right)^4 + \left(\frac{10}{13}\right)^4 + 0,75 \cdot \left[ \left(\frac{11}{13}\right)^4 + \left(\frac{11}{13}\right)^4 \right] \quad A = 1,16 E_{13T}$$
$$A = 1,16 \times (13/8,2)^4 = 7,38 E_{8,2T}$$

Exemple 2 : Pour une voiture de 2 essieux à 0,5 T chacun

$$A = \left( \frac{0,5}{13} \right)^4 + \left( \frac{0,5}{13} \right)^4 = 4,37 \times 10^{-6}$$

Exemple 3 : Pour un camion de 2 essieux à 3 T et 10 T

$$A = \left( \frac{3}{13} \right)^4 + \left( \frac{10}{13} \right)^4 = 0,35$$

Constat 1: l'agressivité de la voiture =  $4,37 \times 10^{-6}$  celle du camion = 0,35 , Donc le camion est 80.650 fois plus agressif que la voiture

Constat 2: l'agressivité de la voiture =  $4,37 \times 10^{-6}$  celle d'un essieu de 13 T = 1 , Donc l'essieu de 13 T est 230.000 fois plus agressif que la voiture

# Calcul de l'agressivité d'un trafic

Connaissant l'histogramme de charge par type d'essieux pour un trafic donné, l'agressivité de ce trafic est qualifiée par le coefficient CAM, correspondant à l'agressivité moyenne du poids lourd composant ce trafic par rapport à l'essieu pris pour référence.

$$CAM = \frac{1}{NPL} \times \left[ \sum_i \sum_{j=1}^3 K_j \times n_{ij} \times \left( \frac{P_i}{P_o} \right)^\alpha \right]$$

Avec

NPL = nombre de poids lourds pendant la période de comptage

$K_j$  = coefficient correspondant au type d'essieu

J=1 essieu simple j=2 essieux tandem j= 3 essieu tridem

$n_{ij}$  = nombre d'essieux élémentaires type j classe de charge  $P_i$ .

$\alpha$  = type de chaussée

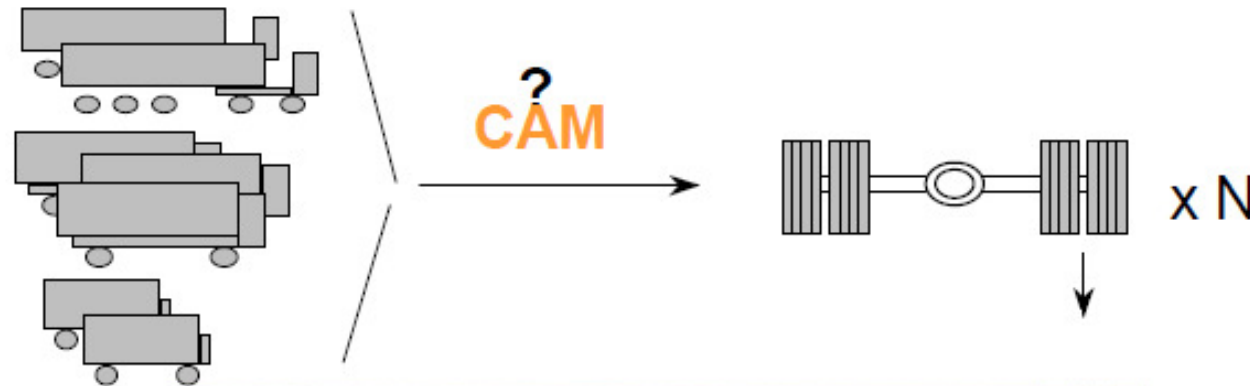
Pour dimensionner une chaussée, le trafic est caractérisé par la valeur NE


NE est le nombre Equivalent d'essieux de référence, correspondant au trafic poids lourd cumulé sur la durée initiale de calcul (en général de 7 à 20 ans).


# Trafic : Essieu de référence et coefficient d'agressivité



Nombre Equivalent d'essieux de 130 KN ou 13 T = NE



Empreintes réelles : 

Empreintes pour la modélisation : 

$r = 0,125 \text{ m}$

$e = 37,5 \text{ cm}$

$q = 0,662 \text{ MPa}$

$e$

$$NE = CAM * N$$

NE: C'est le nombre d'essieux standards de référence de 130 KN (13 T) et dont le CAM = 1.

En France , c'est l'essieu simple à roues jumelés de 130 KN

# Le Nombre d'Essieu Equivalent Cumulé

Trafic actualisé à l'année de mise en service : C'est le trafic à une année (n) actualisé à l'année (j) soit :

$$TMJA(ac) = TMJA(n) \times (1 + t)^{j-n}$$

Le trafic cumulé en termes d'essieux équivalents à 8.2 t est caractérisé par NEEC

$$NEEC = TMJA_{ac} \times 365 \times \% PL \times CAM \times CL \times V_c \times \frac{[(1 + t)^n - 1]}{t}$$

TMJA ac: trafic à l'année de mise en service

% PL: Nombre de poids lourds > 3,5 T

CAM: Coefficient d'agressivité moyenne

CL: Coefficient de Largeur

CL= 1 pour  $l \geq 6m$

CL= 1, 5 pour  $4 \leq l < 6m$

CL= 2 pour  $l < 4m$

Vc : Pourcentage sur la voie la plus chargée (ex 0,5 pour trafic équilibré)

n : Durée de vie

t : Taux de progression considéré ou d'accroissement du trafic

# Exercice

Le Trafic TMJA initial en V/j dans les deux sens d'après le comptage routier réalisé en 2018 sur une chaussée souple est composé des types de véhicules selon le tableau suivant :

Types	Nombre	Poids total (T)	1 <sup>er</sup> Essieu	2 <sup>ème</sup> Essieu	3 <sup>ème</sup> Essieu	4 <sup>ème</sup> Essieu	Agressivité /13 T
			Simple	Simple	Tandem	Tandem	
Voiture	800	0,8					$1,79 \cdot 10^{-06}$
Camionnette	260	3,3					$9,52 \cdot 10^{-03}$
Camion	110	22					0,714
Semi-remorque	80	42	8	10	12	12	?
Autocars	70	18					0,771

Année de mise en service = 2020

Largeur de la chaussée = 7 m (CL= 1)

Le trafic est équilibré dans les deux sens

Durée de vie = 10 ans

Taux de progression considéré = 4%

1) Calculer le trafic actualisé à la date de mise en service?

2) Calculer l'agressivité du camion semi-remorque /13T?

3) Calculer le % des PL?

4) Calculer le CAM/13T?

5) Calculer le NEEC /8,2T?

Types	Nombre	Poids total (T)	1 <sup>er</sup> Essieu	2 <sup>ème</sup> Essieu	3 <sup>ème</sup> Essieu	4 <sup>ème</sup> Essieu	Agressivité /13 T
			Simple	Simple	Tandem	Tandem	
Voiture	800	0,8					$1,79 \cdot 10^{-06}$
Camionnette	260	3,3					$9,52 \cdot 10^{-03}$
Camion	110	22					0,714
Semi-remorque	80	42	8	10	12	12	1,582
Autocars	70	18					0,771

$$Ag_{\text{semi}/13} = (8/13)^4 + (10/13)^4 + 0,75 * (12/13)^4 + 0,75 * (12/13)^4 = 1,582 \text{ E13T}$$

$$CAM/13 = (110 * 0,714 + 80 * 1,582 + 70 * 0,771) / 260 = 1 \text{ E13}$$

$$TMJA (ac) = TMJA (n) \times (1 + t)^{j-n}$$

Année initiale de comptage=2019

Année de mise en service = 2023

T= taux d'annuel de trafic=4%

TMJA= 7000 V/j

Tac=7000\*(1+0,04)<sup>(2023-2019)</sup> = 8189 V/j

## Solution

$$TMJA = 1320 \text{ V/J}$$

Trafic actualisé à l'année de mise en service

$$T_{2020} = 1320 \times (1+0,04)^{(2020-2018)} = 1428 \text{ V/j}$$

$$\text{Agressivité du semi-remorque} = 1,582 E_{13T}$$

$$\text{Nombre de PL} > 3,5 T = 260 \text{ PL}$$

$$\text{Le \% PL} = 19,70\%$$

$$\text{Le CAM} = 1 E_{13T}$$

$$\text{Le CAM} = 6,32 E_{8,2T}$$

Nombre d'essieux équivalents cumulés

$$NE = 365 \times 1428 \times 0,197 \times 6,32 \times 0,5 \times 1 \times \frac{(1+0,04)^{10} - 1}{0,04}$$

$$NE = 3\,893\,238 E_{8,2T}$$



# Chapitre 5

# Dimensionnement de la chaussée

Enseignant : ALLA Ahmed    a.allaecole@gmail.com

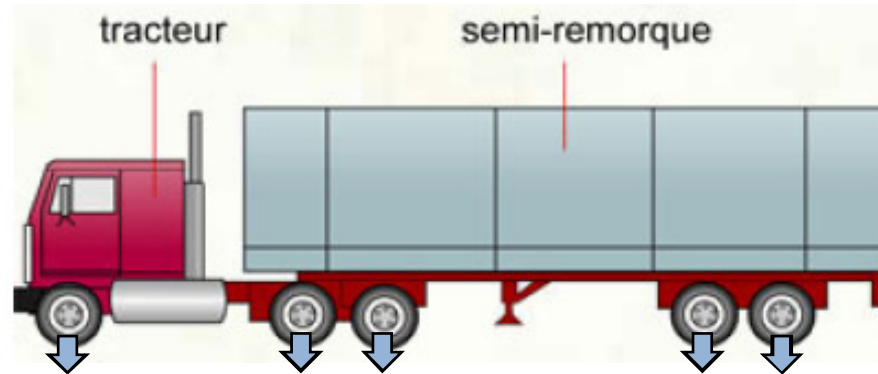
# Définitions des différents paramètres

1. Trafic : la moyenne journalière de l'ensemble de véhicules susceptible de passer sur la route dans les 2 sens
2. Poids lourds: Véhicule (camion ou engin ou autocar) ayant le poids total en charge supérieur à 3,5 Tonnes
3. Essieu : l'axe et roues du même rang d'un véhicule
4. Sol support : le terrain naturel rencontré après terrassement
5. Plan supérieur de terrassement PST : le niveau fini des terrassements (Remblai et déblai)
6. Couche de forme: la couche qui permet d'améliorer la portance du sol support

# Définitions des différents paramètres (suite)

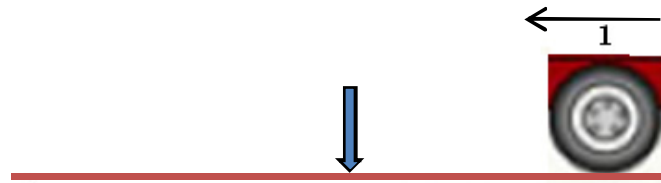
7. Climat : l'importance des précipitations qui tombent dans la région nous renseigne sur l'état hydrique du sol support et des matériaux constituant la chaussée, ainsi que le système de drainage utilisé.
8. Matériaux : la qualité (Module de rigidité, propreté, dureté, angularité, etc...) des matériaux des couches
9. Chaussée existante : dans le cas des renforcements (chaussée en : macadam , pierre cassée, pavés , en grave non traitée GNT

# Action d'un véhicule sur le sol



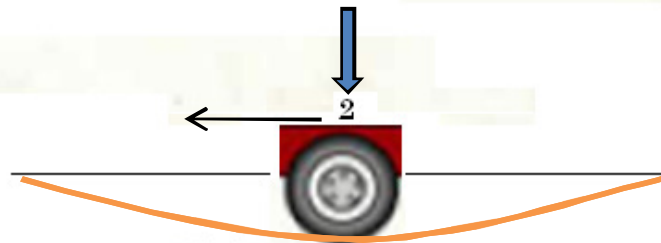
Avant passage

Déformation du sol = 0



Pendant passage

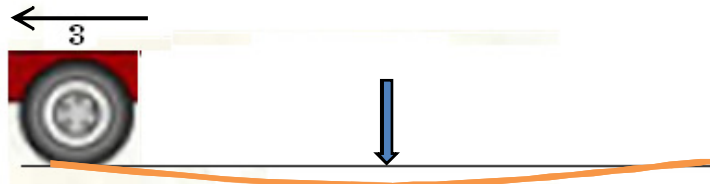
Déformation totale =  $W_t$



Après passage

Reste une déformation

Résiduelle =  $W_r$

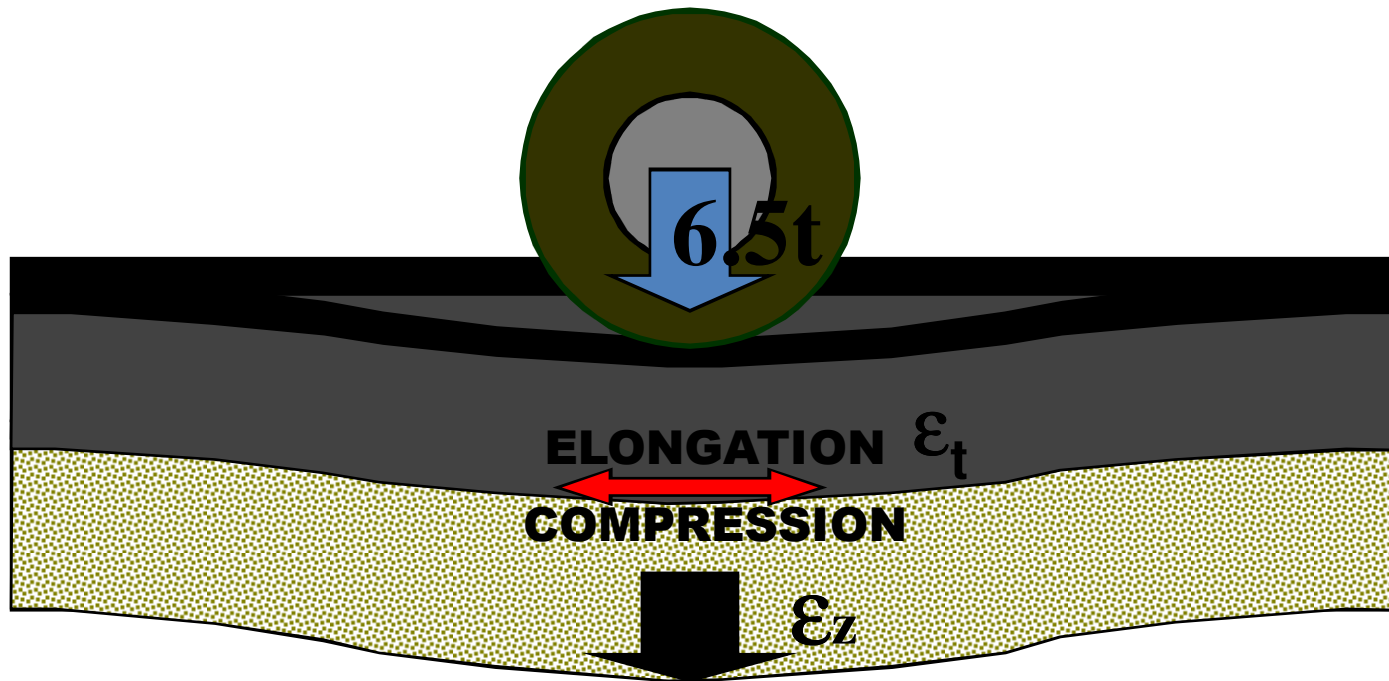


Déflexion:  $d = W_t - W_r$

# Principe de dimensionnement

Fonctionnement d'une chaussée :

Limiter les charges transmises par la roue au sol support



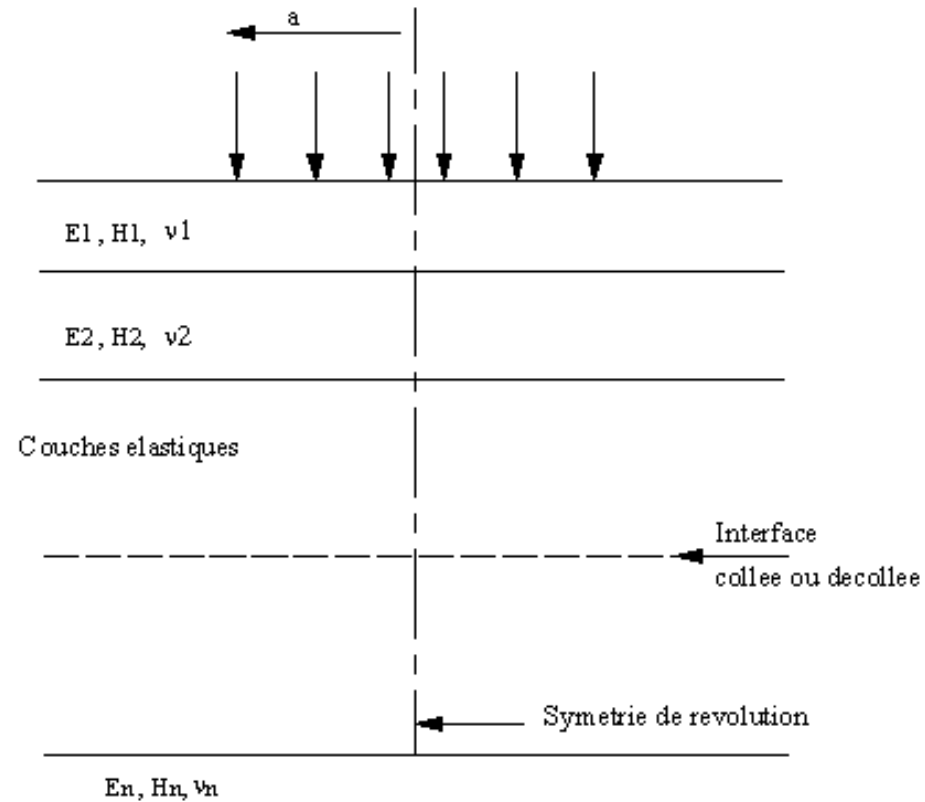
**PLATE - FORME**

$$\epsilon_t < \text{seuil}$$

$$\epsilon_z < \text{seuil}$$

# Méthodes Rationnelles (5)

## Modèle multicouche de Burmister:



# Méthodes de dimensionnement des structures de chaussée

## **Méthode AASHTO**

*(American Association of States Highway Transportation Officials ),*

## **Modèle ALIZE**

*(Logiciel ),*

## **Catalogue de structures**

*(Fiches ),*

# Méthode de dimensionnement: Performance des couches de chaussée

Méthode	Lois de fatigue – Critères dimensionnants	Paramètres
Française [LCPC/SETRA]	Rupture par fatigue des matériaux liés :	$\varepsilon_t$ : déformation horizontale à la base de la couche ; $\varepsilon_6(\theta_{eq}, f)$ : déformation à appliquer pour provoquer une rupture du matériau à $10^6$ cycles ; NE : Nombre équivalent d'essieux standard ; ki : coefficients de risque de calcul et de calage ; A : égale à 0,016 pour les faibles trafics et 0,012 dans le cas contraire.
	$\varepsilon_t \leq \varepsilon_6(\theta_{eq}, f) \cdot \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \cdot k_r \cdot k_s \cdot k_c$	
Américaine [AASHTO]	Déformation permanente des couches en matériaux non liés :	$W_{18}$ : nombre équivalent d'essieux standard ; $Z_R \cdot S_0$ : facteur de fiabilité ; SN : nombre structurel ; $M_r$ : module élastique de la plate-forme. ; $\Delta PSI$ : variation de l'indice de qualité de la route
	$\varepsilon_z \leq A \cdot (NE)^{-0,222}$	
	$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log_{10}(SN + 1) - 0,20$ $+ \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5}\right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log_{10}(M_r) - 8,07$	

# Méthode AASHTO

AASHTO : *American Association of States Highway Transportation Officials* ),

La méthode est basée sur 4 données:

- La portance du sol: Essai CBR
- Le trafic (T exprimé en Nombre d'essieux équivalents à 8.2 t)
- Le climat (facteur régional : « R »)
- Le niveau du service

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_0 + 9,36 \log_{10} (SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \log_{10} (145,04 M_R) - 8,07$$

$$\text{Log}(Wt) = 9.36 \log (SN + 1) - 0.20 + \left[ \frac{\text{Log} (4.2 - Pt) / (4.2 - 1.5)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} \right] + \log 1/R + 0.372 (Si - 3)$$

Wt : trafic cumulé équivalent.

SN : indice de structure de la chaussée.

SI : indice de sol, en fonction de CBR.

R : coefficient régional

Pt : indice de service final

$W_{18}$  : nombre équivalent d'essieux standard ;

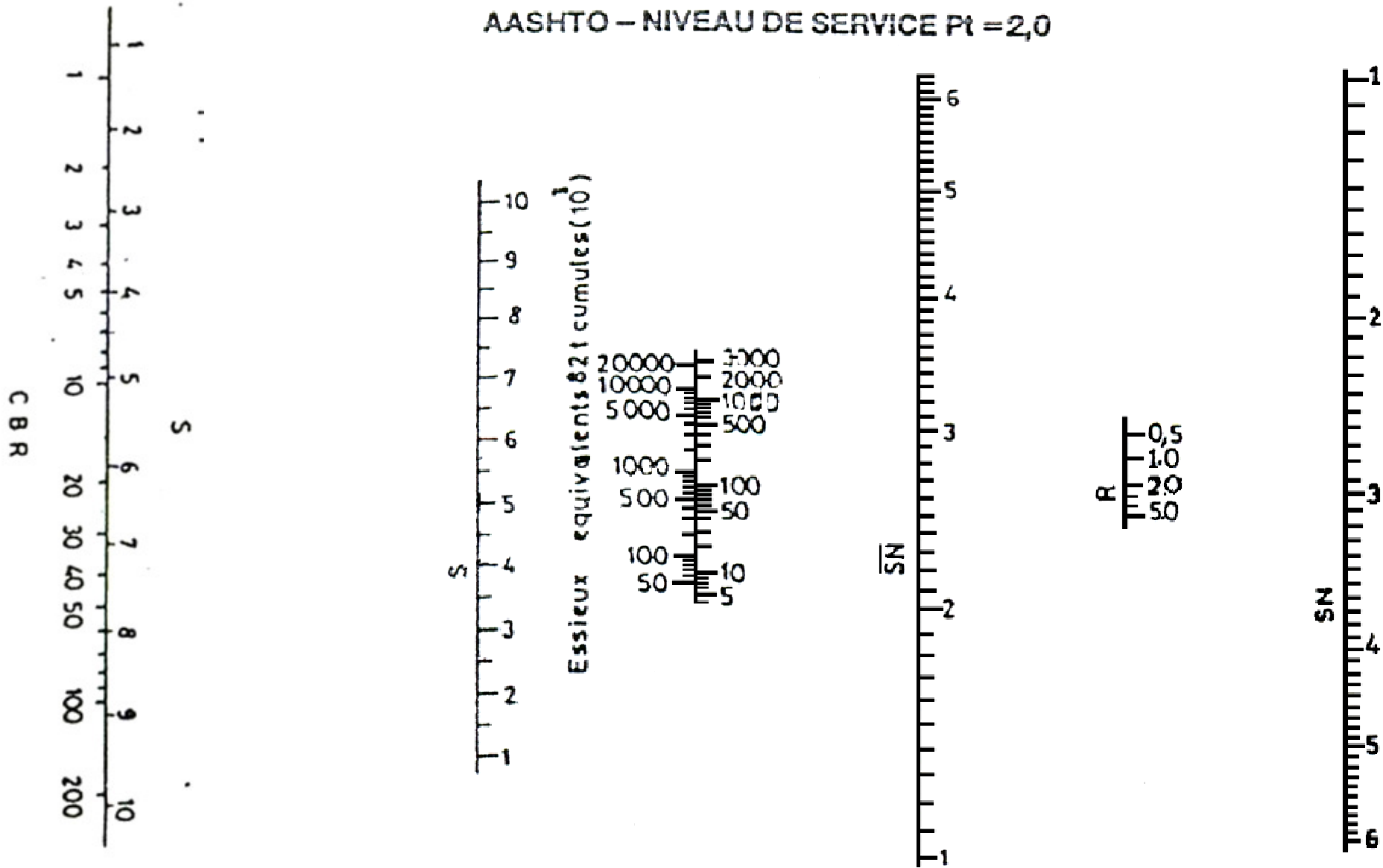
$Z_R * S_0$  : facteur de fiabilité ;

SN : nombre structurel ;

$M_r$  : module élastique de la plate-forme. ;

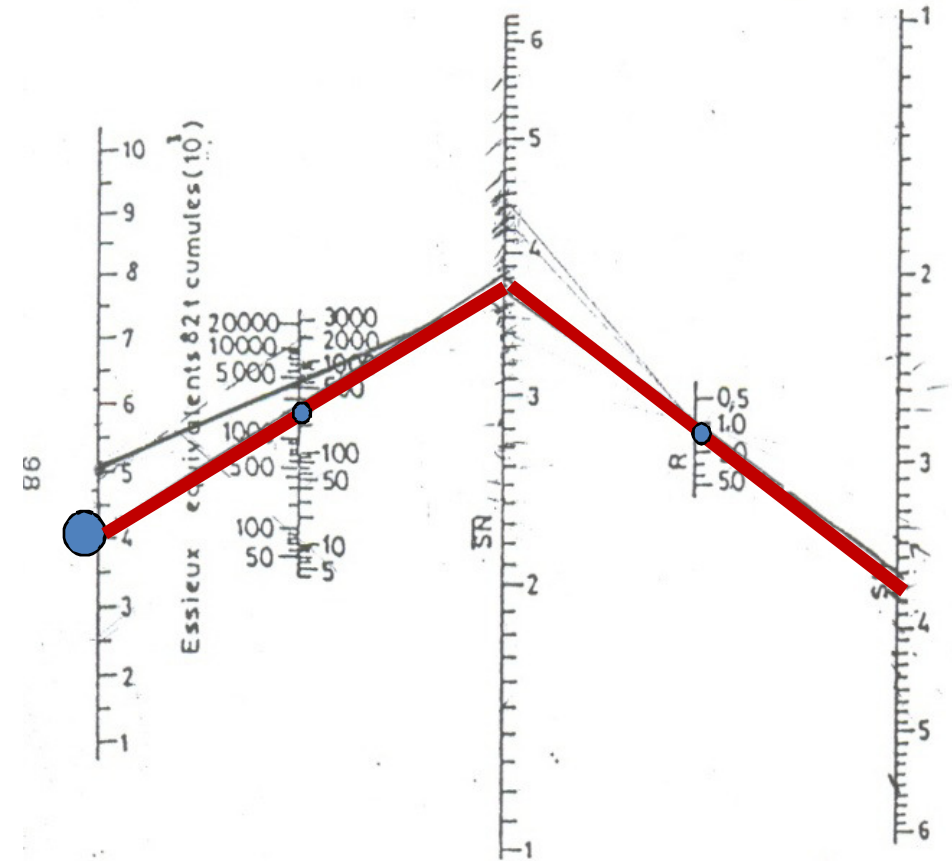
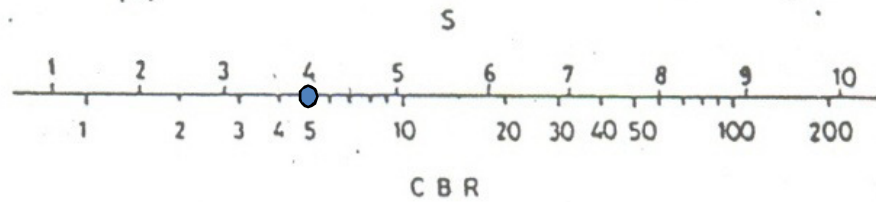
$\Delta PSI$  : variation de l'indice de qualité de la route

# Méthode AASHTO Graphique



Indice de sol =  $SI$

AASHTO – NIVEAU DE SERVICE  $Pt = 2,0$



Trafic cumulé équivalent =  $Wt$

$R$  : Coefficient régional

$R = 0,5$  : Zone aride

$R = 1$  : Zone non aride

$R = 2$  : Haute montagne

Indice de structure de la chaussée =  $SN$

$$SN = \sum a_i \times D_i$$

$a_i$  : coefficient d'équivalence de chaque type de matériaux utilisé.

$D_i$  : épaisseur de la couche « i » en pouce soit 1 Pouce = 2,54 Cm.

Types de Matériau des couches		Coefficients des couches $a_i$
Revêtement	EB-GC	0,44
	RS	0,14
Base	GNA	0,14
	GBB	0,34
	GNB	0,12
Fondation	GNF	0,11
Enrobés anciens		0,26
Pierre cassée		0,13
Blocage		0,10
Grave émulsion		0,23



## Solution Exemple1 Méthode AASHTO

- *Calcul du trafic à l'année de mise en service:*

En 2020  $\Rightarrow 600 (1+0,05)^3 = 695$  v/j, donc une classe de trafic T3.

- *Calcul de l'EEC de 8,2 t sur la durée de vie (10 ans):*

$$\begin{aligned} \text{NEEC} &= 695 * 365 * 0,4 * 0,941 * 1 * 0,5 * [(1+0,05)^{10} - 1] / 0.05 \\ &= 0.6 * 10^6 \text{ essieux de } 8,2\text{t} \end{aligned}$$

- *Calcul de l'indice du sol:*

$$\text{CBR} = 10 \Rightarrow S = 5,1 \Rightarrow \text{SN} = 2,6$$

$$\Rightarrow \text{SN} = 2,6 * 2,54 = 6,6 \text{ cm}$$

- *Calcul de l'indice de structure:*

$$\text{SN} = 6,6 = (30 * 0.11) \text{ GNF} + (h * 0.14) \text{ GNA}$$

ce qui donne :  $h = 25$  cm

- *La structure finale est :*

$$\mathbf{30 \text{ GNF} + 25 \text{ GNA} + \text{RS.}}$$

$$\mathbf{20 \text{ GNB} + 15 \text{ GNA} + 5 \text{ EB}}$$

$$\mathbf{15 \text{ GNB} + 8 \text{ GBB} + 5 \text{ EB}}$$

# Exercice

## les données:

Le Trafic TMJA initial dans les deux sens d'après le comptage routier réalisé en 2018 V/j est composé des types de véhicules selon le tableau suivant :

Types	Nombre	Poids total (T)	1 <sup>er</sup> Essieu	2 <sup>ème</sup> Essieu	3 <sup>ème</sup> Essieu	4 <sup>ème</sup> Essieu	Agressivité /13 T
			Simple	Simple	Tandem	Tandem	
Voiture	800	0,8	0,4	0,4			$1,79 \cdot 10^{-06}$
Camionnette	75	6	2	4			$9,52 \cdot 10^{-03}$
Camion1	100	14	6	8			0,19
Camion2	110	34	6	8	10	10	0,714
Semi-remorque	30	42	8	10	12	12	?
Autocars	25	18	6	12			0,771

Avec S : essieu simple Tan : essieu tandem Tri : essieu tridem

# Données Méthode AASHTO

- \* Nature de la chaussée : souple,
- \* Taux d'accroissement annuel du trafic : 4 %
- \* Année de mise en service : 2021
- \* Largeur de la chaussée : 7,2 m
- \* la durée de vie : 10 ans
- \* Pourcentage sur la voie la plus chargée  $V_c$ : le trafic est équilibré dans les deux sens
- \* Sol :  $CBR = 8$
- \*Facteur régional : Hautes montagnes

# Correction

## Par la méthode AASHTO :

- Actualiser le trafic à la date de mise en service = **1283 V/j**
- Calculer l'agressivité du semi-remorque /13T = **1,58 E<sub>13T</sub>**
- Calculer le coefficient d'agressivité moyenne CAM/13T = **0,485 E<sub>13T</sub>**
- Calculer le nombre d'essieux équivalents cumulés NEEC/8,2T = **2 568 669 E<sub>8,2T</sub>**

- Définir l'indice de sol = **4,7**
- Définir l'indice de structure final SN en cm = 3,9 Pouces = **9,9 Cm**
- Proposer une structure de chaussée optimale constituée des GNF,GNB ou GNA,GBB et EB ?

**20 GNF+20GNA+8GBB+5 EB (9,92)**

**20 GNF+20GNB+10GBB+5 EB (10,2)**

## Exercice Méthode AASHTO

- \* Trafic en 2016 : 1200 v/j dans les deux sens.
- \* Pourcentage du poids lourd (%PL) : 35 %.
- \* Taux d'accroissement : 4 %.
- \* Année de mise en service : 2019.
- \* CBR : 15
- \* Largeur de la chaussée : 5,8 m.
- \* Durée de vie : 10 ans.
- \* Climat : Zone non aride.
- \*  $CAM/13T = 0.458$
- \* facteur de charge  $V_c = 0.8$
- \* Chaussée : souple

## Correction de l'exercice Méthode AASHTO

- *Calcul du trafic à l'année de mise en service:*

$$\text{En 2018} \Rightarrow 1200 (1+0,04)^3 = 1350 \text{ v/j}$$

- *Calcul de l'EEC de 8,2 t sur la durée de vie (10 ans):*

$$\text{CAM}_{/8,2T} = 0,458 * (13/8,2)^4 = 6,317_{E8,2T}$$

$$\begin{aligned} \text{NEEC} &= 1350 * 365 * 0,35 * 2,89 * 1,5 * 0,8 * [(1+0,04)^{10} - 1] / 0.04 \\ &= 7\,189 * 10^3 \text{ essieux de } 8,2t \end{aligned}$$

- *Calcul de l'indice du sol:*

$$\text{CBR} = 15 \Rightarrow S = 5,6$$

*Calcul de l'indice de structure intermédiaire:*

$$\text{Abaque } S \text{ et NEEC} \Rightarrow \text{SN} = 3,7 \text{ pouces}$$

*Calcul de l'indice de structure final:*

$$\text{Abaque } \text{SN} \text{ et Zone non aride } R = 1 \Rightarrow \text{SN} = 3,65 \text{ pouces}$$

$$\Rightarrow \text{SN} = 3,65 * 2,54 = 9,27 \text{ cm}$$

- *La structure proposée est :*

**25 GNF + 15 GNB 10 GBB + 5 EB.**

$$\text{Indice SN réel} = 25 * 0,11 + 15 * 0,12 + 10 * 0,34 + 5 * 0,44 = 9,6 \text{ Cm} \geq \text{SN}$$

# Méthode rationnelle de dimensionnement des structures de chaussée

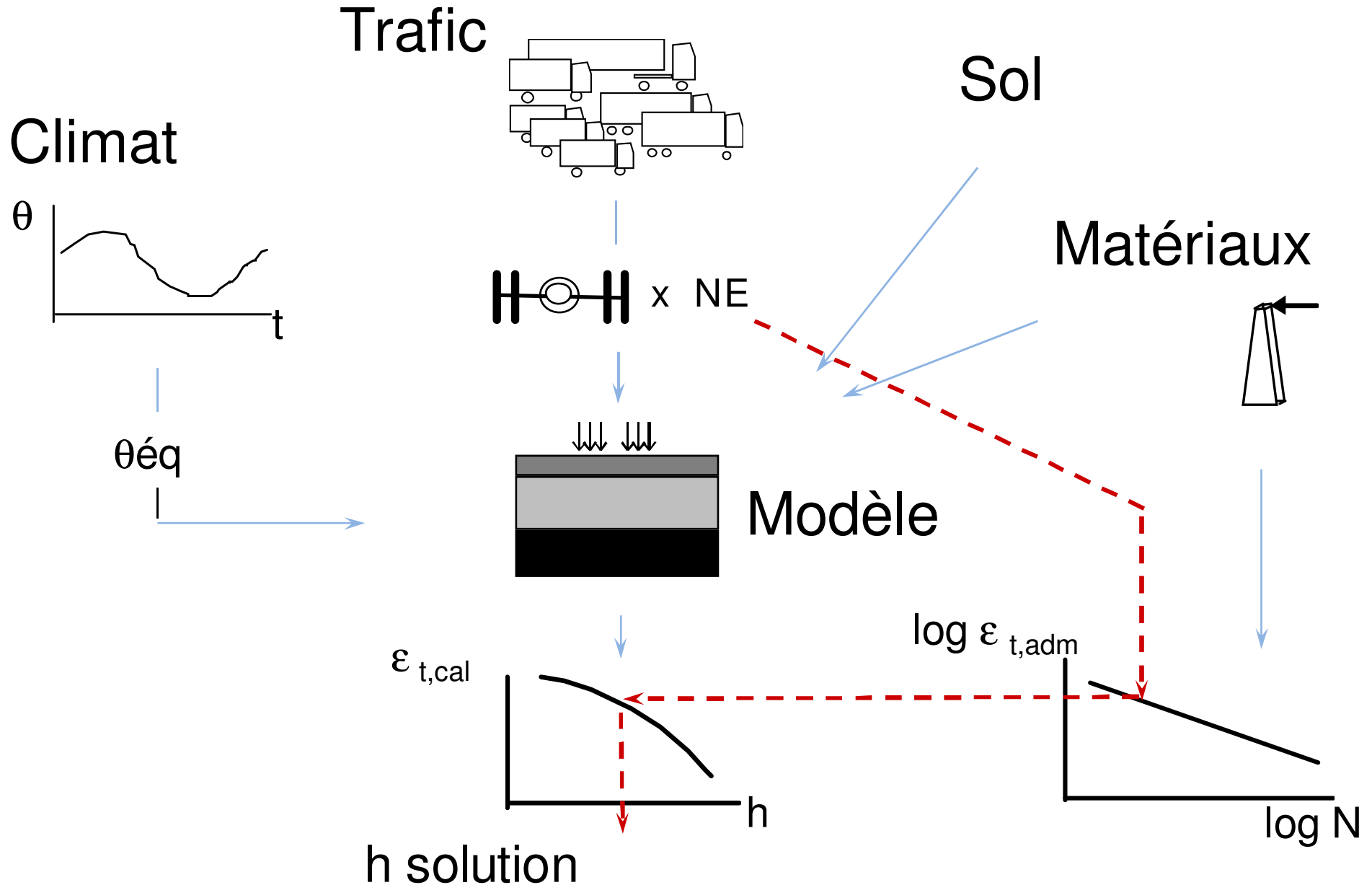
## **Modèle ALIZE**

### Les entrants du dimensionnement

- le trafic poids lourds,
- la plate-forme support de chaussée,
- la nature et la qualité des matériaux de chaussées envisagés,
- le climat.

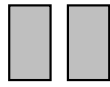


# Dimensionnement mécanique : résumé

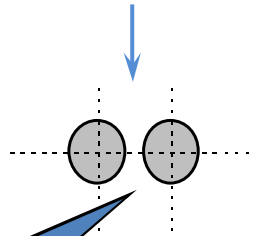


# Modèle de Burmister (1943) : Alizé, Ecoroute

Empreintes réelles

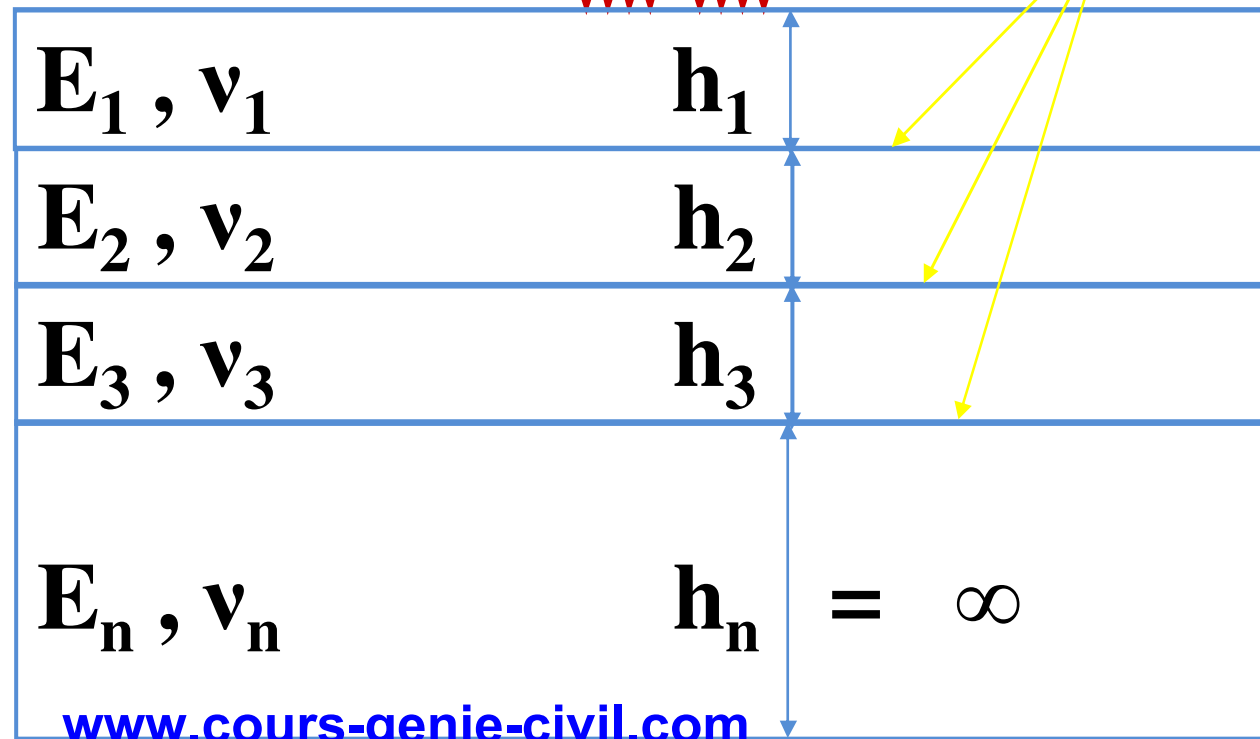


Empreintes pour la modélisation



Qualité de l'interface  
Collée ou Décollée

$r = 0,125 \text{ m}$   
 $q = 0,662 \text{ MPa}$



# Calcul des sollicitations admissibles

## Sol support et graves non traitées

- Chaussées à moyen et fort trafic

$$\mathcal{E}_{z,adm} = 0,012 \times (NE)^{-0,222}$$

- Chaussées à faible trafic

$$\mathcal{E}_{z,adm} = 0,016 \times (NE)^{-0,222}$$

# Calcul des sollicitations admissibles

## Matériaux bitumineux

$$\varepsilon_{t,adm} = \varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25 \text{ Hz}) \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}} \times k_r \times k_c \times k_s$$

$\varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25 \text{ Hz})$  est la déformation pour laquelle la rupture conventionnelle en flexion sur éprouvette est obtenue au bout de  $10^6$  cycles avec une probabilité de 50% pour la température de  $10^\circ\text{C}$  et à la fréquence de 25 Hz

$K_r$  est un coefficient qui ajuste la valeur de la déformation admissible au risque de calcul

Un risque de x% sur une période de p années pris pour le dimensionnement de la chaussée, c'est la probabilité pour qu'apparaissent au cours de ces p années des désordres qui impliqueraient des travaux de renforcement assimilables à une reconstruction de la chaussée, en l'absence de toute intervention d'entretien structurel dans l'intervalle..

$$k_r = 10^{-ub\delta}$$

u : variable centrée réduite associée au risque r

b : pente de la loi de fatigue du matériau

$\delta$  : écart - type de la distribution de logN à la rupture

$$\delta = \sqrt{SN^2 + \left(\frac{c^2}{b^2}\right) \times Sh^2}$$

c : coefficient reliant la variation de la déformation à la variation aléatoire d'épaisseur de la chaussée

c est de l'ordre de  $0,02 \text{ cm}^{-1}$

$$\varepsilon_{t,adm} = \varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25\text{ Hz}) \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}} \times k_r \times k_c \times k_s$$

$K_c$  est le coefficient de calage qui corrige l'écart entre les prédictions de la démarche de calcul et l'observation du comportement des chaussées.

$K_s$  est un coefficient minorateur qui tiens compte de l'effet d'hétérogénéités locales de portance de la plate forme.

# Calcul des sollicitations admissibles

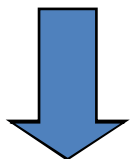
## Matériaux traités aux liants hydrauliques

$$\sigma_{t,adm} = \sigma_6 \times \left( \frac{NE}{10^6} \right)^b \times k_r \times k_c \times k_s \times k_d$$

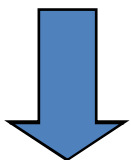
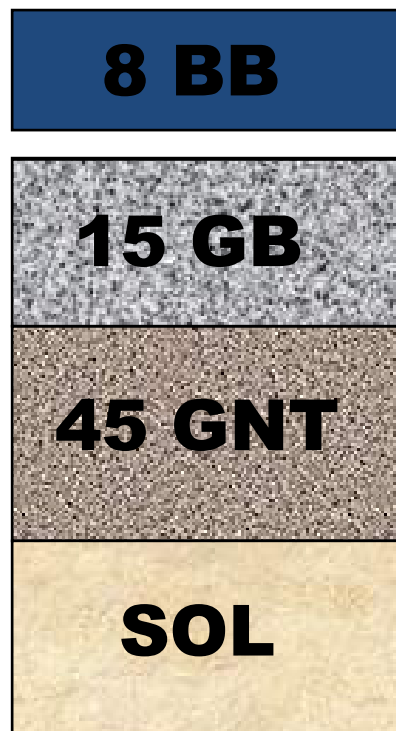
$k_d$  est un coefficient introduit pour prendre en compte l'effet des discontinuités pour la couche de base; il prend pour valeur :

- 1/1,25 pour les graves traitées de classe G4 ou G5 et pour le béton compacté
- 1 pour les graves traitées de classe G2 ou G3

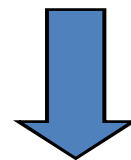
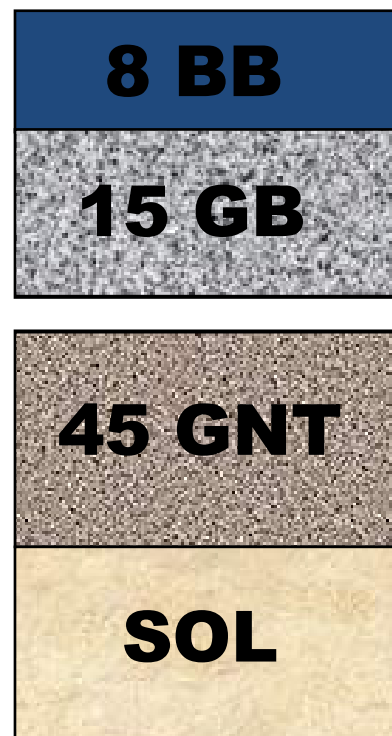
# Conditions de collage



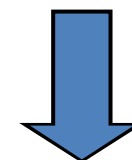
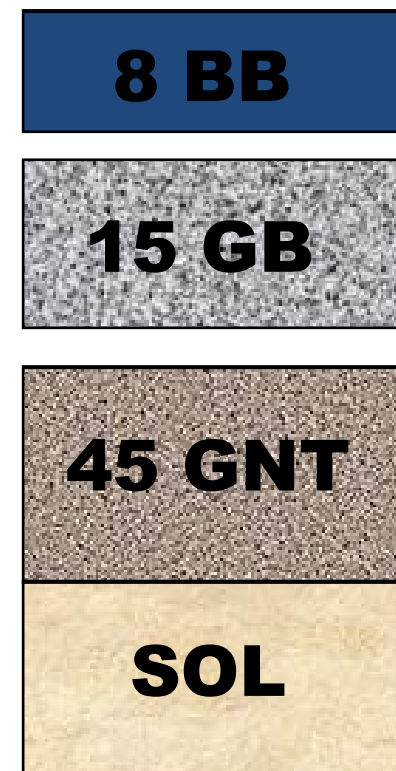
15 ans



4 ans



5 ans



6 mois

# Exemple d'application

- **NE =  $1,5 \cdot 10^6$  essieux équivalents de 13 tonnes.**
- **Durée de vie : 10 ans.**
- **Risque de calcul : 20%**
- **Plate forme de classe PF2**
- **Température de calcul : 20°C**

**Chaussée souple Type GNT/GB/BB**  
**On prendra par exemple  $20\text{GNF}_1 + 20\text{GNF}_1 + h \text{ GB} + 6\text{BB}$**   
**avec  $h > 10 \text{ cm}$**

## **2 critères sont à vérifier :**

- **Critère de résistance à la fatigue des matériaux bitumineux**
- **Critère de résistance à l'orniérage des matériaux non traités (GNT, sols)**

$$\varepsilon_t \text{ calculé} \leq \varepsilon_t \text{ admissible}$$

$$\varepsilon_z \text{ calculé} \leq \varepsilon_z \text{ admissible}$$

## Calcul de $\varepsilon_{t, adm}$ à la base du BB

$$\varepsilon_{t, adm} = \varepsilon_6(10^\circ C, 25 \text{ Hz}) \times \left( \frac{NE}{10^6} \right)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ C)}{E(\theta_{eq})}} \times k_r \times k_c \times k_s$$

✓  $k_c = 1,1$

✓  $k_s = 1/1,1$

✓ Calcul de  $k_r$  :  $k_r = 10^{-ub\delta}$

- Risque  $r = 20\%$

- $u = -0,842$

- $b = -0,2$

- $c = 0,02 \text{ cm}^{-1}$

- $SN = 0,25$

- $Sh = 1 \text{ cm}$

- $\delta = [SN^2 + (c^2 / b^2) Sh^2]^{0,5} = (0,0725)^2 = 0,269$

$$k_r = 10^{-0,0453} = 0,901$$

## Calcul de $\varepsilon_{t, adm}$ à la base du BB

$$\varepsilon_{t, adm} = \varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25 \text{ Hz}) \times \left( \frac{NE}{10^6} \right)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}} \times k_r \times k_c \times k_s$$

✓  $\varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25 \text{ Hz}) = 100 \cdot 10^{-6}$ .

✓  $E(10^\circ\text{C}) = 7200 \text{ MPa}$ .

✓  $E(\theta_{eq}) = E(20^\circ\text{C}) = 3600 \text{ MPa}$ .

✓  $\varepsilon_{t, adm} = 100 \cdot 10^{-6} (1.5 \cdot 10^6 / 10^6)^{-0,2} (7200 / 3600)^{0,5} \cdot 0,901 \cdot 1,1 \cdot 1/1,1$

$$\varepsilon_{t, adm} = 117 \cdot 10^{-6}$$

# Calcul de $\varepsilon_{t,admissible}$ à la base de la GB (h = 12 cm)

$$\varepsilon_{t,adm} = \varepsilon_6(10^\circ C, 25 \text{ Hz}) \times \left( \frac{NE}{10^6} \right)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ C)}{E(\theta_{eq})}} \times k_r \times k_c \times k_s$$

✓  $k_c = 1,3$

✓  $k_s = 1/1,1$

✓ **Calcul de  $k_r$  :  $k_r = 10^{-ub\delta}$**

- **Risque r = 20%**

- **u = -0,842**

- **b = -0,2**

- **c = 0,02 cm<sup>-1</sup>**

- **SN = 0,3**

- **Sh = 0,01 + 0,3 x (0.12-0.10) = 1,6 cm**

- **$\delta = [SN^2 + (c^2 / b^2) Sh^2]^{0,5} = (0,1156)^{0,5} = 0,34$**

**$k_r = 10^{-0,0572} = 0,876$**

## Calcul de $\varepsilon_{t, adm}$ à la base de la GB (h = 12 cm)

$$\varepsilon_{t, adm} = \varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25 \text{ Hz}) \times \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b \times \sqrt{\frac{E(10^\circ\text{C})}{E(\theta_{eq})}} \times k_r \times k_c \times k_s$$

✓  $\varepsilon_6(10^\circ\text{C}, 25 \text{ Hz}) = 80.10^{-6}$ .

✓  $E(10^\circ\text{C}) = 12300 \text{ MPa}$ .

✓  $E(\theta_{eq}) = E(20^\circ\text{C}) = 6300 \text{ MPa}$ .

✓  $\varepsilon_{t, adm} = 80.10^{-6} (1.5.10^6/10^6)^{-0,2} (12300/6300)^{0,5} . 0,876 . 1,3 . 1/1,1$

$$\varepsilon_{t, adm} = 107.10^{-6}$$

## Calcul de $\varepsilon_{z, adm}$ : Sol et graves non traitées

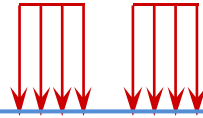
$$\varepsilon_{z, adm} = 0,012 \times (NE)^{-0,222}$$

✓  $\varepsilon_{z, adm} = 0.012 \times (1,5 \cdot 10^6)^{-0.222} = 0,000511$

$$\varepsilon_{z, adm} = 511 \cdot 10^{-6}$$

# Modélisation de la structure

Qualité de l'interface : Collée



$$\mathbf{E (BB) = 36000 \text{ bars} , v_1 = 0.35 , h = 6 \text{ cm}}$$

$$\mathbf{E (GB) = 63000 \text{ bars} , v_1 = 0.35 , h = 12 \text{ cm}}$$

$$\mathbf{E (GNF_1) = 3600 \text{ bars} , v_1 = 0.35 , h = 15 \text{ cm}}$$

$$\mathbf{E (GNF_1) = 1500 \text{ bars} , v_1 = 0.35 , h = 25 \text{ cm}}$$

$$\mathbf{E (Sol) = 500 \text{ bars} , v_1 = 0.35 , h = \infty}$$



# Calcul des sollicitations réelles par ALIZE

	$\epsilon_{t, \text{calculé}}$	$\epsilon_{z, \text{calculé}}$
<b>BB</b>	<b><math>63,6 \cdot 10^{-6}</math></b>	
<b>GB</b>	<b><math>140 \cdot 10^{-6}</math></b>	
<b>Sol</b>		<b><math>451 \cdot 10^{-3}</math></b>

**BB** .....  $\epsilon_{t, \text{adm}} = 117 \cdot 10^{-6} > \epsilon_{t, \text{calculé}}$

**GB**.....  $\epsilon_{t, \text{adm}} = 107 \cdot 10^{-6} < \epsilon_{t, \text{calculé}}$

**Sol & Gnt** ....  $\epsilon_{z, \text{adm}} = 511 \cdot 10^{-6} > \epsilon_{z, \text{calculé}}$

# **Méthode du Catalogue de structures**

# Catalogue des structures de chaussées neuves

## A-Calcul du trafic

### I-Hypothèses nationales

N2 : Nombre réel journalier de poids lourd de  $PL > 8T$  (en charge sur les deux sens) à l'année de mise en circulation.

➤ Les chaussées < 4 m :sont empruntées par	: TPL1.
➤ Les chaussées >6m: sont empruntées par	: TPL2 à TPL 6
➤ Taux d'accroissement des PL	: 4%.
➤ Trafic global dans les deux sens	: Equilibré
➤ Durée de vie courte	: 10 ans (Route à fort trafic)
➤ Durée de vie longue	: 15 à 20 ans ( Route à faible trafic).
➤ Agressivité	: Voir tableau (En l'absence de données réelles du trafic)

# Trafic Poids lourd

*Classe du trafic :*

<b>Classe du trafic</b>	<b>TPL1</b>	<b>TPL2</b>	<b>TPL3</b>	<b>TPL4</b>	<b>TPL5</b>	<b>TPL6</b>
<b>Nbre journalier (PL &gt; 8T)</b>	0 à 5	5 à 50	50 à 125	125 à 250	250 à 325	325 à 450

*Agressivité du trafic*

<b>Classe du trafic</b>	<b>TPL1</b>	<b>TPL2</b>	<b>TPL3</b>	<b>TPL4</b>	<b>TPL5</b>	<b>TPL6</b>
<b>Souple ou semi-rigide</b>	0.4	0.4	0.5	0.7	0.8	1
<b>Rigide</b>	0.7	0.7	0.9	1.2	1.3	1.5

*Le trafic cumulé*

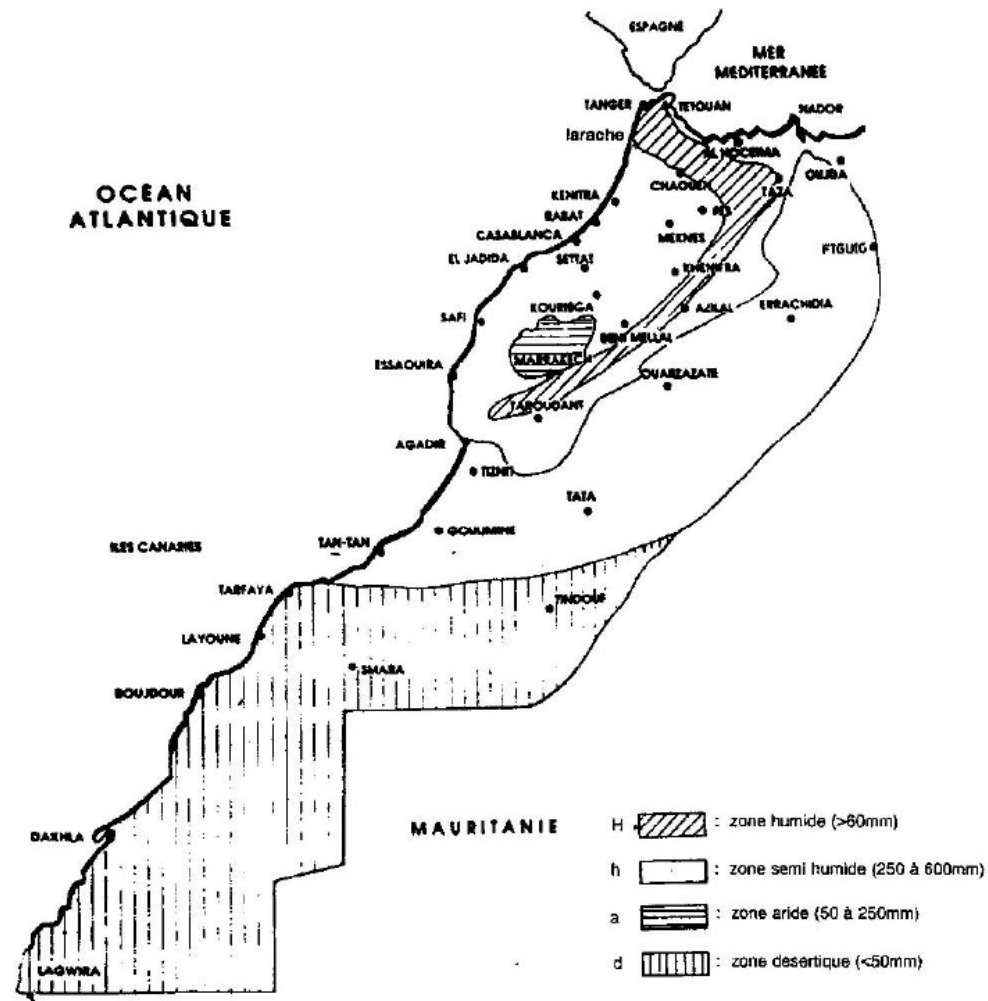
<b>Structure</b>	<b>Durée de vie</b>	<b>TPL 1</b>	<b>TPL 2</b>	<b>TPL 3</b>	<b>TPL 4</b>	<b>TPL 5</b>	<b>TPL 6</b>
<b>Souple ou semi rigide</b>	Courte	$8,8 \cdot 10^3$	$4,5 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^5$	$5,7 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$
	Longue	$2,2 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^5$	$3,5 \cdot 10^5$	$9,5 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$
<b>Rigide</b>	Longue	$4 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^5$	$6,1 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^6$	$2,3 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^6$

# Catégorie du sol

Catégorie de sol		Description	Classification R.T.R
N°	Désignation		
I	Sols 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 sensibles 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	Sols tireux qui présentent de très forts retraits (fissuration) lorsque la teneur en eau diminue).	TxA3, TxA4

# Environnement

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



# Dispositif de drainage

Le drainage comporte deux types bon ou mauvais

Type 1 : Bon drainage :

- Si les dispositifs de drainage assurent un rabattement de nappe permanent à  $-1$  m sous le niveau 1.
- Si les eaux de ruissellement collectées dans les fossés ne peuvent atteindre le niveau 1.
- Si l'étanchéité est assurée et maintenue.
- Si la conception du profil en travers prévoit un drainage rapide et efficace.

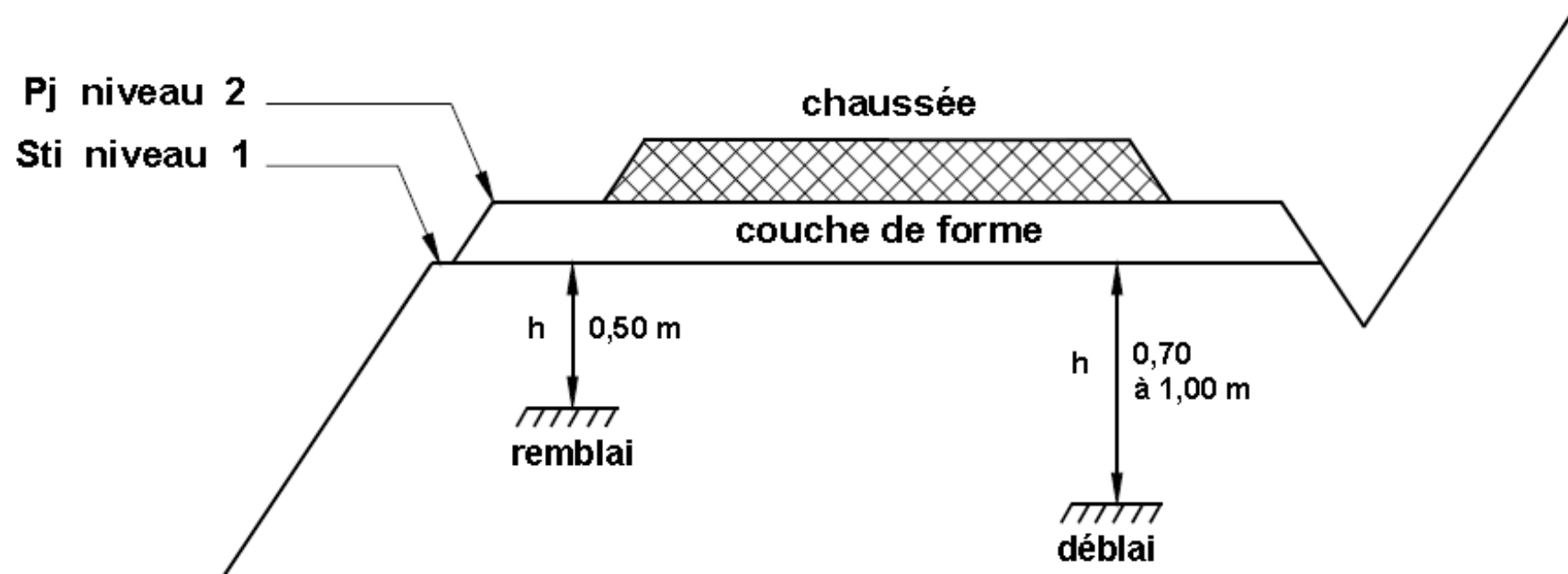
Type 2 : Mauvais ou absence de drainage :

Si l'une des 3 conditions précitées n'est pas satisfaite

# Portance des sols

Au niveau 1 : partie supérieure des terrassements ;

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



# Portance des sols

Portance au niveau inférieur de la couche de forme St<sub>i</sub>

		Zone inondable ou nappe proche ( $< \text{à } 1\text{m}$ )	Hors zone inondable ou nappe profonde ( $> \text{à } 1\text{m}$ )				
Environnement climatique		H, h, a, d	H et h		a		d
Dispositifs de drainage			Type 2	Type 1	Type 2	Type 1	
<b>Sols</b>	<b>I</b>	St <sub>0</sub>	St <sub>0</sub>	St <sub>1</sub> (D) St <sub>2</sub> (R)	St <sub>1</sub>	St <sub>2</sub> (1) St <sub>3</sub>	St <sub>3</sub>
	<b>II</b>	St <sub>1</sub>	St <sub>1</sub>	St <sub>2</sub>	St <sub>2</sub>	St <sub>3</sub>	St <sub>3</sub>
	<b>III</b>	St <sub>2</sub>	St <sub>2</sub>	St <sub>3</sub> à St <sub>4</sub> (2)			
	<b>IV</b>	St <sub>2</sub> ou plus (2)					
	<b>V</b>	Voir <a href="#">chapitre IV.6</a> – page 12					

# Les sols

## Portance au niveau inférieur de la couche de forme St<sub>i</sub>

### Les sols fins

<b>St<sub>i</sub></b>	<b>St<sub>0</sub></b>	<b>St<sub>1</sub></b>	<b>St<sub>2</sub></b>	<b>St<sub>3</sub></b>	<b>St<sub>4</sub></b>
<b>Indice CBR (imbibe)</b>	≤ 4	≥ 6	≥ 10	≥ 15	≥ 25

### Les sols graveleux

<b>Indice</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Essai à la plaque EV 2 (bars)</b>	200 à 500	500 à 1200	1200 à 2000	>2000
<b>Restitution dynaplaque</b>	<50	50 à 55	55 à 60	>60
<b>Déflexion sous 13 T en 1/100<sup>e</sup> de mm</b>	150 à 300	100 à 150	60 à 100	<60

# Vérification de la structure minimale

Type de structure	Trafic	Portance Pj minimale
<b>Souple</b>	TPL1 à TPL3	P1
	TPL4 à TPL6	P2
<b>Semi-rigide</b>	TP3 à TPL4	P3
	TPL5 à TPL6	P2
<b>Rigide</b>	Tous trafics	P1

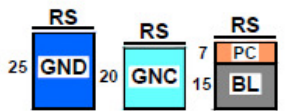
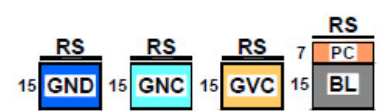
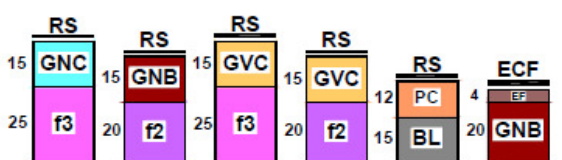
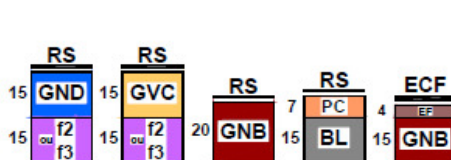
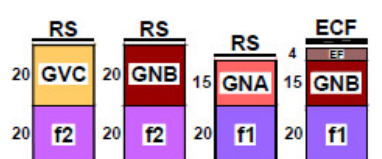
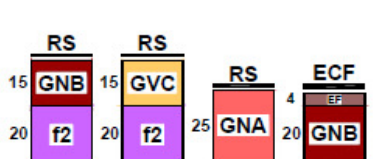
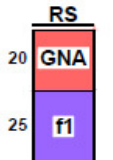
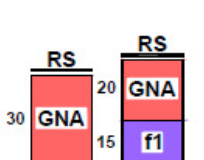
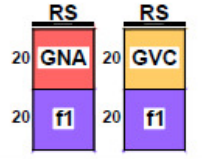
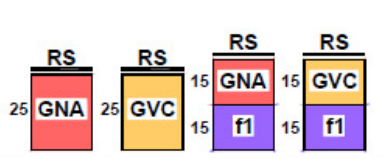
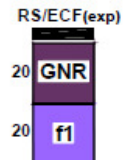
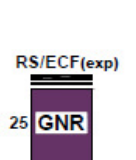
# Portance au niveau supérieur de la couche de forme Pj

Trafic	Nature des matériaux	Classe Sti	Epaisseur couche de forme	Pj
TPL1 – TPL2– TPL3	F2	St0	10 AC+ 30 F2 = 40 cm	P1
		St1	10 AC + 20 F2 = 30 cm	P2
		Sti (i >1)	+ 30 cm F2	Pi + 1
TPL4 à TPL6	F1	St0	10 AC + 40 cm F1	P2
		St1	10 AC + 25 cm F1	P2
		Sti (i >1)	+ 40 cm F1	Pi + 1
	MT	St0	40 cm	P2
		St1	25 cm	P2
		St1	+ 50 cm	P3

Indice i existant	Indice j visé	CBR seuil pour F2
0 – 1	1 et 2	> 10
2 - 3	3 - 4	> 20

	P 1	P 2	Durée de vie	Légende	
TPL 1			<b>L O N G U E</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— : RS</li> <li>— : ECF</li> <li>EF : EF</li> <li>GND : GND</li> <li>GNC : GNC</li> <li>GNB : GNB</li> <li>GNA : GNA</li> <li>GNR : GNR</li> <li>GVC : GVC</li> <li>f1 : GNF1</li> <li>f2 : GNF2</li> <li>f3 : GNF3</li> <li>PC : Pierre cassée</li> <li>BL : Blocage</li> <li>AC : Anti contaminante</li> </ul>	
TPL 2					<b>C O U R T E</b>
TPL 3					
TPL 4	/ / / / /				
TPL 5	/ / / / /				







































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

	P 3	P 4	Durée de vie	Légende	
TPL 1			<b>L O N G U E</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— : RS</li> <li>— : ECF</li> <li>EF : EF</li> <li>GND : GND</li> <li>GNC : GNC</li> <li>GNB : GNB</li> <li>GNA : GNA</li> <li>GNR : GNR</li> <li>GVC : GVC</li> <li>f1 : GNF1</li> <li>f2 : GNF2</li> <li>f3 : GNF3</li> <li>PC : Pierre cassée</li> <li>BL : Blocage</li> </ul>	
TPL 2					
TPL 3					
TPL 4					<b>C O U R T E</b>
	<p style="text-align: center;">GVC expérimental</p> 	<p style="text-align: center;">GVC expérimental</p> 			
TPL 5					

	P 1	P 2	P 3	P 4	Durée de vie	Légende
TPL 2						<ul style="list-style-type: none"> <li> : RS</li> <li> : ECF</li> <li> : GNF1</li> <li> : GNF2</li> <li> : GNF1 ou GNF2</li> <li> : Anti contaminante</li> <li> : GE</li> <li> : EB</li> </ul>
TPL 3					Longue	
TPL 4						
					Courte	
TPL 5						

	P 2	P 3	P 4	Durée de vie	Légendes
TPL 4				<b>Courte</b>	<p> <span style="border-bottom: 1px solid black; width: 20px; display: inline-block;"></span> : RS  <span style="border-bottom: 3px double black; width: 20px; display: inline-block;"></span> : ECF </p> <p> <span style="background-color: #800000; color: white; padding: 2px;">EB</span> : EB      <span style="background-color: #800080; color: white; padding: 2px;">f1</span> : GNF1  <span style="background-color: #808000; color: white; padding: 2px;">GBB</span> : GBB      <span style="background-color: #800080; color: white; padding: 2px;">f2</span> : GNF2  <span style="background-color: #008080; color: white; padding: 2px;">GBF</span> : GBF      <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">f1-2</span> : GNF1 ou GNF2 </p> <p> <i>GBB 8 cm alors classe 0/14</i>  <i>GBB 10 ou 12 cm alors classe 0/20 - 0/25</i>  <i>GNF1 ou GNF2 directement sous GBB alors classe 0/40 uniquement</i>  <i>En TPL4 vérifier la viabilité économique de cette technique</i> </p>
TPL 5					
TPL 6					

	Durée de vie courte			Durée de vie longue			Catégorie de matériaux	Légendes
	P 2	P 3	P 4	P 2	P 3	P 4		
TPL 3							M2	<ul style="list-style-type: none"> <li> : RS</li> <li> : ECF</li> <li> : EB</li> <li> : GAC1</li> <li> : GAC2</li> </ul>
TPL 4								
TPL 5								
TPL 6								

Zone climatique	Humide et semi humide (H-h)		Aride (a)	Désertique (d)		Présence de goujon (zone climatique)	Longueur de dalles	Légende
	Plate forme	P1-P2	P3-P4	Pi	P1-P2			
TPL1-TPL2						Non	4 m	<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div><span style="background-color: gray; border: 1px solid black; padding: 2px;">BC</span> : Béton de ciment</div> <div><span style="background-color: magenta; border: 1px solid black; padding: 2px;">Bm</span> : Béton maigre</div> <div><span style="background-color: blue; border: 1px solid black; padding: 2px;">GD</span> : Grave drainante</div> <div><span style="background-color: brown; border: 1px solid black; padding: 2px;">AC</span> : Couche anticontaminante</div> <div><span style="background-color: green; border: 1px solid black; padding: 2px;">GAC2</span> : GAC2</div> </div>
		18 	16 	Idem H-h et d selon Pi	18 	16 		
TPL3						Non	4 m	
		18  20  10 	18 	Voir zone d selon Pi	20 	18 		
TPL4						Oui (H, h, a) Non (d)	5 m	
		22  20  10 	20  20 	Voir zone H-h selon Pi	22 	20 		
TPL5						Oui (H, h, a) Non (d)	5 m	
		23  15 	23  12 	Voir zone H-h selon Pi	23  20 	22  20 		
TPL6						Oui (H, h, a) Non si fondation en Bm ou GAC2 Oui dans autres cas	5 m	
		23  15 	23  12 	Voir zone H-h selon Pi	23  20 	23  15  23  12 	23  15  12 	

		Fiche n° 6		Fiche n° 7		Légende
		Couche de base en grave non traitée		Grave émulsion		
		P 1 - P 2	P 3 - P 4	P1 - P2	P3 - P4	
TPL1 - TPL2						
TPL 3						
TPL 4			GVC expérimental	GVC expérimental		
TPL 5						
TPL 6						

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

# Réalisation des couches d'assise



# Revêtement Superficiel



# Les Enrobés

