

ÉVALUATION DU
COMPORTEMENT DES
GRAVES NON TRAITÉES

M. AFECHKAR (CNER)

L'augmentation continue tant en poids qu'en nombre du trafic rend de plus en plus important le dimensionnement des structures de chaussées.

La maîtrise de cet aspect est tributaire aux caractéristique du trafic, du sol support, des conditions climatiques et des propriétés intrinsèques des matériaux constituant le corps de chaussée. Il s'agit là en fait, d'un problème fort complexe : des problèmes connexes de caractéristique de granulats (module de rigidité) de sol, de drainage et de compactage...

Ces derniers points ne feront pas l'objet de la présente communication : celle-ci se limitera à l'essai relatif à l'influence de la répétition des charges sur la déformabilité des couches de chaussées.

En effet, les examens effectués sur les chaussées, soumises à des trafics variés ont montrés les effets néfastes des chargements répétés sur leurs comportements. Ceux-ci provoquent l'apparition soit de déformation permanentes, soit de déformations élastiques de la chaussée, qui ont pour conséquence :

- des déformations qui se manifestent par des irrégularités notamment celles du profil transversal (ornièrage) ;
- des fissurations qui, lorsqu'elles se produisent, engendrent des infiltrations d'eau dans le corps de chaussée et entraîne ainsi une chute de portance de cette dernière.

La nature et la composition du trafic en poids, sa répartition transversale, la période de l'année ou de la journée sont des facteurs primordiaux qui conditionnent l'action de la répétition des charges sur la déformabilité des couches des chaussées.

Les travaux entrepris dans ce cadre ont pour but de :

- déterminer les modules de rigidité des GNT et éventuellement des matériaux locaux à utiliser dans la construction des chaussées ;
- comparer les caractéristique des matériaux traditionnels à ceux des matériaux hors normes pour pouvoir juger du rôle économique et technique que peut jouer l'utilisation de ces derniers dans la construction routière ;

- rechercher les différentes classes de graves et qui peuvent servir à mieux les différencier.

Dans la présente étude ,et moyennant l'essai de chargement répété différentes graves non traitées (de Meknès et d'Akrach) ont été testées au laboratoire et les principaux résultats vont être développés à travers cet exposé.

DÉFORMATION D'UN MASSIF SEMI-INDÉFINI DE SOL SOUS CHARGEMENTS RÉPÉTÉS

Lorsqu'on applique une pression p (en km/cm^2) sur un massif semi-indéfini de sol, par l'intermédiaire d'une plaque circulaire de diamètre $2a$ (en cm), et qu'ensuite on supprime cette pression, on définit la relation suivante, qui se trouve vérifiée pour les déformations verticales : (voir fig3).

$$Z_{t,a,p} = Z_{e,a,p} + Z_{p,a,p} \quad (1)$$

Avec :

$Z_{t,a,p}$: déformation totale verticale au premier cycle, sous la pression P , avec une plaque de diamètre $2a$

$Z_{e,a,p}$: déformation verticale élastique, sous la pression P , avec une plaque de diamètre $2a$.

$Z_{p,a,P}$: déformation verticale permanente au premier cycle, sous la pression P , avec une plaque de diamètre $2a$.

Les déformations verticales sont exprimées en mm.

Pour les chaussées on doit réduire les déformations permanentes et totales. Il faut aussi que la déformation élastique soit la plus constante possible pour bien caractériser les matériaux.

Si l'on applique plusieurs fois de suite la pression P, il subsiste à chaque application une nouvelle déformation permanente plus petite que la précédente mais qui s'y ajoute, la loi qui régit les déformations verticales totale et permanente après N applications de la charge, s'écrit.

$$Z_{t,a,P}^N = Z_{t,a,P}^1 + \beta_{a,p} \cdot \log N \quad (2)$$

$$Z_{p,a,P}^N = Z_{p,a,P}^1 + \beta_{a,p} \cdot \log N \quad (2 \text{ bis})$$

Avec :

$Z_{t,a,P}^N$: déformation verticale totale au $N^{\text{ème}}$ cycle, sous la pression P, avec une plaque de diamètre 2a.

$Z_{p,a,P}^N$: déformation verticale permanente au $N^{\text{ème}}$ cycle, sous la pression P, avec une plaque de diamètre 2 a.

$\beta_{a,p}$: accroissement de la déformation pour un module de l'échelle logarithmique de base dix, pour une pression P, appliquée avec une plaque de diamètre 2 a.

N : Le nombre de répétitions

On a aussi

$$Z_{p,a,P}^N = Z_{a,e,P}^N + Z_{p,a,P}^N \quad (1 \text{ bis})$$

ESSAIS DE COMPRESSION DE RÉPÉTÉS : CAS DES GRAVES D'AKREUCH ET DE MEKNES

1 - EPROUVETTE D'ESSAIS

La grave à étudier est mise en place dans l'éprouvette de manière à assurer une compacité sur toute l'épaisseur de la couche en prenant comme référence la compacité à l'optimum proctor modifié.

La grave compactée à l'aide de la dame vibrante est ensuite soumise aux chargements répétés par le biais d'un dispositif de mise en charge comprenant l'appareillage suivant :

- * Un chassis de réaction
- * Un verin hydraulique
- * Un anneau dynamométrique
- * Une colonne de rallonge
- * Une rotule de fixation
- * des comparateurs pour mesurer les déformations.

Les charges auxquelles sont soumises ces éprouvettes (d'épaisseur de 20 cm, 35 cm ou 50 cm) sont 2T, 3,5T et 5,6T représentant respectivement l'action d'un véhicule léger, un véhicule moyen et un véhicule poids lourd. Le diamètre de la plaque utilisée est de 31 cm.

Ensuite les déformations sont mesurées après stabilisation, ainsi deux mesures sont relevées :

- en charge, pour obtenir la déformation totale Z_t
- après déchargement, pour obtenir la déformation permanente Z_p .

Les mesures sont relevées pour chaque intensité de la charge, à chaque cycle pendant les cinq premiers, puis tous les dix cycles jusqu'à cent, ensuite tous les cents cycles jusqu'à cinq cent cycles et finalement une mesure à mille cycles éventuellement.

Le tableau suivant récapitule le programme d'essai sur les deux graves.

Nature du matériau	Grave d'Akra ch Rabat						Grave d'Adaroch(Meknes)					
W%	Wopt			Wsat			Wopt			Wsat		
Nbre de cycles N	200	500	1000	200	500	1000	200	500	1000	200	500	1000
P(T)	2	3,5	5,6	2	3,5	5,6	2	3,5	5,6	2	3,5	5,6
h(cm)	20						20					
h(cm)	35						35					
h(cm)	50						50					
yopt	2,06						2,06					

2 - INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

a - Influence de la charge et du nombre de cycle sur la déformation verticale

1 - Déformation du massif :

Lorsqu'une charge roulante circule sur une chaussée on observe, au passage de la charge, une déformation de la surface de la chaussée, en partie irréversible et en partie réversible. Cette dernière, appelée aussi déformation élastique, est en première approximation constante les courbes ($Z_t, \log N$) et ($Z_p, \log N$) parallèles en témoignent.

2 - Influence sur l'allure des déformations totale et permanente :

Dans le cas du chargement à $2t$, les courbes ($Z_t, \log N$) et ($Z_p, \log N$) sont pratiquement linéaire. Un faible écart à la linéarité est enregistré aux premiers cycles déchargement. Il se manifeste généralement entre 20 et 30 cycles, cet écart à la linéarité est du à l'effet du comptage.

Pour les chargements à $3.5t$ et $5.6t$, on observe un changement dans les pentes des droites des déformations ($Z_t, \log N$) et ($Z_p, \log N$) augmentation brusque des déformations. Ce changement des pentes s'effectue simultanément pour les déformations permanentes et totales entre 40 et 50 premiers cycles pour le cas de chargement à $5.6t$.

Ces résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Carge	Nb de cycle corresponddant à l'appraition du coude
2t	entre 20 et 30 cycles
3.5t	entre 40 et 50 cycles
5,6t	entre 60 et 70 cycles

Carge Nb de cycle correspondant à l'apparition du coude 2 entre 20 et 30 cycles 3.5 entre 40 et 50 cycles 5,6 entre 60 et 70 cycles

Le changement de pente dans les courbes ($Z_t, \log N$) et ($Z_p, \log N$) peut trouver son explication dans le fonctionnement structural des graves.

En effet, lorsqu'une charge est appliquée au droit d'une pierre coincée entre d'autres, les pierres adjointes participants à l'épanouissement des pressions.

Les matériaux testés granulaires sans cohésion, il ne peut y avoir de traction entre les grains, il ya uniquement compression. Pour résister à l'effort de chargement cyclique, les grains s'appuient les uns contre les autres g, ce à l'effet de frottement.

Ainsi, lorsqu'on augmente la charge, la déformation en fonction du logarithme du nombre de cycles reste linéaire jusqu'à un certain seuil du nombre de cycles ou la force de butée reste vaincue, suite à l'usure des points de contact par attrition entraînant le glissement et le réarrangement des grains. Ce qui implique l'apparition du coude et l'accentuation des déformations. Ce coude représente donc la fin d'une histoire de contrainte et le début d'une restructuration du matériaux sous la nouvelle contrainte.

b - Influence de la présence d'eau dans le sol :

1 - Influence de l'eau sur la déformation réversible :

Les résultats des tableaux (1) et (2) relatifs à la déformation réversible montrent que les valeurs des déformations réversibles Z_e enregistrées lors des essais effectués avec saturation, et ceci pour une même charge.

Ce phénomène peut trouver son explication dans la lubrification des contacts entre les grains, qui améliore la réversibilité des déformations.

L'augmentation de la charge telle qu'elle est illustrée dans les tableaux (1) et (2) entraîne une augmentation de la déformation élastique Z_e et ceci pour une épaisseur donnée.

Et dans le cas des essais avec saturation, les pressions interstitielles s'ajoutent aux pressions de contact. Ainsi le massif subit une augmentation des pressions et par conséquent les déformations élastiques augmentent.

La déformation réversible décroît quand l'épaisseur augmente, et ceci pour la même charge.

2 - Influence de l'eau sur l'allure des déformations totales et permanentes :

Dans les massifs saturés, l'apparition du coude, quand il y est, retardée par rapport au cas du même massif non saturé, pour la même charge.

Ceci est probablement dû à la différence des histoires de contraintes dans les deux cas. En effet les massifs saturés "gardent en mémoire" les empreintes du programme de chargement avant saturation.

Tableau récapitulatifs des résultats des déformations avec et sans saturation des graves en fonction des épaisseurs des couches et des charges exercées.

P(T) → e(cm) ↓	2		3.5		5,6	
	AS	SS	AS	SS	AS	
20	0.75	0.70	1.03	1	1.69	
35	0.663	0.68	0.94	0.85	1.26	
50	0.577	0.5	0.776	0.703	1	

Tableau(1) Grave d'AKRACH (RABAT)

P(T) → e(cm) ↓	2		3.5		5,6	
	AS	SS	AS	SS	AS	
20	0.777	0.91	1.27	1.05	1.866	
35	0.578	0.514	0.86	0.795	1.166	
50	1.022	0.53	0.777	0.783	1	

$$Z_p = -1,74 + 54,08 \frac{P}{h} - 23,91 \frac{P * \text{Log}(N)}{h}$$

et pour la grave de MEKNES L'équation :

$$Z_p = -2,74 + 81,78 \frac{P}{h} - 35,83 \frac{P * \text{Log}(N)}{h}$$

On observe (tableau1) que , globalement, la régression est correcte car le carré du coefficient de corrélation R^2 vaut 0,94, c'est-à- dire que les variations de N, de P et de h expliquent 94% des variations de Z_p .

Tableau1 : estimation des coefficients de régression et de leur écart type.

Variable	coefficient	ecart type	valeurT (student)	Prob>T	R=0,97 R2=0,94 D.W=0,94
Constante	-1,74 47	0,1664	-10,4812	< 0,001	
P/h	54,0 758	5,1773	10,4448	<0,001	F stat. (régres) =428,5
P*Log(N)/h	-23,9 143	1,5865	-15,0735	<0,001	Prob>F=<0,001

CONCLUSION

Le présent rapport montre que les essais de chargement répétés permettent de :

- * Caractériser le comportement des GNT
- * établir des lois d'Évolution des déformations des deux graves
- * mettre en évidence les différences de comportement existant entre les graves testées.
- * étudier l'influence des caractéristiques des graves et de la mise en oeuvre sur le comportement sous compressions répétées.

Ces résultats ainsi obtenus encouragent donc à multiplier les études sur d'autres catégories de graves afin d'aboutir à une description précise de leurs propriétés mécaniques et plus précisément les propriétés de déformabilité vis à vis de l'action du trafic, par des lois expérimentales.