

ROYAUME DU MAROC

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS

DIRECTION DES ROUTES

CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET IMPACTS SUR LES INFRASTRUCTURES ROUTIERES

Cas de la plaine du Gharb

8EME CONGRES NATIONAL DE LA ROUTE IFRANE

LES 3 ET 4 JUIN 2010

COMMUNICATION (THEME 2)

Mohamed HIMMI, Mohamed AFECHKAR et Rachid TABBOUCHY (CNER)

I. INTRODUCTION

L'environnement climatique joue un rôle important dans le dimensionnement et les travaux de construction et d'entretien des chaussées et leur dépendances, pour le choix des techniques à adopter, ainsi que dans la sécurité de la circulation routière.

Les précipitations importantes de la saison hivernale 2009/2010 ont perturbé considérablement la circulation routière, particulièrement dans le Rif, le préif, le Gharb, le Tadla-Azilal et la région du Sous-Massa-Daraa. Ces pluies ont engendré des crues exceptionnelles et ont causé des coupures au réseau routier. Ainsi, à la date du 16 Mars 2010, 57 points de coupures ont été enregistrés sur 18 provinces et ont concerné des axes routiers structurants importants tels que la RN1, RN8, RN6, RR413.

Ces coupures ne sont pas dues seulement à l'effet direct de l'eau qui inonde la chaussée mais également à ses effets indirects à travers les éboulements, les glissements de la plate-forme routière et la dégradation des accès des ouvrages.

Ainsi, les changements climatiques vécus ces dernières années, caractérisés par une forte intensité pluviométrique généralisée, ont mis à rude épreuve l'infrastructure routière notamment dans la région du Gharb où plusieurs sections de routes ont été inondées et sont restées sous eau pendant plusieurs jours, ce qui a entraîné une forte dégradation des chaussées et leurs dépendances et engendre une réduction importante de leur durée de vie.

La présente communication a pour objet d'évaluer l'impact des dernières pluies sur l'état du réseau routier structurant de la région du Gharb (Kenitra et Sidi Kacem) et faire quelques recommandations générales pour sa remise en état et son développement futur.

La première partie de la communication sera réservée à un bref rappel théorique de l'effet négatif de l'eau sur les structures de chaussées, plateformes et dépendances ;

Dans une seconde partie on présentera une description sommaire des dégâts subis par certaines routes auscultées par le CNER dans la région ;

Dans une troisième partie, on présentera des résultats de mesures d'auscultation (relevé de dégradations et mesures de déflexion sur la RN1).

Dans une quatrième partie, on traitera l'effet de l'eau (immersion prolongée) sur les durées de vie de chaussées en GNT et en béton bitumineux, et ce à travers des travaux de recherches à l'échelle internationale et des études au laboratoire réalisées par le CNER. Dans la dernière partie de la communication seront formulées des conclusions et recommandations qui pourraient être utiles pour la remise en état des routes dégradées et pour le développement futur du réseau routier dans les zones inondables.

II. RAPPELS SUR LE ROLE DE L'EAU ET L'IMPORTANCE DU DRAINAGE ET DE L'ASSAINISSEMENT ROUTIERS

“L'eau et la route ne font pas bon ménage ” est un adage très connu par les ingénieurs routiers. Ainsi, assainir et drainer plateformes, assises et corps de chaussée est un objectif souvent mentionné par ces ingénieurs.

En Outre, un examen des pratiques, des concepteurs et gestionnaires des chaussées et des modèles techniques utilisés pour surveiller, évaluer et prévoir la performance des chaussées révèle que l'eau et donc les autres contraintes climatiques – constituent des facteurs importants dans au moins trois processus de détérioration :

- la fissuration due aux contraintes thermiques,
- les nids de poule dues aux infiltrations d'eau, au trafic,...
- les déformations
- le soulèvement par le gel (et l'affaiblissement par le dégel) à craindre au niveau des zones froides (moyen et haut Atlas) ;

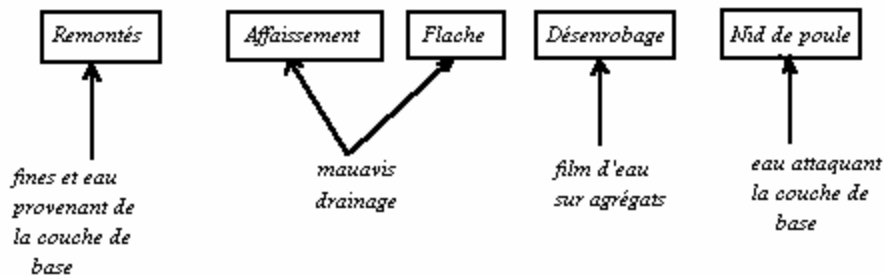
Les méthodes actuelles de conception et de construction des chaussées posent l'hypothèse d'un climat stable (intensité de précipitations, fluctuation de température,...). Alors que, les changements climatiques anthropiques (fréquence, durée et gravité) ont sûrement un effet néfaste sur le comportement des chaussées ce qui entraînerait une détérioration prématurée de ces dernières.

En effet:

- 1- L'eau de ruissellement à la surface de la chaussée occasionne une baisse importante du niveau de service offert à l'utilisateur et peut mettre fin à ce service lorsque l'épaisseur de la lame d'eau à la surface de la chaussée dépasse une certaine valeur ;

- 2- L'eau contenue dans les couches de la chaussée est un élément décisif de l'accélération des dégradations des structures des chaussées;

La présence de l'eau dans le corps de la chaussée peut se manifester par différents types d'indices et de dégradations :



III. PROCESSUS DE DÉGRADATION

Chaque chaussée se comporte différemment selon, entre autres, la nature des sols, la position de la nappe phréatique, l'épaisseur des couches, le climat, le type de chaussée, sa géométrie, les caractéristiques des matériaux de construction, le trafic. Il faut considérer tous ces paramètres pour diagnostiquer adéquatement les causes de détérioration.

La compréhension des phénomènes de détérioration des chaussées permet de trouver des solutions pour mieux les contrer, mais, hélas, les changements climatiques, la modélisation de leurs actions sur la chaussée est une question qui n'est pas encore cernée et elle continue à faire l'objet d'études et de recherches.

L'état des routes est un concept qualitatif. Une route pourra être considérée par une personne comme étant en mauvais état alors qu'un autre individu pourrait dire de la même route qu'elle est dans un état acceptable. Par contre, il y aura unanimité en présence de nids-de-poule : la route est en piètre état.

Les nids-de-poule ne sont pas les seuls facteurs qui peuvent faire qu'une route sera en mauvais état; il est bien sûr postulé que si ces facteurs sont plus abondants en un endroit qu'à un autre, la route sera en plus mauvais état, toutes choses étant égales par ailleurs.

Les facteurs précurseurs des dégradations sont diversifiés et s'interfèrent entre eux, en effet:

La formation d'un nid-de-poule qui est une dégradation très préjudiciable à la bonne tenue de la chaussée est liée à la présence de fissures à la surface du revêtement. Ces fissures sont attribuables à une multitude de causes : ségrégation dans l'enrobé, faiblesse localisée dans les fondations, épaisseur d'enrobé insuffisante, joints de construction, retrait thermique de l'enrobé, oxydation du bitume de l'enrobé, infrastructure gélive, et autres...

Sous l'action du passage répété des véhicules et des cycles d'humidification (précipitations) séchage et de gel et de dégel (s'il y'en a), le niveau de sévérité de ces défauts s'accroît. On observe alors de l'épaufrure des parois et la ramification des fissures.

La sévérité de ces défauts est favorisée par l'infiltration d'eau dans le corps de chaussée et entre les couches (si le collage des interfaces n'est pas bien fait) et au niveau des fondations, ce qui provoque leur affaiblissement.

Comme il vient d'être cité, l'agressivité climatique et notamment l'eau a sûrement un rôle dans la dégradation prématurée des chaussées. L'alternance de températures positives et négatives (cette alternance peut s'opérer à l'échelle d'une journée) induit des contraintes assez importantes qui abîment le revêtement et amènent à la formation des nids de poule. Dès qu'une fissure apparaît dans le revêtement des routes, c'est un point vulnérable qui conduira irrémédiablement à la formation d'un nid de poule.

Les fortes chaleurs provoquent aussi des déformations des chaussées. Là, c'est la dilatation qui est à l'origine des dégâts. Le sol peut être très fortement chauffé par les rayons du soleil et la température peut être très élevée provoquant la dilatation des matériaux. Comme il s'agit de faibles épaisseurs des couches, les tensions se produisent parallèlement à la surface de la route. Comme l'augmentation de volume peut être très forte, le revêtement va se soulever. Ce qui donne parfois des images assez impressionnantes des routes surtout si elles se développent sur des sols argileux de forte plasticité et de fort degré de gonflement comme le cas de la région du Gharb par exemple. Ces processus et leur célérité sont tributaires de type de structure de chaussées :

- Pour les chaussées souples, une plate- forme mal drainée, fortement sollicitée par le trafic lourd, présentera une portance amoindrie et sera plus sensible aux déformations irréversibles.
- Pour les chaussées semi-rigides, la présence de l'eau se manifeste surtout par des circulations aux interfaces des couches, une accélération de la dégradation des fissures de retrait et favorise le phénomène de pompage.
- Pour les chaussées rigides, la présence de l'eau favorise la naissance du phénomène de "pompage", au droit des joints de dalles et en rive, ce qui est la cause majeure de dégradation des chaussées.

Les problèmes qui peuvent être causés à la route par les effets de l'eau se présentent différemment en fonction du terrain traversé (Terrains plats : plaines; terrains vallonnés, accidentés : collines ou terrains montagneux).

Dans le cas des terrains plats (exemple du Gharb), l'eau s'étale en nappes étendues; elle s'écoule lentement vers des points bas. Le captage en amont nécessite une bonne étude topographique de la région et souvent des ouvrages spécialement adaptés à la situation. L'évacuation en aval peut présenter des problèmes de nappe à faible courant en retour, ou des inondations et les conséquences de bon voisinage des riverains. Les nappes phréatiques sont souvent très proches de la surface du sol, et présentent des battements importants. Des nappes d'eau superficielles se forment, avec dépôts de matériaux, ce qui peut conduire à des modifications de parcours d'écoulement. Il est souvent nécessaire de réaliser la chaussée sur remblai en vue de la mettre hors d'eau. Se pose alors tous les problèmes de dimensionnement des ouvrages de franchissement.



IV. DESCRIPTION SOMMAIRE DES DÉGÂTS SUBIS PAR CERTAINES ROUTES AUSCULTÉES PAR LE CNER DANS LA RÉGION ;

a. Cas des routes régionales et provinciales

L'équipe du CNER accompagné des chefs de service infrastructures de la DRET de Kénitra et de la DPET de Sidi Kassem a visité les routes suivantes dès que cela a été rendu possible (19 Mars 2010):

- a) RR409 (PK0 au PK16) (TMJA2008=3095 véhicules/jour)
- b) RR413 ((PK8 au PK35) ((TMJA2008= 4500 véhicules/jour)
- c) RR411 (PK0 au PK16) (TMJA2008= 527 véhicules/jour)
- d) RP4236 (PK0 au PK7)

i. Types de dégradations constatées

Les dégradations constatées sur les sections de routes visitées, dues aux inondations, ont touché aussi bien les corps de chaussées, les accotements, les autres dépendances de la chaussée et les remblais d'accès aux ouvrages. Sur certaines sections les accotements et leurs plateformes ont été entièrement emportés par lesdits écoulements, les dénivelées créées atteignent par endroit 50cm environ ce qui compromet la butée (bord de la chaussée en porte à faux) de la chaussée et risque d'engendrer des destructions de fortes ampleurs au niveau de la chaussée. Ainsi, on peut récapituler les types de dégradations constatées comme suit :



- Des affouillements prononcés des accotements qui atteignent par endroit plus de 50 cm ;
- Une destruction du corps de chaussée, par endroit, sur environ toute la largeur ;
- Des grands nids de poule ;
- Des grands affaissements ;
- Départ du remblai d'accès d'ouvrage hydraulique ;



- Des arrachements du tapis d'enrobé et des nids de poule de fortes ampleurs ;
- Des submersions par la boue et l'eau qui atteint parfois 40cm environ



- départ du remblai d'accès et un basculement du voile de soutènement du remblai d'accès au niveau de l'ouvrage du PK30+200, ;
- Stagnation d'eau au niveau du PK39 causé par un problème d'assainissement ;



- Dégradations (pelades de fortes ampleurs) importantes de la couche de roulement (tapis d'enrobé bitumineux);
- Des fissures importantes avec un tassement (PK211 de la RN1) qui suscite des interrogations sur l'état de la dalle au niveau dudit ouvrage dont nous n'avons pas pu observer l'intrados de l'ouvrage vu le niveau d'eau élevé et pour lequel nous suggérons d'opérer un diagnostic détaillé par un spécialiste OA ;



b. Cas de la RN1- Impact de la submersion prolongée sur l'état de la route et sa portance

Lors des inondations qu'a connues la région du Gharb au début de l'année 2010, la section de la RN 1 du PK 193 au PK 215 a été submergée d'eau pendant plus deux mois, la chaussée et ses dépendances ont subi, certes, des dégradations. Afin d'évaluer l'ampleur de ces dégradations, le CNER a procédé à l'auscultation de la chaussée de cette section au cours du mois de mars juste après la décrue et avant le remise en circulation. L'auscultation a consisté en la mesure de la déflexion de la surface de la chaussée au déflectographe Lacroix et au relevé détaillé des dégradations de la surface de la chaussée et des accotements.

On présente ci-après une synthèse des résultats de ladite auscultation. Les déflexions mesurées ont été comparées aux valeurs de l'année 2008, cette comparaison a mis en évidence que la portance a été affaiblie d'une manière significative.

1. Etat de dégradation de la surface de la chaussée

Le relevé visuel a été orienté de façon à localiser et quantifier les dégradations et dégâts liés directement à la submersion de la chaussée. Le tableau 1 ci-dessous donne les types des dégradations ainsi que leurs niveaux d'appréciation :

Tableau1 : Types de dégradations

Type de dégradation	Niveau 1	Niveau 2
Tassement des remblais	Tassement sur moins de 1m sur une voie de circulation	Tassement sur plus de 1m sur une voie de circulation
Affaissement de chaussée	Affaissement significatif sur moins de 1m sur une voie de circulation	Affaissement significatif sur plus de 1m sur une voie de circulation
Départ d'accotement	La dénivelée d'accotement est moins de 20 cm	La dénivelée d'accotement dépasse 20 cm
Epaufures	La largeur des épaufrures est moins de 2cm sur une voie de circulation	La largeur des épaufrures est dépasse 20cm sur une voie de circulation
Faïençage	Faïençage significatif sur moins de 1 m sur une voie de circulation	Faïençage significatif sur plus de 1 m sur une voie de circulation

Tableau 2 : Etat de dégradation

Type de dégradation	Surface dégradée m2	% dégradé sur toute la section
Tassement des remblais	23.5	0.01
Affaissement de chaussée	473.5	0.25%
Départ d'accotement	3621	3.35
Epaufures	2170	1.15%
Faïençage	6439	3.41%
Total chaussée dégradée	9106	4.82

Il ressort de ce tableau que le pourcentage de dégradation de la surface de la chaussée, environ 5%, reste faible pour déclencher des travaux de renforcement. Mais, l'évolution de la dégradation sera accentuée par les sollicitations du trafic. Afin de prédire cette évolution, le CNER a effectué des mesures de déflexion sur cette section.

Le paragraphe ci-dessous donne l'analyse et l'exploitation des résultats de mesures de déflexion et une estimation de l'épaisseur équivalente de couche de renforcement « perdue » à cause des inondations.

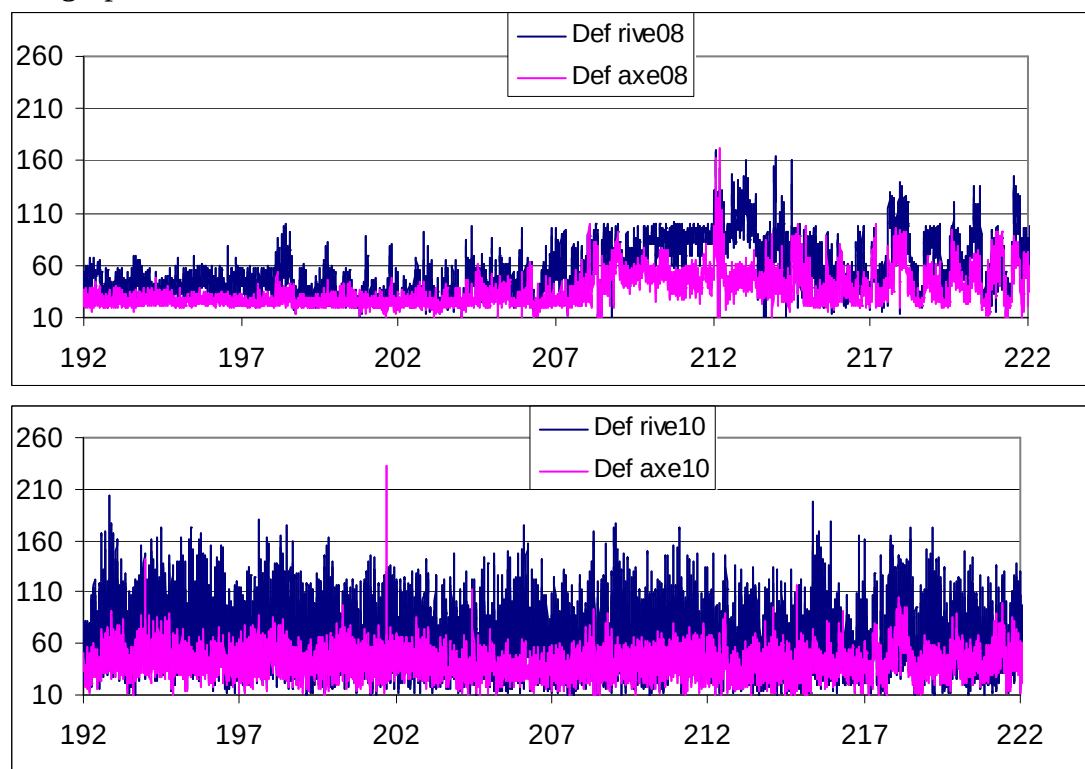
Evolution de la portance de la chaussée

La déflexion de la surface de la chaussée reflète le niveau de portance du corps de chaussée et de son sol support. La déflexion de la chaussée sur la RN 1 du PK 193 au PK 220, a été mesurée en mars 2008. Après cette date, des travaux de rechargement en enrobés bitumineux ont été réalisés sur les sections suivantes : du PK 192 au PK 194, du PK205 au PK 215 et du PK 220 au PK 222.

L'exploitation des résultats de mesures effectuées sur la section de la RN1 du PK 193 au PK 220 révèle que la déflexion caractéristique est 107/100mm et que la moyenne des rapports entre les valeurs de rive et celles de l'axe est de 1.5.

Après les inondations du premier trimestre de 2010, le CNER a effectué des mesures de déflexion sur la même section. La déflexion caractéristique est passée à 130/100 mm et la moyenne des rapports entre les valeurs de rive et celles de l'axe est de 1.72.

Les graphes suivants montrent l'évolution de la déflexion entre 2008 et 2009



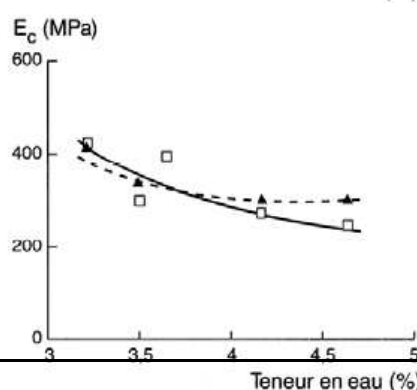
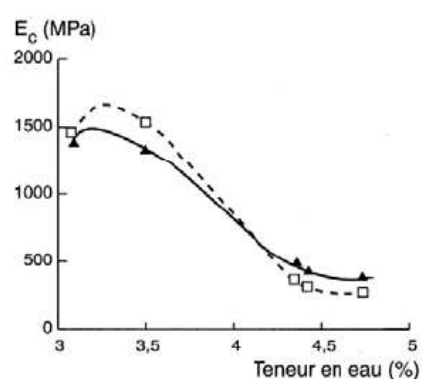
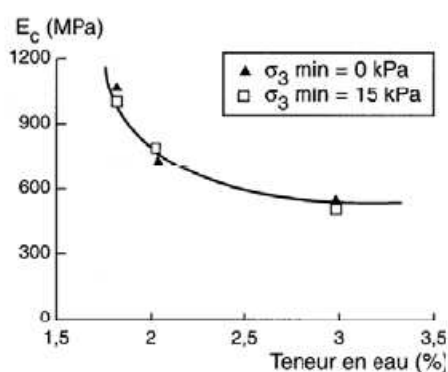
Cette chute de la portante a une incidence importante sur le besoin en renforcement de la chaussée. D'une façon sommaire, on peut estimer, à partir des formules de réduction de la déflexion au sens inverse, « la perte » en épaisseur de la couche de renforcement à partir des résultats des déflexions, en considérant que la déflexion en 2008 correspond à l'état après renforcement et la déflexion en 2010 à l'état avant renforcement.

La perte a été évaluée à l'équivalent d'une couche de 6 cm de béton bitumineux.

V. EFFET DE L'EAU SUR LES STRUCTURES DE CHAUSSEES

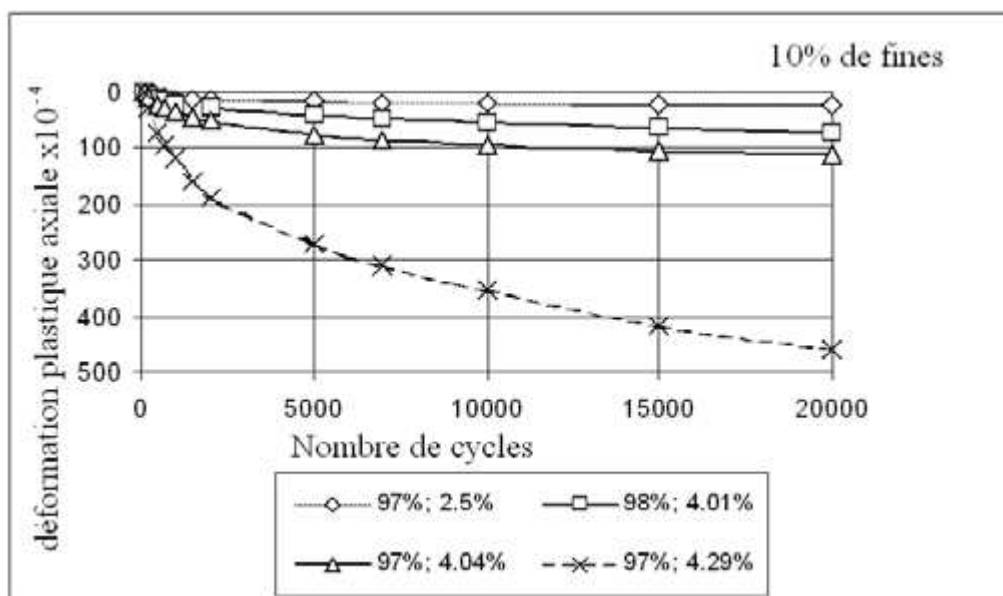
a. Influence de la teneur en eau sur la réduction des durées de vie des structures de chaussées en GNT

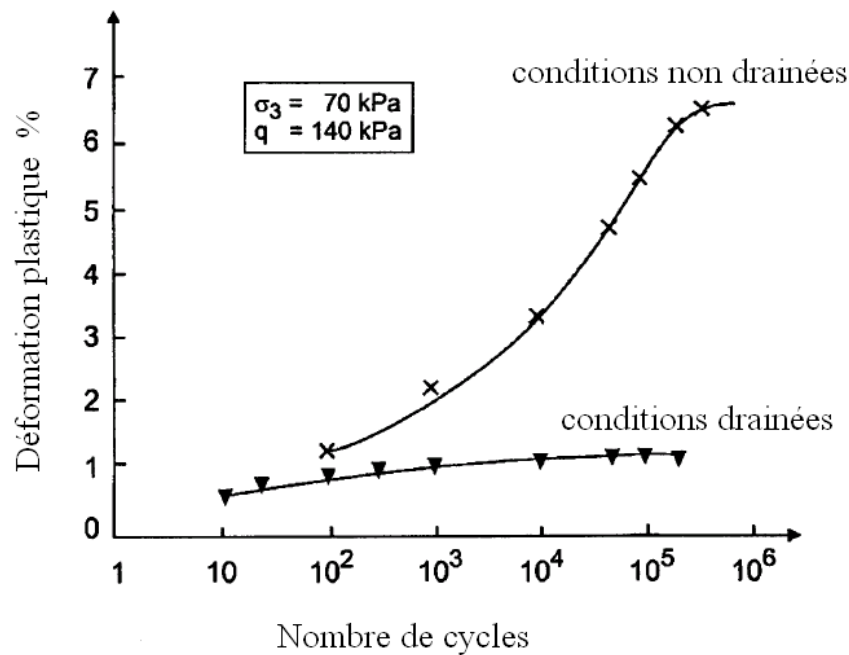
La teneur en eau a une influence significative sur le comportement des graves non traitées. Plusieurs études de recherche [HABIBALLAH Taha El Mokhtar, Thèse de Doctorat de l'Université de Limoges N° 752003 (2005)], [Hick et Monismith (1971)], [Smith et Nair (1973)], [Dawson *et al* (1996)] et [Balay *et al* (1998)] ont étudié le rôle du degré de saturation sur le comportement des GNT. Ces études arrivent à conclure que le module résilient (défini par le rapport entre le déviateur maximum des contraintes et la déformation réversible maximum) diminue avec l'augmentation de la teneur en eau. Cette diminution est accentuée quand la teneur en eau s'approche de celle de l'optimum Proctor. Certaines recherches [Haynes et Yoder (1963)] remarquent une diminution du module résilient de 50% pour des graves, quand la teneur en eau passe de 70% à 97% de celle de l'optimum Proctor. D'autres travaux [Balay *et al* (1998)] réalisent des essais triaxiaux à chargements répétés sur une grave issue de calcaires tendres à différentes teneurs en eau et trouvent que le module résilient diminue de 60% quand la teneur en eau passe de 3% à 4,5%.



Selon certains chercheurs, l'interprétation de la variation du module résilient avec la teneur en eau est liée à l'effet de la pression interstitielle sur le comportement. Lors d'un chargement cyclique, les matériaux à fort degré de saturation, subissent une augmentation de la pression interstitielle engendrant une diminution de la contrainte effective et par conséquent une chute du module résilient. En effet, l'eau dans les interstices joue le rôle de lubrifiant. Une augmentation du degré de saturation implique un accroissement de l'effet lubrifiant d'où une augmentation de la déformation et par conséquent une diminution du module résilient. Une autre interprétation du phénomène met en relief le rôle de la pression de succion dans un milieu granulaire. Cette dernière, jouant le rôle de colle, diminue avec l'augmentation de la teneur en eau. Des essais réalisés sur des roches concassées bien graduées montrent l'existence d'une teneur en eau « seuil » pour laquelle le module résilient augmente avec la teneur en eau. Cela est dû au développement de la pression de succion. Au-delà de ce seuil, le matériau devient de plus en plus saturé : la pression de succion chute, la pression interstitielle augmente provoquant une chute du module résilient.

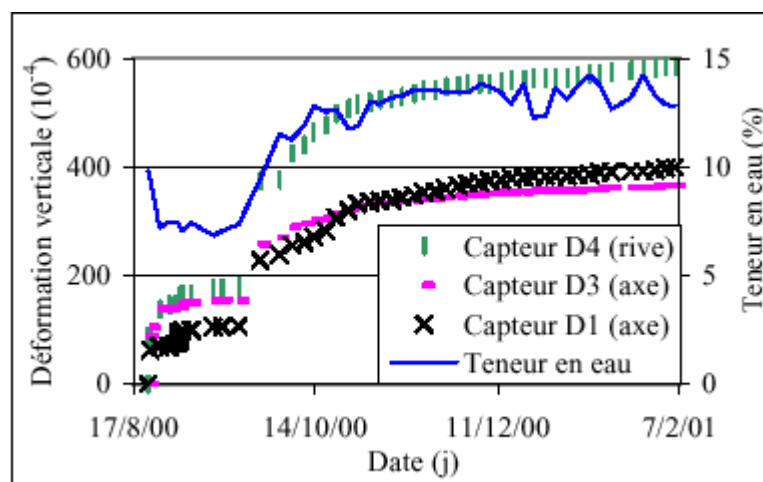
Il est important de connaître l'effet du degré de saturation sur le comportement à long terme de la grave non traitée. Différentes études ont été menées dans cette optique et convergent toutes vers les mêmes conclusions. Il a été remarqué que la déformation permanente augmente considérablement avec la teneur en eau. Les résultats d'essais triaxiaux à chargements répétés, réalisés sur des éprouvettes de granite concassé, ayant la même densité (97% à 98% de la densité de l'essai Proctor modifié) et différentes teneurs en eau, montrent qu'il est possible d'observer que la déformation permanente augmente avec le degré de saturation. En effet, la déformation plastique passe de 2.10^{-3} à $4,6.10^{-2}$, quand la teneur en eau augmente de 1,5% à 4,29%.





Influence du drainage sur l'évolution des déformations plastiques d'après [Dawson (1990)].

Le LCPC [Gidel (2001)] a étudié l'effet de la teneur en eau sur une chaussée instrumentée soumise à un trafic réel. Des capteurs de déformations et de teneur en eau ont permis l'acquisition d'informations sur une période de 6 mois. Sur la figure ci après sont reportées les variations de la teneur en eau et de la déformation plastique en fonction du temps. On peut remarquer que pendant la période à pluviométrie élevée, la déformation plastique croît considérablement ce qui témoigne d'une nette baisse de la rigidité et ainsi du module du matériau.



Influence de la teneur en eau sur le comportement d'une chaussée instrumentée d'après [Gidel (2001)].

Essayons maintenant d'étudier l'effet de l'eau sur les durées de vie de chaussées, et prenons le cas de la RR413 pour illustrer cet aspect en considérant les deux cas :

- le cas normal où la chaussée est bien drainée et ne connaît pas une augmentation de la teneur en eau et notamment au niveau de la GNT ;
- le cas où la chaussée (GNT) connaît des teneurs en eau qui atteignent la saturation.

L'outil utilisé pour le calcul est le modèle ALIZE et la structure étudiée est comme suit :

10BL+10PC+RS+20GNA+RS

Les hypothèses prises pour le calcul sont comme suit :

Couche	Module en bars	
	Cas normal	Cas de la saturation
GNA	5000	2500 (d'après la bibliographie)
PC	4000	4000
BL	4000	4000
Sol Support	250	250

En se limitant à étudier l'effet de la saturation de la couche de GNA sur la durée de vie de la chaussée, on suppose que les modules des autres couches restent constants et que les interfaces sont collées dans les deux cas.

Par ailleurs, on sait que les couches en GNT sont calculées vis-à-vis de l'orniérage, c'est-à-dire on vérifie que les déformations verticales au niveau de ces couches sont inférieures aux déformations admissibles qui sont données par les formules suivantes :

- $\epsilon_{z,admissible} = 0,016(NE)^{-0,222}$ pour trafic fort
- $\epsilon_{z,admissible} = 0,012(NE)^{-0,222}$ pour trafic faible

NE : trafic équivalent (13t) cumulé sur la durée de vie considérée

RESULTATS

Les déformations verticales au niveau de la couche de GNA sont (voir tableaux de calcul en annexe) :

- Cas 1 : normal, $\epsilon_{z,a 1} = 0.323. 10^{-3}$
- Cas 2 : augmentation de 2 points, $\epsilon_{z,a 2} = 0.339. 10^{-3}$

Considérons que ces valeurs correspondent respectivement à la déformation admissible pour chacune des deux cas envisagés (cas normal cas d'augmentation de la teneur en eau au niveau de la GNA).

Dans ces conditions, toutes choses étant égales par ailleurs, on peut lier le rapport du nombre d'essieux équivalents (NE) à celui des déformations admissibles ($\epsilon_{z,a 1} / \epsilon_{z,a 2}$) à partir de la formule de calcul de la déformation verticale admissible (qu'on a vu précédemment. avec :

NE1 : nombre d'essieux cumulés sur la durée de vie équivalents à l'essieu de 13T dans le cas normal.

NE2 : nombre d'essieux cumulés sur la durée de vie équivalents à l'essieu de 13T dans le cas d'augmentation de la teneur en eau au niveau de la GNA

Donc en calculant le rapport ($\epsilon_{z,a 1} / \epsilon_{z,a 2}$) on a :

$$\epsilon_{z,a 1} / \epsilon_{z,a 2} = (NE1/NE2)^{-0.222} \quad \text{on a :}$$

$$NE1/NE2 = (\epsilon_{z,a 1} / \epsilon_{z,a 2})^{-1/0.222} = (0.95)^{-1/0.222} = 1.25$$

on obtient donc : $NE1/NE2 = 1.25$

Donc si $n1$ et $n2$ sont les durées de vie respectives des cas 1 et 2 , on aura d'après l'expression du nombre d'essieux équivalent cumulé :

$$((1.04)^{n1} - 1)/((1.04)^{n2} - 1) = 1.25$$

donc pour une durée de vie de base de 10 ans, une légère augmentation de la teneur en eau engendrera une durée de vie d'environ 8 ans soit une réduction de la durée de vie de deux ans.

Ainsi pour cet exemple, faire l'hypothèse d'une augmentation de la teneur en eau de 2% conduirait à réduire de deux ans environ la longévité calculée avec l'hypothèse du cas normal.

Pour généraliser ce raisonnement, et en s'appuyant sur l'étude bibliographique, on sait que la saturation (le cas des routes du Gharb) engendre une augmentation de la déformation verticale plastique . Si on examine le cas où la déformation doublerait, c'est-à-dire le cas où la teneur en eau passe du simple au double également , et en conduisant les calculs de la même manière que précédemment on aura :

$$NE1/NE2 = (\epsilon_{z,a 1} / \epsilon_{z,a 2})^{-1/0.222} = (0.5)^{-1/0.222} = 22.7$$

$$((1.04)^{n1} - 1)/((1.04)^{n2} - 1) = 22.70 \quad (*)$$

$$\text{pour } n1 = 16.5 \text{ \& } n2 = 1 \quad \text{on a } ((1.04)^{n1} - 1)/((1.04)^{n2} - 1) = 22.75$$

ces résultats signifie que la durée de vie de 16.5 ans se réduira à cause de l'effet de l'eau dans le corps de chaussée à une année.

Donc, dans ce cas de figure, la durée de vie est totalement consommée, ce qui veut dire qu'une augmentation excessive de la teneur en eau dans les couches de GNT engendrent la destruction totale du corps de chaussée constitué de ce type de matériaux.

b. Effet de l'eau sur la réduction des durées de vie des structures en béton bitumineux

Les bétons bitumineux soumis à une immersion prolongée par l'eau engendre une réduction importante de l'adhésivité passive bitume /granulat, ce qui entraîne une chute des performances mécaniques de ces matériaux, notamment en matière :

- de la tenue à l'eau ;
- les modules d'élasticité ;
- la résistance à la fatigue
- ...

En effet, le béton bitumineux peut subir la rupture selon trois manières différentes :

- Au sein du granulat, par cassure (c'est le cas le plus rare, lorsqu'on utilise un granulat de mauvaise qualité ou lorsque le bitume est remplacé par certaines résines en partie ou en totalité) : la rupture est alors attribuée à une mauvaise résistance du granulat ;
- Dans la masse du liant, ce qui crée une discontinuité dans le film de liant et provoque ainsi une insuffisance de cohésion du liant et on assiste ainsi à un désenrobage du matériau et sa fragilisation ;
- A l'interface du liant granulat : le phénomène mis en cause est alors l'adhérence du liant vis-à-vis du granulat.

Dans les deux premiers cas, la rupture ne fait intervenir que des propriétés intrinsèques du granulat ou liant. Par contre dans le troisième cas, c'est un système de force qui est mis en cause car c'est lui qui assure un très bon collage entre deux matériaux de natures différentes (liant et granulat) et une immersion prolongée cause un affaiblissement de ce système de force, ce qui réduit les performances mécaniques du matériau.

En effet, l'immersion prolongée des matériaux bitumineux engendre la pénétration de l'eau entre le minéral et la couche de bitume, et peut ensuite provoquer le désenrobage. Aussi, la stagnation des eaux peut conduire à la constitution d'un milieu acide surtout dans les régions comme le Gharb où il y'a des cultures d'origine acides ce qui met en périls les forces d'adhésivité entre le liant et le granulat et déclenche ainsi les mécanismes de désenrobage.

L'immersion prolongée affecte négativement aussi la résistance à la fatigue, ce qui réduit les durées de vie de chaussées en matériaux bitumineux. Une étude de laboratoire réalisée par le CNER et qui a porté sur des matériaux de trois carrières a mis en évidence ce résultat.

L'étude a porté sur cinq formulations d'enrobés bitumineux, le choix de ces différents enrobés est basé sur le fait de travailler avec plusieurs matériaux de minéralogie variée ainsi que deux bitumes de dureté différente (40/50 et 10/20). Les granulats sont d'origines : Oued Nfiss (Marrakech), Akreuch (Rabat) et Ben Abid (Settat).

L'étude s'est basée sur l'essai de fatigue par flexion à quatre points réalisés sur des éprouvettes parallélépipédiques d'enrobés bitumineux confectionnées sur la base des mélanges granulats indiqués ci avant. Ensuite, les éprouvettes ont été conservées à la fois à 20°C à sec et dans des bassins d'eau à la température d'essai. Tout en s'inspirant de l'essai DURIEZ, la durée d'immersion a été de sept jours. Les résultats de cette étude (dont les résultats seront détaillés au niveau d'une autre communication) sont récapitulés ci après :

Désignation	Ben Abid		Akrach		Oued Nfiss	
Liant	40/50		40/50		40/50	
Mode de conservation	<u>Sec</u>	<u>Humide</u>	<u>Sec</u>	<u>Humide</u>	<u>Sec</u>	<u>Humide</u>
ϵ_6	85	65	100	68	90	72
Durée de vie	10	3.26	10	2.38	10	5.18
La pente (b)	-0.1873	-0.2169	-0.2136	-0.2458	-0.2349	-0.3104
$R^* = T_h/T_s$	0.33		0.24		0.51	
$R = \epsilon_{6,h}/\epsilon_{6,s}$	0.76		0.68		0.8	

On remarque ici une chute de la résistance à la fatigue pour les éprouvettes immergées comparée à celle des éprouvettes conservées à l'état sec et ainsi les durées de vie des chaussées sont nettement réduites (respectivement 7ans, 8ans et 5 ans), ce qui révèle une fois encore que les immersions prolongées des chaussées réduit nettement leur durée de vie ;

VI. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Suite aux relevés de dégradations, à l'auscultation des chaussées à l'aide des appareils à grand rendement, notamment le déflectographe Lacroix, et suite aux essais de laboratoire et aux recherches bibliographiques effectuées, nous pouvons conclure que :

- D'après le relevé visuel effectué sur les routes relevant de la DRET de Kénitra et de la DPET de Sidi Kacem, les dégradations du réseau routier sont de forte ampleur, notamment des départs importants du corps de la chaussée et de la plateforme;
- Les mesures de déflexions sur la RN1 entre Sidi Allal Tazi et Kénitra ont révélé une chute de portance considérable de la chaussée, ce qui engendre un déficit structurel au niveau de la chaussée et suscite à court terme le besoin en renforcement de la route ;
- Les chutes de portance au niveau de la rive de la chaussée au niveau de la section de la RN1 auscultée sont supérieures de 150% par rapport à celles enregistrées au niveau de l'axe ; ce qui met en évidence l'effet négatif de la submersion prolongée de la plateforme et sa stagnation dans les environs immédiats de la

route ; et constitue, un grand risque d'une part pour la destruction des rives de chaussées et d'autre part pour la sécurité des usagers de la route ;

- ▶ Les durées de vie des chaussées sont considérablement réduites à cause de submersions prolongées des routes,
- ▶ Les chaussées en GNT sont très vulnérables aux immersions prolongées, en effet, on a vu, d'après les résultats de recherche internationales et les calculs faits , qu'à la saturation la chaussée est totalement détruite et cela abstraction faite du niveau du trafic routier ;
- ▶ Au niveau des chaussées en matériaux bitumineux, les durées de vie sont réduite d'environ 64% à cause de la submersion prolongée, comme l'ont montré les essais de fatigue menés par le CNER ;

Afin de pouvoir approfondir et maîtriser l'effet des contraintes climatiques en générale, et celui des fortes précipitations en particulier, sur le comportement des chaussées, nous recommandons de procéder à plusieurs actions qui pourraient se récapituler en ce qui suit :

- ▶ Utiliser les techniques de graves traitées au ciment sur les sections de routes inondables, car ce type de matériau est connu par sa forte rigidité et son insensibilité à l'eau;
- ▶ Utiliser, au niveau des zones inondables, des protections de la plateforme par des nappes de gabions jusqu'à la côte finie des accotements, et ce afin de constituer une butée de la chaussée et d'éviter l'érosion de la plateforme ;
- ▶ proscrire l'usage de la technique de renforcement des chaussées par la grave non traitée surmontée d'un enduit superficiel au niveau des zones inondables, telle que sur le réseau routier de Kénitra et de Sidi Kacem.

- ▶ Procéder dans le cadre d'un partenariat avec services concernés, à la remise en état des digues construites le long des canaux d'eau qui longent certaine routes (exemple RR413) et qui jouent un rôle important dans la protection de la route et ses dépendances contre les inondations
- ▶ Mener des études de recherche sur les GNT marocaines pour maîtriser les différents facteurs qui influencent leurs lois de comportements et notamment l'effet de l'eau afin d'en tenir compte dans le calcul de dimensionnement et pour le choix des techniques de construction et d'entretien des routes ;
- ▶ Mener des études de recherche sur les bétons bitumineux afin d'évaluer l'effet de l'immersion à l'eau sur les différentes performances mécaniques de ces matériaux notamment en terme d'orniérage, ... ;

ANNEXE

exemple RR413

POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE

A SOUS UNE ROUE SIMPLE

B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE

C AU CENTRE DU JUMELAGE

A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620

NOMBRE DE COUCHES 4

```
*****
*      *      *      *      *      *
*  Z  *      * EPSILONT * SIGMAT * EPSILONZ * SIGMAZ *
*****
* .00*      * .619E-03B* .802E+01B* -.323E-03C* .662E+01A*
*   * E= 5000. *      *      *      *      *
*   * NU= .35  *      *      *      *      *
*   * H1= 20.00 *      *      *      *      *
* 20.00*      * -.237E-03B* -.527E+00B* .483E-03B* .214E+01B*
*-----*--- COLLE-----*-----*-----*-----*
* 20.00*      * -.237E-03B* -.245E+00C* .549E-03B* .214E+01B*
*   * E= 4000. *      *      *      *      *
*   * NU= .35  *      *      *      *      *
*   * H2= 10.00 *      *      *      *      *
* 30.00*      * -.303E-03C* -.128E+01C* .396E-03B* .844E+00B*
*-----*--- COLLE-----*-----*-----*-----*
* 30.00*      * -.303E-03C* -.128E+01C* .396E-03B* .844E+00B*
*   * E= 4000. *      *      *      *      *
*   * NU= .35  *      *      *      *      *
*   * H3= 10.00 *      *      *      *      *
* 40.00*      * -.537E-03C* -.285E+01C* .542E-03C* .350E+00C*
*-----*--- COLLE-----*-----*-----*-----*
* 40.00*      * -.537E-03C* -.432E-02A* .136E-02C* .350E+00C*
*   * E= 250.  *      *      *      *      *
*   * NU= .35  *      *      *      *      *
*   * H4=INFINI *      *      *      *      *
*   *      *      *      *      *
*****
* D * 143.74MM/100      * R*D      *
* R * 106.41M      * 15294.97M*MM/100 *
*****
```

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

exemple RR413

POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE

A SOUS UNE ROUE SIMPLE

B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE

C AU CENTRE DU JUMELAGE

A= 12.500 D= 37.500 Q= 6.620

NOMBRE DE COUCHES 4

```
*****
*      *      *      *      *      *
*  Z  *      * EPSILONT * SIGMAT * EPSILONZ * SIGMAZ *
*****
* .00*      * .891E-03B* .679E+01B* -.339E-03C* .662E+01A*
*   * E= 2500. *      *      *      *      *
*   * NU= .35  *      *      *      *      *
*   * H1= 20.00 *      *      *      *      *
* 20.00*      * -.168E-03A* .811E+00B* .810E-03A* .257E+01B*
*-----*--- COLLE-----*-----*-----*-----*
* 20.00*      * -.168E-03A* .468E+00B* .574E-03A* .257E+01B*
*   * E= 4000. *      *      *      *      *
*   * NU= .35  *      *      *      *      *
*   * H2= 10.00 *      *      *      *      *
* 30.00*      * -.299E-03C* -.115E+01C* .420E-03B* .104E+01B*
*-----*--- COLLE-----*-----*-----*-----*
* 30.00*      * -.299E-03C* -.115E+01C* .420E-03B* .104E+01B*
*   * E= 4000. *      *      *      *      *
*   * NU= .35  *      *      *      *      *
*   * H3= 10.00 *      *      *      *      *
* 40.00*      * -.618E-03C* -.323E+01C* .615E-03C* .423E+00C*
*-----*--- COLLE-----*-----*-----*-----*
* 40.00*      * -.618E-03C* .126E-01B* .160E-02C* .423E+00C*
*   * E= 250.  *      *      *      *      *
*   * NU= .35  *      *      *      *      *
*   * H4=INFINI *      *      *      *      *
*   *      *      *      *      *
*****
* D * 159.86MM/100      * R*D      *
* R * 68.29M      * 10916.40M*MM/100 *
*****
```

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

Références bibliographiques

- M.DURIEZ - Traité de matériaux de construction – Edition DUNOD 1950 – Tome 1 et Tome 2.
- Laurent Frouin, Etude expérimentale des interactions surfaces minérales et bitume. Cas particuliers des argiles -Rapport de recherche LPC n°=154- Juin 1989.
- European Standard, Annexe D, Four-point bending test on prismatic shaped specimens (prEN 12697-24 for approval for FV-21 Mai 2003).
- J.P.Marchand, Exemple d'utilisation de la méthode rationnelle de dimensionnement –Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (Mécanique des chaussées).
- Modélisation des déformations permanentes des graves non traitées , application au calcul de l'orniérage des chaussées souples, Thèse de Doctorat de l'Université de Limoges N° 752003 (2005) (France) , Par HABIBALLAH Taha El Mokhtar
- TFE Proposé et encadré par Mohamed AFECHKAR et réalisé par les élèves ingénieurs de l'EHTP (2005) OUAZZA et YACoubi
- GIDEL G., HORNYCH P., CHAUVIN J.J., BREYSSE D., DENIS A. (2001)
Nouvelle approche pour l'étude des déformations permanentes des graves non traitées à l'appareil triaxial à chargement répétés. » Bulletin de liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées , pp. 5-22.
- Guide technique SETRA-LCPC (1994) ,Conception et dimensionnement des structures de chaussée,.