

Notes de cours :

Module : **Routes**

Elément de module : **Structures de Chaussées.**

Enseignant : **M. Khaled LAHLOU**

Notes prises par :

M. Amine ZARZOUN (EHTP'2015)

Génie Civil - Infrastructures de Transport



Routes

Chaussées

Durée de vie 10 ans - 19 ans - 15 ans.

travail en fatigue.

Intervenir plutôt pour renforcer car moins cher que si on intervient à la fin de la durée de vie.

60 000 kms de routes.

dont 40 000 kms revêtues.

Parc automobile : 2 millions d'automobiles.

85% véhicules tourisme

15% poids lourds.

85% transport marchandises par la route. Sans avant.

95% // des personnes par la route.

Routes nationales : 11 000 km

// Régionales : 12 000 km

// Provinciales : 37 000 km

// communales : communes.

Taux de desserte routière : 68,38% (accès à la route (accessibilité)).

Cadence de réalisation des auto : 160 km/an.

// // // des : 100 km/an.

voies express.

PNRR2 : programme national des routes rurales = 2000 km/an pour désenclaver 3 millions de ruraux.

Voies express : 2 fois 2 voies.

La maintenance pèse 1,2 milliards de DH. Dégénération continue du réseau.

Notes de cours : Structures de Chaussées (Module : Routes)

* nid de poule
* failances

↳ dégradations dues aux déformations des couches constituées.
niveau D, A, B, C.
↑ dégradé

Bilan à 2008 : 64 718 accidents et 4162 tués.
↳ impératif de gestion de la sécurité routière.

Routematal $l = F_{m, \text{Enrobé}} \text{ superficiel, terrain plat.}$
 2 M Dh/km

terrain vallonné 4 M Dh/km

autoroute : $10 \text{ à } 25 \text{ M Dh/km}$

⇒ P de 1% le capital de l'infrastructure ⇒ P de 1% du PIB.

↳ répercussions lourdes sur le développement économique et social.

Projets routiers variables :

* aspects techniques : hydrologie, sol, matériaux, topographie, valonnée...

* aspects socio-économique : environnemental, sécurité usagers, riverains, réglementation, social, économique, ...

Maintenance des routes ⇒ 35% du budget alloué aux routes.

38% de l'investissement en infrastructure est alloué aux routes.

Constitution de la chaussée :

* Traffic

* Climat

* Sol

* Matériaux : G.N.T., enduits superficiels, enrobés, ...

* Techniques

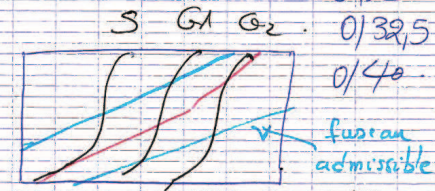
Direction régionale de l'équipement : charge du renforcement des routes ⇒ campagne d'entretien.

signalisation horizontale sur la route / verticale : panneaux.

Notes de cours : Structures de Chaussées (Module : Routes) Graves

G.N.T. : graves non traitées.

S	G1	G2
0/5	5/12	10/25
0/3	5/14	12/25



mélange facilement compactable.
compacité assez élevée.

(BPE) : béton à module élevé pour éviter l'ornièrage.
Notions du dimensionnement des chaussées.

Profil en travers mixte : une partie en déblai et une partie en remblai.
Profil avec le moins de déplacement de terre.

emprise = coteur appartenant à la collectivité publique.

↳ doit prévoir également possibilité d'élargissement d'route en futur.

Plate-forme = ce qui circule.

accotement ⇒ déviation - stationnement d'urgence ⇒ moins portante.
chaussée engraissée d'eau se dégrade rapidement (dégradation exponentielle).

3 types de chaussées (selon comportement mécanique).

Classification selon module de Young.

Simple : poinçonnement local jusqu'à fondation ⇒ travaille en point.

Rigide : travaille en flexion ⇒ répartit la charge sur le sol sur une grande surface. (béton) $\frac{E_2}{E_3} = 1000$ environ.

Coût global économique y compris entretien mais le coût initial est très élevé.

Simple en général ⇒ G.N.T. grave traitée au liants hydrocarbonés (600, 800 MPa) (bitume et dérivés).

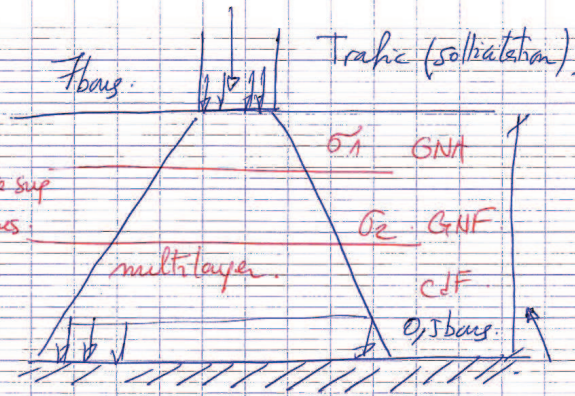
Semi-rigide : Grave traitée au liants hydrauliques (solution intr. mécanique).
Sol : $\frac{E_2}{E_3} = 100$ (grave traitée).
Ciment, chaux (20, 30 GPa).
 E_3 (sol).

Notes de cours : Structures de Chaussées (Module : Routes)

Notes de cours : Structures de Chaussées (Module : Routes)

$\sigma_2 < \sigma_1$
 d'une besogne portante sup
 aux niveaux supérieurs.
 → Enche en performance
 qui diminue en
 descendant.
 + besoin de
 compactage
 par couche
 de 30/25 cm.

↓ obligation de forme
 de couche
 question : faisabilité
 technique + économique



but chaussée →
 diffuser la charge
 de manière à diminuer
 la charge au sol.
 définir épaisseur +
 matériaux.

Support ⇒ comportement de pend au ciment
 sol minime d'eau ⇒ chute résistance.

choix en fonction de nature de sol.

13 bous = ordre de grandeur de poids lourds.

couche de forme → toujours en autoroute / confort de
 voir p.36.

Arase de tenassement.

Tenassement = lié au remblai / déblai / excavation.

Plaque forme support de chaussée = limitent le début réel de
 la chaussée.

confort de circulation = moins de secousses + rugosité

couche surface = couche de liaison + couche de roulement

le uni = % d'ondulation dans la route.

variante semi-rigide ⇒ difficile d'assurer un mini
 minimal (6m uni).

sécurité = adhérence + rugosité.

↓ nécessité d'une dureté minimale pour ne s'émier
 rapidement ⇒ essai Los Angeles + micro Dural.
 + étanchéité

Rôle de la couche : Résistance au frottement + étanchéité minimale + confort +
 de surface.

Couche d'Assise = réduit les contraintes diffusées au sol support.
 Couche de forme ⇒ soit au plus au drainage pour évacuer l'eau
 et garder la partie roble de la chaussée sèche + avoir
 une portance homogène sur une grande distance pour
 pouvoir utiliser des matériaux dans la couche sous-jacente
standardisés.

PST = 1m ou 1,5m ⇒ partie supérieure du tenassement (deblai
 ou un remblai).

couche de forme = peuvent servir à permettre l'accès de
 engins de construction + Nivellement (avoir une forme
 plat sur terrain ondulé) d'où appellation couche de forme
 effet enclume en compactage.

il faut avoir une couche suffisamment rigide en bas
 pour pouvoir compacter correctement. (exemple : forger fer
 sur un support) → analogue avec couche de forme.

effet de matassage = partie de route qui des caud et remonte.
 couche de forme ⇒ Portance améliorée + optimiser la quantité
 de matériaux des couches en haut.

Traffic cumulé : intégrer le trafic cumulé dans le temps durant
 la durée de vie de la route.

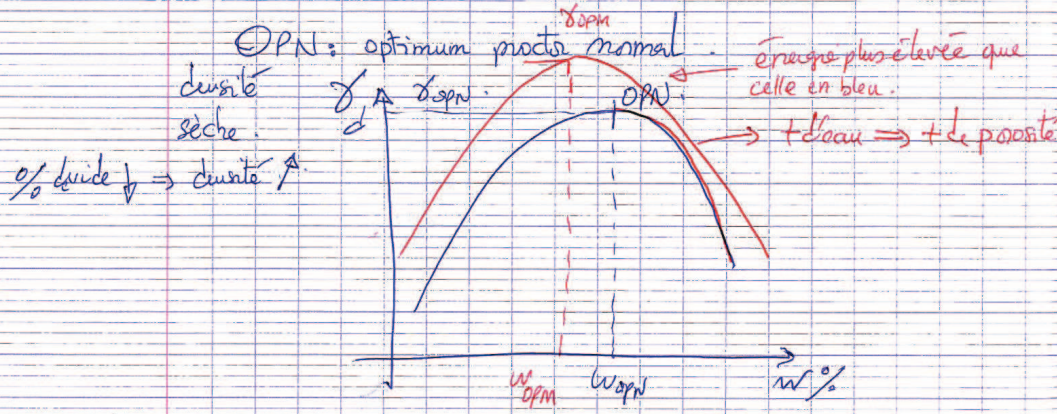
améliorer la portance de sol ⇒ traitement par du ciment +
 couche de forme d'alluvion d'oreil mais voir crit de chaum
 pm de l'air ⇒ exemple : tronçon autoroute Assise - Larache.

Courbe de fatigue : $\sigma_1 + \sigma_2$ → résistance si le traction après 10^6 cycles.
 σ_1 → la de forme " " " "

Classification dans les catalogues.

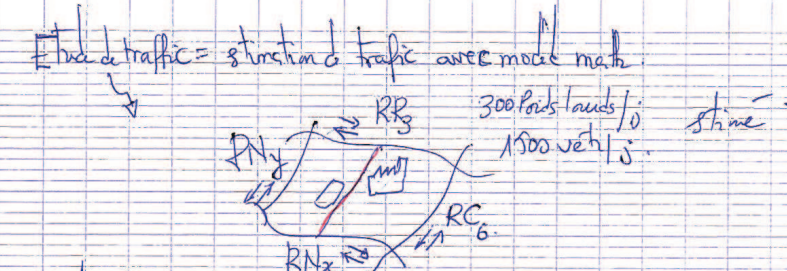
P1 : sol de portance 1.

TPL1 : trafic de poids lourd de niveau 3
 RS : revêtement superficiel.
 A.C : couche anti-contaminante qui évite la contamination de la couche de fondation pour que l'aspire mécanique n'attende pas au couches portants.
 G.A.C : grave améliorées au ciment.
 G.E : grave et émulsion.
 G.B.B : grave bitumineuse.
 support avec nivellement minimal permet d'avoir un nivellement minimal à la surface de la route.

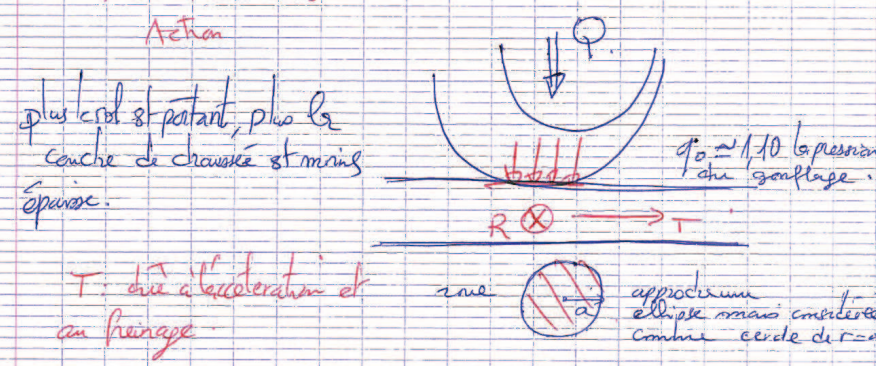


Énergie plus élevée de compactage \Rightarrow w_{OPM} plus faible
 OPM : niveau de compactage recommandé plus grand.
 GMA :
 OPN : sol

Décharger camion \Rightarrow usure ségrégation \Rightarrow malaxage
 vibrant = travaille en fond
 Pneu travaille en surface de couche.
 besoin ds 2 pour ty



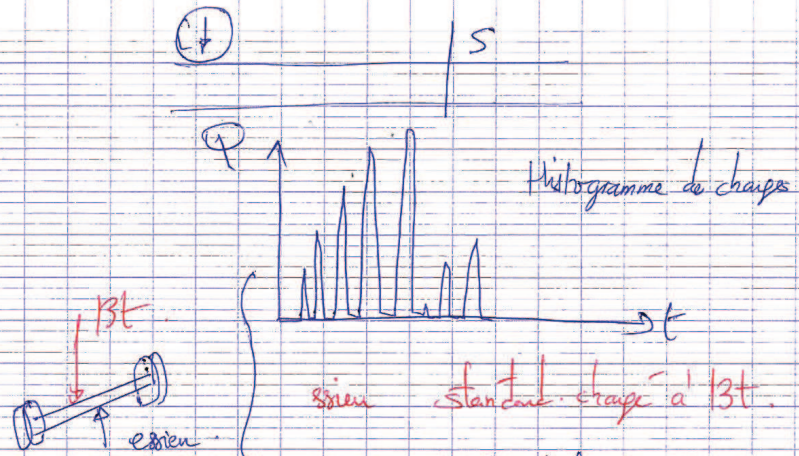
La durée de vie est liée directement au trafic. si trafic sous-estimé alors durée de vie \downarrow .
 Action verticale.



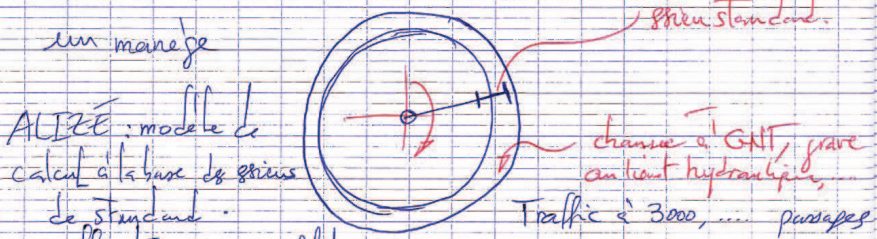
$\tan \phi = f$ angle de frottement.
 si $\phi > \psi$ on a un glissement avec frottement.

Chaussée auto-drainante = existence de porosités qui évacue l'eau à l'extérieur.
 phénomène d'eau planée (eau-planning)
 Une chaussée doit être rugueuse et sèche (nécessite de drainage).





ramener un trafic hétérogène à un essieu standard permettant d'effectuer des essais et monter des modèles de dimensionnement.



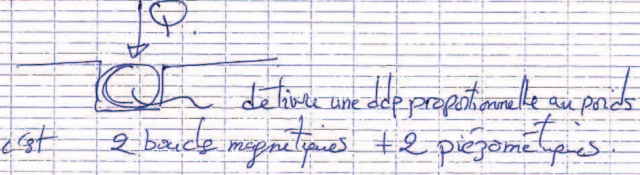
ALIZE : modèle de calcul de la base de chaussée de standard. Trafic léger a un effet minimum. Poids lourd est un véhicule dont le PTC (poids total en charge) > 8t.

nécessité de définir l'agressivité du trafic dans les deux sens.

Comptage manuel : évaluation du volume du trafic par silhouette (on ne peut pas savoir si c'est charge ou poids ou même s'il s'agit d'un camion).

Comptage automatique : * Dispositif pneumatique incrusté à chaque passage d'essieu. * Dispositif à la bordure.

électromagnétique. * Dispositif à câbles piézométriques. c'est le pesage en manche de véhicule.



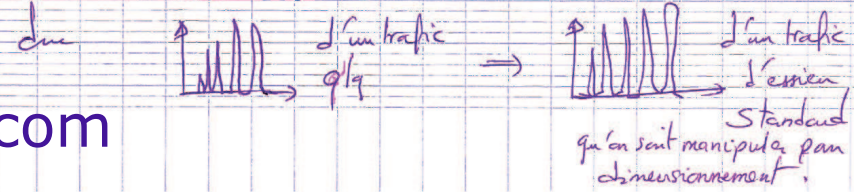
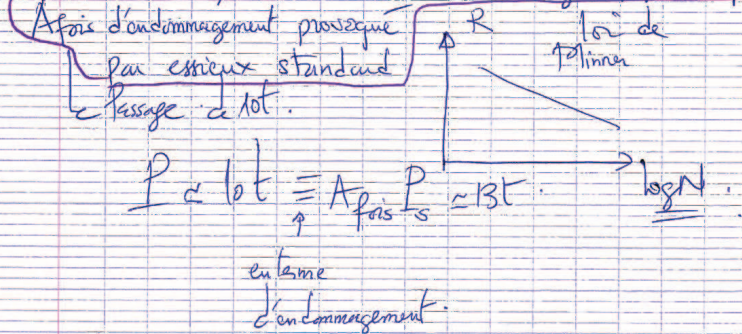
Poids total en charge réglementaire : 10,5 tonnes/essieu et 44t/essieu par essieu moteur.

Aggressivité d'un essieu simple. Aggressivité A d'un essieu simple / essieu standard P_s . $A = \left(\frac{P}{P_s}\right)^2$

Strie Souple : Graves traitées aux liants hydrauliques. $z=4$ GNT.

Strie Rigide : béton. Strie semi-rigide : Graves traitées aux liants hydrauliques. $z=8$ $z=10$

Strie L'endommagement d'une somme de charge q_i est équivalent de



Application:

Le passage d'un camion chargé à l'ET (2 essieux à 6t et 13t) sur une chaussée souple st \equiv un passage de 47200 voitures de 1,5t sur cette même chaussée.

Station de comptage



détecte par champs magnétique créé par passage de véhicules.

$$A_{\text{Camion}} = \left(\frac{6}{13}\right)^4 + \left(\frac{13}{13}\right)^4 = 1,0 + 6$$

$$A_{\text{voiture}} = 2 \left(\frac{0,75}{13}\right)^4 = 22,16 \cdot 10^{-6}$$

$$A_{\text{Camion}} \approx 47200 \cdot A_{\text{voiture}}$$

chaussée rigide, ce passage st \equiv au passage de 3,7 $\cdot 10^4$ de voitures chargées de 1,5t.

tandem : 2 essieux côte à côte avec roues jumelées.
 tri-axle : 3 essieux côte à côte. " " " "
 ils sont très agressifs sur les chaussées semi-rigides.

Un poids lourd st Σ le quivalent de ses essieux.
 mais besoin d'une agressivité moyenne sur un trafic.
 besoin d'un histogramme de charges.

$$CAM = \frac{1}{NPL} \left[\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^3 k_j \cdot n_{ij} \left(\frac{P_i}{P_0}\right)^4 \right]$$

↑ coeff d'agressivité moyenne d'un trafic

Exemple de calcul de l'agressivité du trafic

Pdt 5 jours de comptage, une station de pesage a dénombré le passage de 305 poids lourds représentant :

- * 1854 essieux simples.
- * 436 essieux élémentaires.

Car on a 2 stations piézo + 2 magnétique

↑ permet de compter les poids lourds

→ voir le bilan. en principe, à partir de la classe M-12, on doit avoir des trafics nuls, car on ne tolère + que 11t / essieu (simultan).

↳ les surcharges très dangereuses pour une chaussée.

calculer CAM pour une seule et semi-rigide dans un excel pour cet exercice.

CAM = coeff

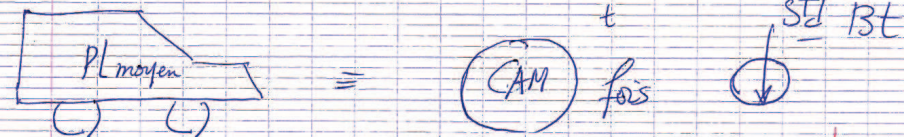
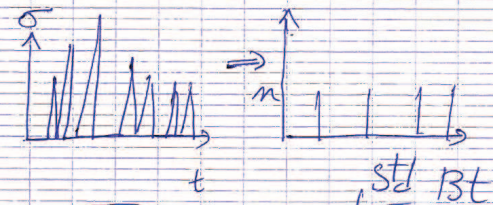
NPL = nbre de poids lourds pendant la période de comptage.

k_j : coefficient correspondant au type d'essieu.

- $j = \begin{cases} 1 & \text{essieu simple} \\ 2 & \text{essieu tandem} \\ 3 & \text{essieu tri-axle} \end{cases}$

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

$$CAM = 0,8$$



Trafic équivalent en essieu standard cumulé sur la durée de vie

$$NE = 365 \times t \times V_c \times P_L \times A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] C_1$$

t : trafic journalier dans les 2 sens et l'année de mise en service.

P_L = % de poids lourds.

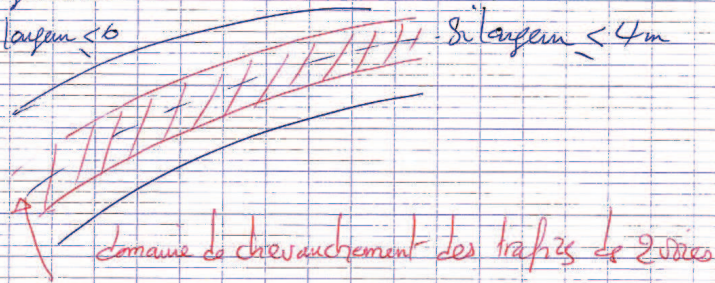
V_c = % de la voie la + chargée.

i = taux de progression du trafic.



$A = CAM$
 $C_1 =$ coefficient correcteur de la longueur de la chaussée
 longueur $L_{cm} \Rightarrow C_1 = 1$

$C_1 = 2$ si largeur $\leq 4m$
 $C_1 = 1,5$ $4 < \text{largeur} \leq 6$ si largeur $\leq 4m$



Exemple de calcul de N_{E_2}

On projette de mettre en service en 2015 un tronçon de route réservée pour chœur de voie de 10ans. Une étude de trafic conduite en 2012 a donné les informations suivantes :

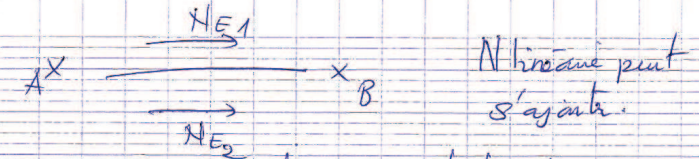
- $t = 150$ v/j dans les 2 sens
- $CAM = 0,7$ par rapport à l'exemple std de 13t.
- largeur de chaussée simple = 5m
- $P_L = 12\%$ de PL de PTC > 8t
- Trafic déséquilibré : 60% (A vers B) et 40% (B vers A)
- $x = 5\%$

⚠ mettre à jour le trafic à l'année de mise en service de la route.

$$N_{E_1} = 365 \times 150 \times (1,05)^3 \times 0,6 \times 0,12 \times 0,7 \times \left(\frac{(1,05)^{10} - 1}{0,05} \right) \times 15$$

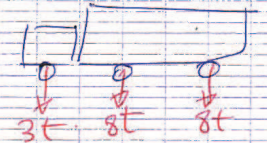
↑ progression du trafic/année 12,6 = 12,6 années

Trafic en 2012 projeté en 2015.
 $N_{E_1} = 60 \ 267$ passages d'exieux std de 13t.



En 2015, un site industriel sera ouvert dans la région et générera un trafic constant supplémentaire constitué de 10 camions/jour. Ces camions sont chargés (A vers B) et déchargés (B vers A). Que devient N_{E_2} ?

Trafic n'évolue pas sur 10ans



$$N_{E_2} = 365 \times 20 \times 0,5 \times 1 \left[\left(\frac{3}{13} \right)^4 + 2 \left(\frac{8}{13} \right)^4 \right] \times 10 \times 1,5$$

$$N_{E_2} = 15 \ 960 \text{ passages de } 13t$$

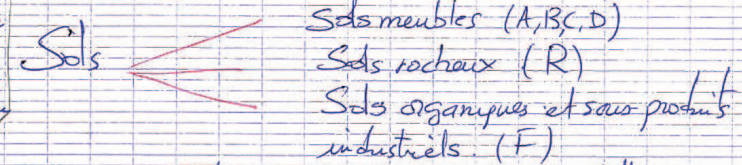
$$N_{E_{total}} = N_{E_1} + N_{E_2} = 76 \ 200 \text{ passages exieux std } 13t$$

Classification des sols permet de : (GTR, CMTR)

- * Niveau de portance auquel on peut s'arrêter.
- * possibilité de réutilisation en remblai et couche de forme (quelle épaisseur de couche, quelle énergie de compactage, type de compacteurs, ...)

Classification des sols et roches

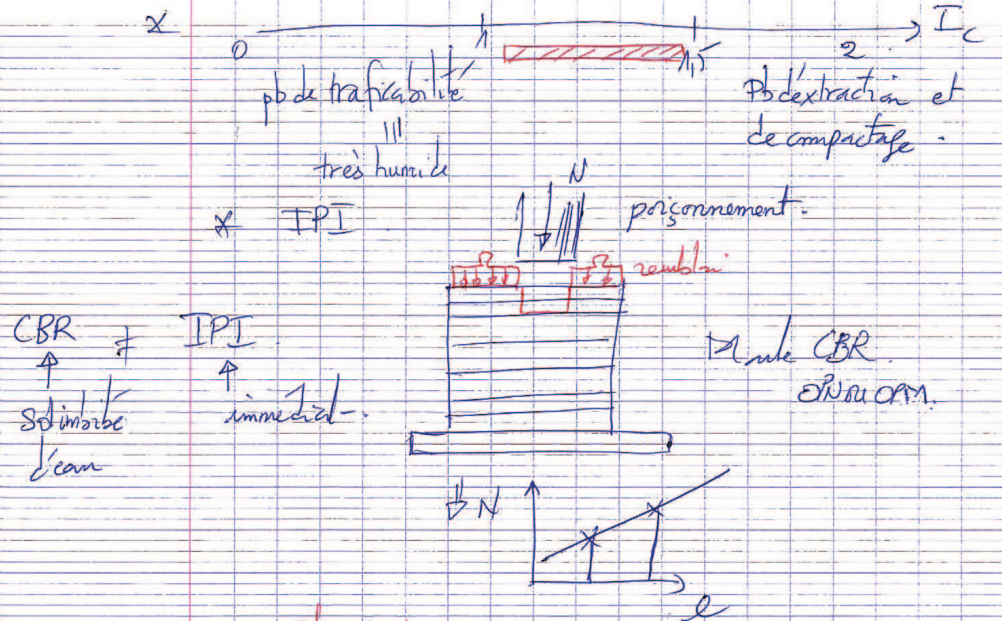
* permet également de déterminer les conditions de réutilisation en remblai, en matériaux de couche de forme.



état hydrique \Rightarrow c'est le même sol qu'on juge compactable ou pas selon son état et le procédé de compactage.

$D_{max} \leq 50mm$ (A,B,D) $D_{max} \geq 70mm$ (C)





CBR \neq IPI
↑
solimable
d'eau
↑
immédiat

Classification GMPR des sols meubles.

permet le PMT = plan de mouvement de tene fibre de camion

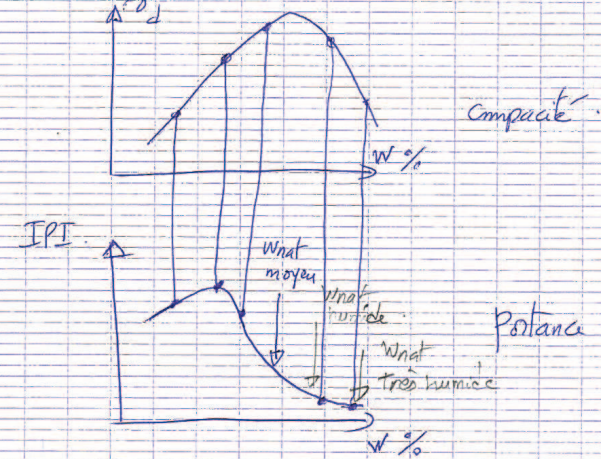
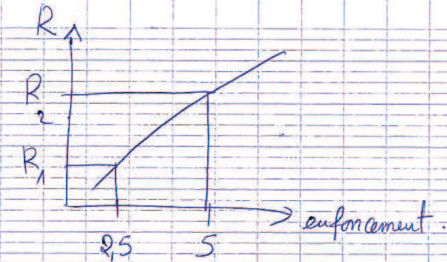
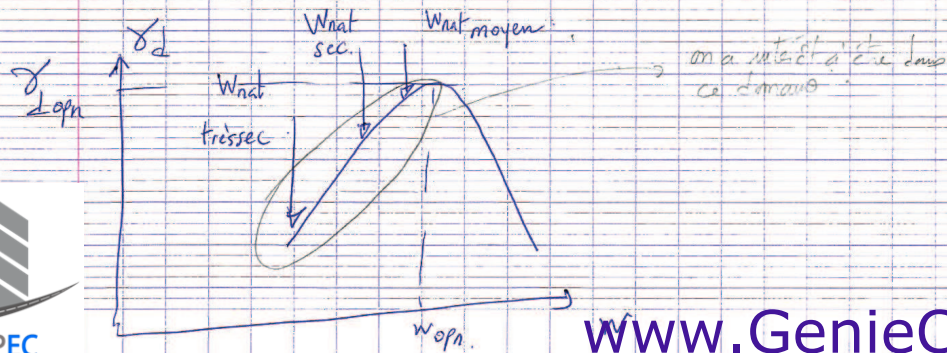
essai de cone → couche d'émulsion pour permettre la circulation de engins et (ne pas perdre son eau?)

Compaction Matériau

Matériau

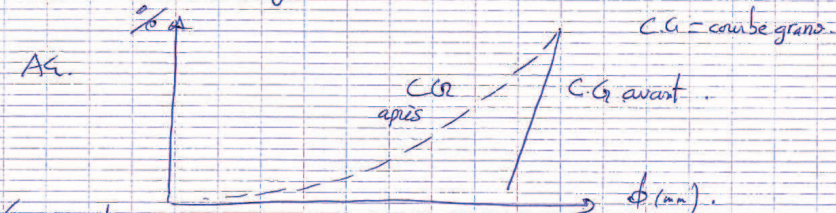


on assure pas l'effet
d'enclume.



compacité ↑ ≠ Portance ↑
Donc il faut vérifier les 2 critères.

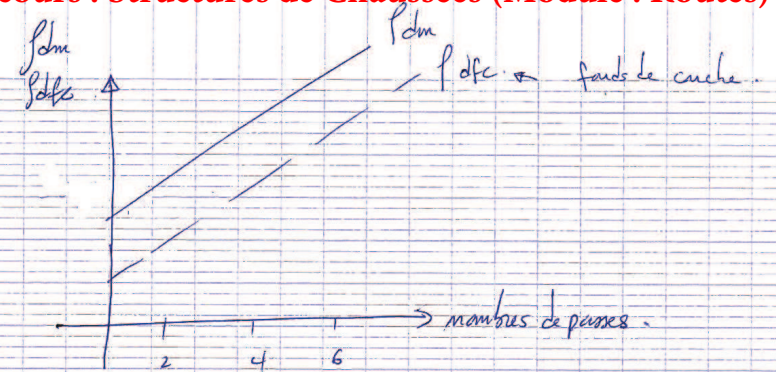
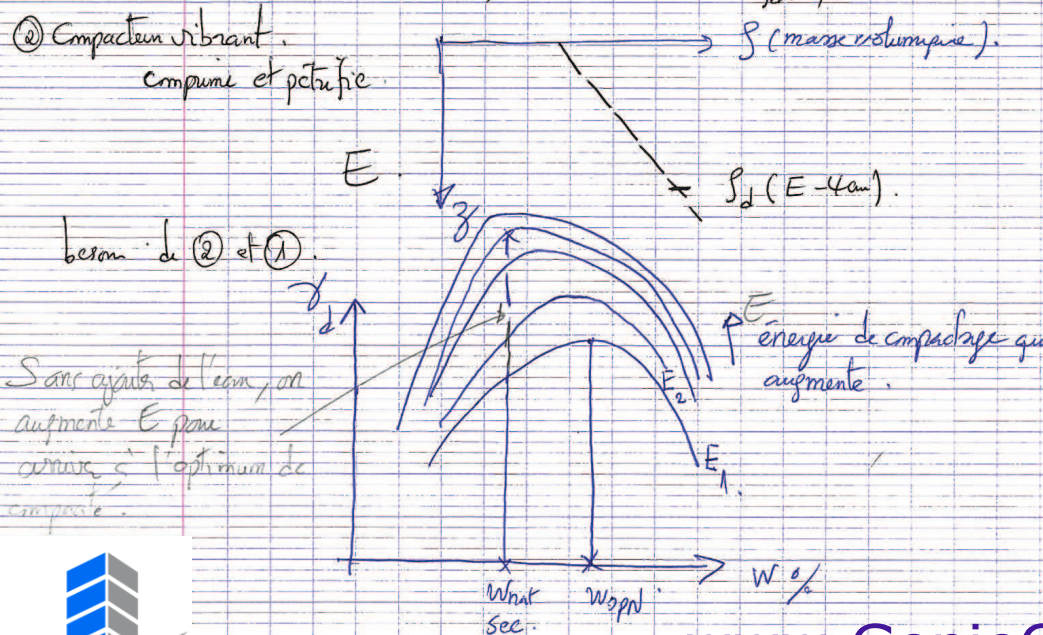
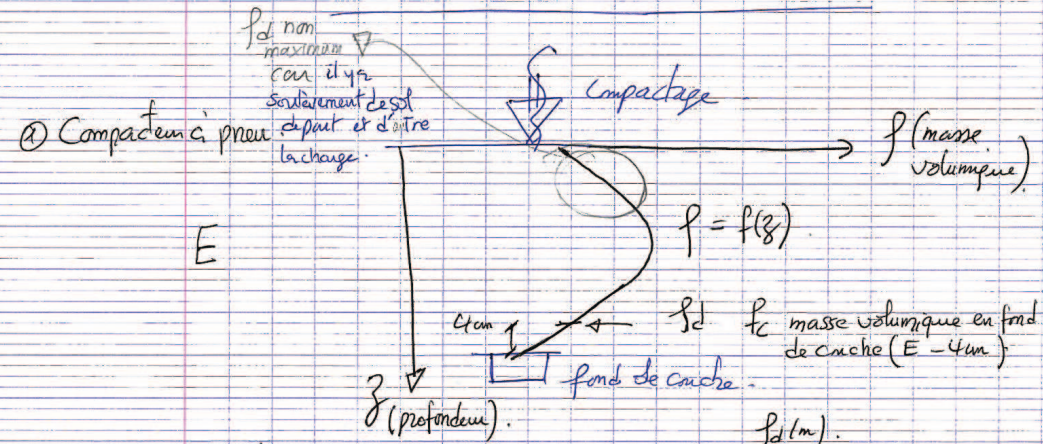
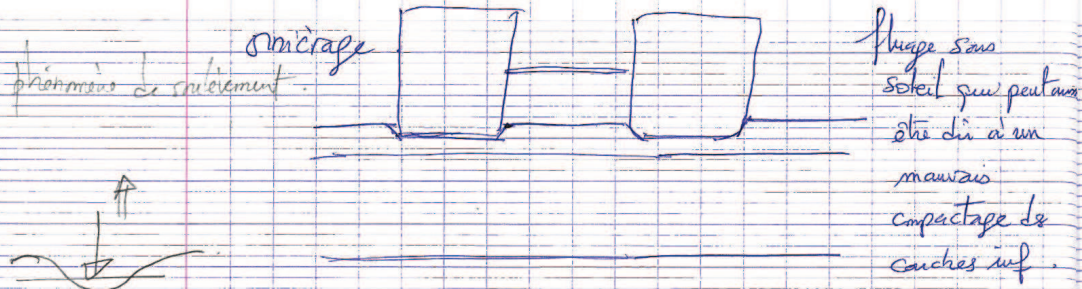
fragmentabilité FR = $\frac{D_{10 \text{ initial}}}{D_{10 \text{ final}}}$
FR ↑ ⇒ Roche fragmentable.



dégradabilité? : 5 cycles d'imbibition et d'échauffement. ⇒ FR

Objectifs de compactage
→ Supprimer les déformations ultérieures.
→ augmenter les caractéristiques mécaniques.
→ assurer la perméabilité.
↓
éviter effet de renouage





Assises de chaussées.

Tenassements

f_d réf. (OPM)

f_d réf. (OPN)

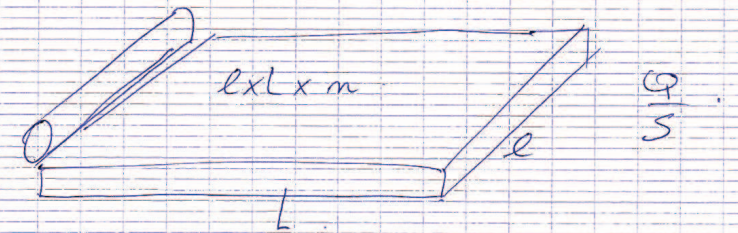
↑ plus on monte, plus on exige une qualité de compactage plus importante

Contrôle de compactage sur chantiers.

Densité-mètre à membrane.

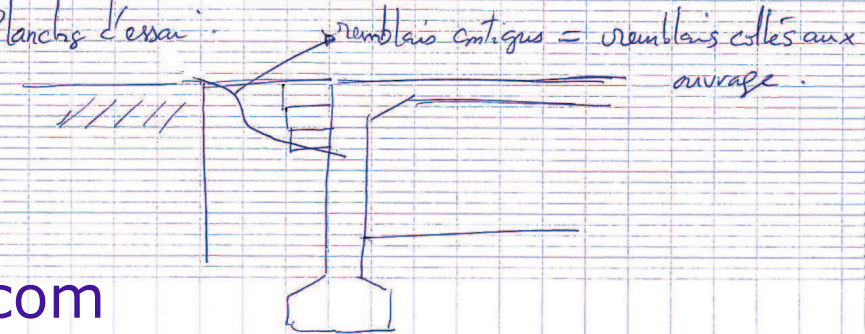
essai externe. → Gamma densimètre.

Méthode Q/S = $\frac{\text{volume du sol compacté pendant } \Delta t}{\text{surface balayée par compacteur pendant } \Delta t}$



pour tous compactage

↓ Planchis d'essai



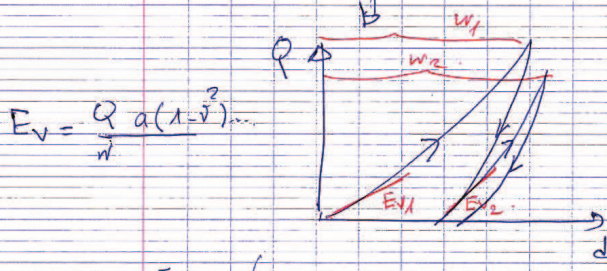
Notes de cours : Structures de Chaussées (Module : Routes)

Compacteur P_1 (à pneu).
 V_1 (vibreur).

Q permet de savoir de compacteurs à mettre (urgence).

contrôle externe

Essai à l'aplique → mesure de déflexion w .



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

engénéral $E_{v2} > E_{v1}$

$$k = \frac{E_{v2}}{E_{v1}} \quad (k \leq 1,25)$$

même de déflexion par une règle sur chantiers fixe.

compactage satisfait.

Essai à la dynamique

$$R = \frac{h \text{ de rebond}}{h \text{ de chute}}$$

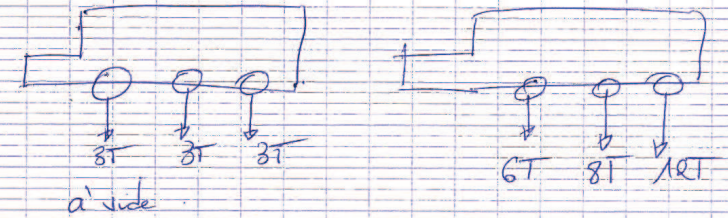
$R > 40\%$: pour chaussée simple non traitée

Engins de terrassement:

Exemple 2:

Dans la province d'El Jajaja, un exploitant projette la construction d'un tronçon de route d'accès à sa carrière sur une longueur de 3km avec une largeur de chaussée de 5m. La quantité moyenne de granulats à transporter chaque jour est de 2890 tonnes. Le transport sera assuré par des camions solitaires à 3 axes ayant la silhouette suivante:

Notes de cours : Structures de Chaussées (Module : Routes)



on suppose que :

le nombre de ce PL croîtra annuellement de 2%

Le trafic est équilibré dans les 2 sens.

la durée de vie est de 10ans (route).

La structure de chaussée à adopter est de type semi rigide

le projet sera réalisé dans une région de 350mm/an. Pas de pb d'instabilité de terrain pour la route.

le projet se développe horizontalement et les dispositifs de drainage sont jugés non satisfaisants.

entente de nbs

D_{max}	$> 2mm$	$< 208mm$	w_L	w_p	w	w_{opt}	$ PI $
45	23	32	27	13	9,2	11	7

$$n_b (\text{camions/jour}) = \frac{2890}{(26-9)} = 170 \text{ camions/jour}$$

$$N_E = 365 \times 170 \left(\left(\frac{6}{13}\right)^8 + \left(\frac{18}{13}\right)^8 + \left(\frac{12}{13}\right)^8 \right) \times 1,15 \times \frac{(102)^{10}}{202}$$

$$N_E = 560 \text{ } 530 \text{ passages en deux sens} \rightarrow \text{TRAS}$$

D'après caractéristique de sol → BG

d'après Tableau p. 14 → niveau ST1

$$ST1 < P_{mi} = P_2 \Rightarrow \text{nécessité de cdf}$$

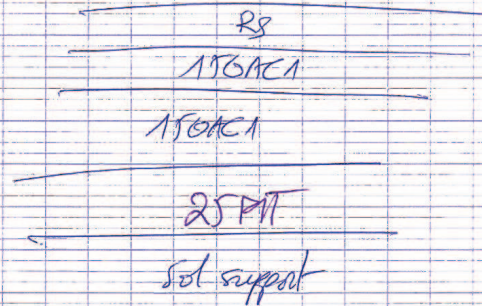


2 variantes $\left\{ \begin{array}{l} 10AC + 25cm F1 \\ 25PTT \end{array} \right. \rightarrow \left[\begin{array}{c} P \\ a \end{array} \right]$

A partir catalogue : 2 variantes.

- 15 GAC1 + 15 GAC1 + RS / ECF
- 10 GAC2 + 10 GAC2 + RS / ECF

GAC
↓
Graves armées au ciment
ECF
↓
enrobé sable à froid.
RS
revêtement superficiel.



Méthode empirique AASHTO : $SN = \sum a_i D_i$

Exemple 1

En utilisant la méthode AASHTO, dimensionner une chaussée simple unidirectionnelle devant recevoir un trafic initial de 75 poids lourds par jour dont l'essieu arrière est chargé à 13 tonnes et l'essieu avant à 5 tonnes. La croissance du trafic est 8% durant les 7 premières années et de 5% durant les huit années restantes. On prendra un indice régional de 1, un niveau de service final $P_f = 2$ et un CBR du sol support de 3.

18 kips = 8,2 tonnes
G est du à l'essieu de chevauchement.

$$N = 365 \times 75 \times 25,29 \left[\left(\frac{13}{8,2} \right)^4 + \left(\frac{5}{8,2} \right)^4 \right] = 4,49 \cdot 10^6 \text{ essieux}$$

de 8,2t
CBR = 3 $\rightarrow S = 3,2$

Abaque $\rightarrow SN = 4,65 \text{ pouces} = 11,81 \text{ cm}$

On peut proposer :

10GEB	x 0,44
10GBB	x 0,34
20GNA	x 0,14
30GNF	x 0,11

$12,14 = SN$
 $> 11,81 \text{ cm}$
on doit avoir $SN > 11,81 \text{ cm}$

Exemple 2

Une ancienne chaussée constituée d'une couche de 15cm de blocage de pierres surmontées de 10cm d'un ancien enrobé a supporté pendant 20ans un trafic cumulé estimé à 10^6 essieux à 8,2t.

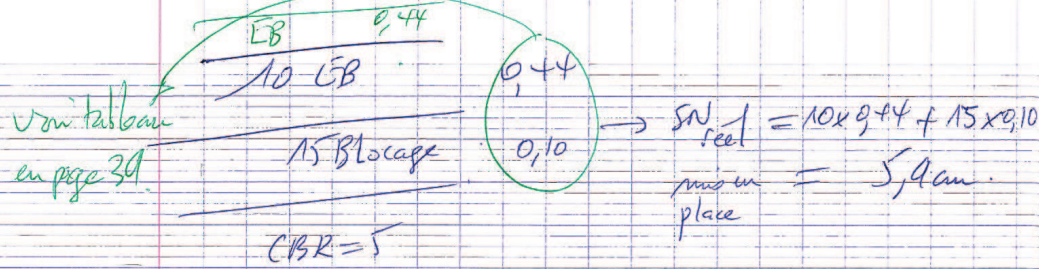
blocages
fonctionnent
comme GNT.

a) D'après la méthode de AASHTO (avec un niveau de service $P_f = 2$ et un indice régional $R = 0,75$), l'ancienne structure peut-elle encore supporter le trafic ? On considérera que le coefficient d'équivalence de l'enrobé est passé de 0,44 à 0,26 pendant ces vingt ans ; celui du blocage restant constant.

b) On veut renforcer cette chaussée pour supporter un trafic supplémentaire de 280 000 essieux de 8,2t, quelle épaisseur d'enrobé EB doit-on rajouter ?

Avant 20 ans (simple cou neu traité avec ciment).





Abaque CBR=5 → S=4

$N = 10^6 \left(\frac{5,2}{8,2} \right)^4 = 161 720$ moins de (8,2)

$(SN)_{th} = 23'' = 2,3 \times 2,54 = 5,84 \approx SN_{moins en place}$

↳ on arrive pratiquement à la fin de la durée de vie de la chaussée

2) Renforcement

Abaque S=4 N = 280 000 à 8,2

$R = 0,75 \rightarrow SN = 26''$

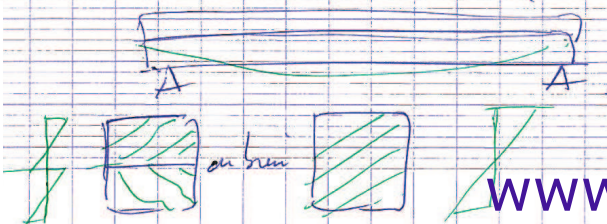
$SN = h \times 0,44 + 10 \times 2,26 + 15 \times 0,10 = 2,6 \times 2,54 \rightarrow$

$h = 5,7 \text{ cm}$

$h = 6 \text{ cm}$

Prédimensionnement :

- minimiser le nombre d'intéras (discontinuités)



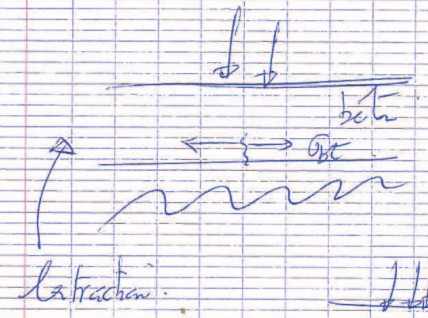
coefficient de collage permet de passer de valeurs trouvés sur petites éprouvettes au valeur sur chaussée

Grave bitume E=86Pa

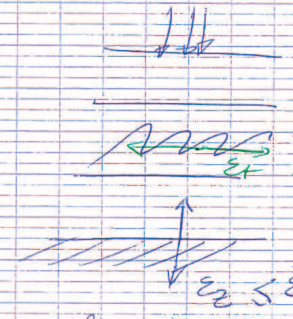
Enrobé bitumineux E=60Pa < 86Pa car D_{max} et plus grande

bitume à 20°C → solide mais quand on le chauffe et le laisse → atteint un pt de ramollissement et se solidifie → devient cassant (à 19°C et 10Hz)

T_{équivalente} vitesse de chargement



- Critères de rupture sous quelle conditions
- traction du béton
 - le poinçonnement sol
- Chaussée bitume
- omierage = suite de roue
 - poinçonnement sol



l'optimum est d'avoir la rupture dans les 2 couches au même temps

traction = allongement = négatif $\sigma, \epsilon < 0$

compression = raccourcissement = positif $\sigma, \epsilon > 0$

critère enrobé bitumineux

↑ allongement / traction



$$N_e = 365 \times 2500 \times 1 \times 0.9 \times \frac{1.06^n - 1}{0.06} = 1490 \frac{1.06^n - 1}{0.06}$$

Au niveau du sol

$$0.33 \cdot 10^{-3} < 16 \cdot 10^{-3} N^{-0.22} \rightarrow N < 45903 \text{ passages}$$

$$\rightarrow n < 5.4 \text{ années}$$

Au niveau de la GBB:

$$0.128 \cdot 10^{-3} < 0.150 \cdot 10^{-3} \left(\frac{N}{10^6}\right)^{-0.20} \rightarrow N < 2.21 \cdot 10^6 \text{ passages}$$

$$\rightarrow n < 15.6 \text{ années}$$

chaussée non optimisée car sol trop peu sollicité

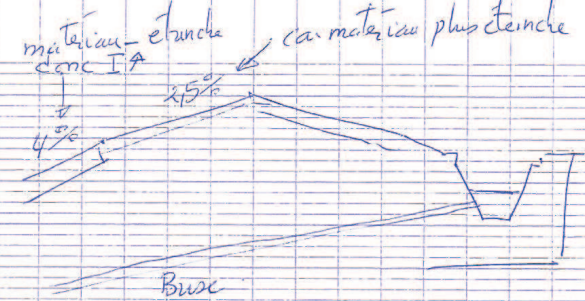
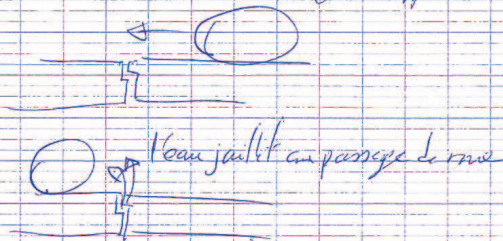
↓ assouplir un peu plus l'ensemble et la GBB.
(13a14 GBB et 5 EB).

Drainage et assainissement des chaussées

L'eau: l'ennemi n°1 de la chaussée

Dureté → chute d'adhésion avec l'usure en présence de l'eau.

effet ventouse = succion de l'eau appel à l'eau et à l'air



Sol compressible } colonnes ballastées pour drainage.
drains verticaux

matériaux drainants → colonnes avec angle tranchées
Matériaux pour caps de chaussée.

Enduit superficielle } matériaux les plus utilisés.
Enrobe bitumineux }
ENT

↓ Perte par frottement interne (angle de frottement dépend du angle de concassage)

mat. intergranulaire → attrition (abrasion) répétée (cyclique)

Présence

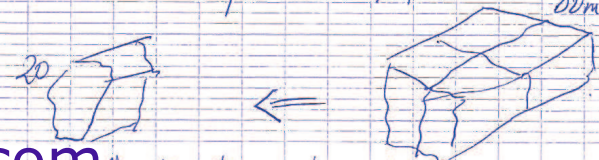
obligation d'arrêter vite

Indice de concassage I_c d'une grave 9D

Crave 0/20 d' $I_c = 70$

ca'd 70% des éls a'ait un $D > 20 \text{ mm}$ après concassage

Rapport de concassage R_c d'un granulat d/D.
concassé par $R_c > 4$. 80mm



obligatoirement angulaire

Notes de cours : Structures de Chaussées (Module : Routes)

Stabilité de couche dépend de l'ampoulement de grains.

Sompensation

MDE ne répond pas alors LA doit être plus contraignant
Ex: compensation de 5% entre LA et MDE.

↓
résistance au choc/trafic
↓
usure ac à l'eau/sans l'eau

me réagit que physiquement.
bitume → pavon agglutinant (qui colle).
Facilement adhésif.
Très étanche.
rigide à température ambiante.
Stable (pas de retrait).
Pas de plasticité → s'amplexe.
résistant aux acides, alcalis, sels.

* Cutback = bitume fluidifié (par dissolution de solvant)
évaporation de l'eau ⇒ durcissement.

bitume { * Mélange à l'eau (émulsions).
* chauffé à haute température.

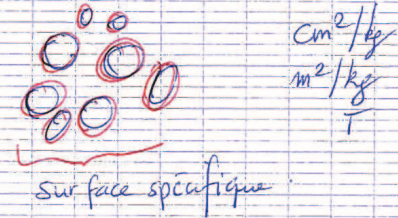
essai de pénétration à 25°C.
bitume mou = dur
chaux → température/climat région + trafic.

analogie à la prise
Viscosité Angler → % de bitume dans émulsion.
(EB, GE)
Rupture émulsion ⇒ plume (séparation de 2 phases B/Eau)
↳ Rapide (ES, ...)
émulsion sur stabilisée.

Notes de cours : Structures de Chaussées (Module : Routes)

fissuration de l'interface → par la fatigue.

DOP d'adhérence ⇒ adjuvant qui améliore l'adhérence entre le bitume.



à 0,2% de # de bitume ⇒ l'ornièrage et l'égouttoir de la terre en bitume.

L'eau → moyen de désendragage.
PCC et durci ⇒ essais mini par formulation.

Notes de cours :

Module : Routes

Elément de module : Structures de Chaussées.

Enseignant : M. Khaled LAHLOU

Notes prises par :

M. Amine ZARZOUN (EHTP'2015)

Génie Civil - Infrastructures de Transport

