

L'ORNIERAGE

ANALYSE ET REFLEXION

Par M. SAFIR / GTR

INTRODUCTION

Au Maroc, nous commençons à vivre les mêmes problèmes vécus en Europe et ailleurs depuis plus d'une dizaine d'années, entre autres, ce phénomène d'orniérage qui a affecté récemment quelques sections autoroutières.

Le présent article tente d'aborder l'orniérage provenant notamment des couches bitumineuses avec auparavant, un bref rappel sur le lien entre ce phénomène et les couches non traitées ou les sols de plate-forme.

I- RAPPEL

1 - ORNIERAGE LIE AUX COUCHES NON TRAITEES.

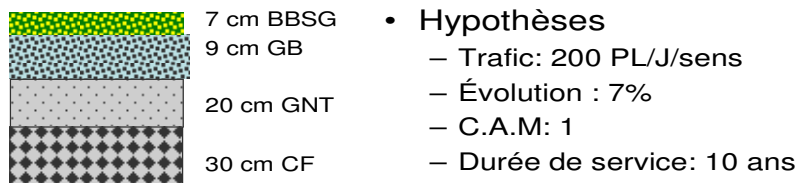
Les sols de plate-forme (PST+CF) jouent un rôle double :

- 1- protéger le sol support des intempéries et supporter le trafic du chantier pendant la mise en œuvre des couches sus-jacentes.
- 2- Constituer le support de la chaussée et influencer à ce titre sur le comportement mécanique de la chaussée et par voie de conséquence, sur son dimensionnement.

A travers l'exemple ci-dessous, nous essayerons d'aborder ce phénomène d'orniérage qui pourrait provenir des couches non traitées.

Pour ce faire, nous considérons la structure classique suivante :

Exemple d'illustration



$$\xi_{zadm} = 557 \mu\text{d}\acute{e}f$$

CALCUL DES DEFORMATIONS

Σ Modules à 10 HZ et 30° C :

- BBSG : 25 000 bars.
- GB : 45 000 bars.

Σ Modules des couches non traitées :

- GNT : 3 600 bars.
- PF2 : 800 bars.
- PST : 500 bars.

A- **CAS 1** (Cas pris comme référence)

Le calcul par ALIZE III donne une déformation verticale à la surface de la couche de forme de :

$$\xi_z = 610 \mu\text{d}\acute{e}f$$

Cas 1

```

Exemple illustratif
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 5
*****
* Z * * EPSILON T * SIGMA T * EPSILON Z * SIGMA Z *
*****
* .00* * .247E-03C* .120E+02B* -.185E-03C* .662E+01A*
* * E= 25000. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H1= 7.00 * * * *
* 7.00* * .594E-04C* .454E+01B* -.552E-04C* .518E+01B*
* --- COLLE ---
* 7.00* * .594E-04C* .594E+01B* -.609E-04C* .518E+01B*
* * E= 45000. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H2= 9.00 * * * *
* 16.00* * -.185E-03B* -.110E+02B* .187E-03B* .139E+01B*
* --- COLLE ---
* 16.00* * -.185E-03B* -.217E+00C* .409E-03B* .139E+01B*
* * E= 3600. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H3= 20.00 * * * *
* 36.00* * -.276E-03C* -.117E+01C* .335E-03C* .454E+00C*
* --- COLLE ---
* 36.00* * -.276E-03C* -.705E-01C* .610E-03C* .454E+00C*
* * E= 800. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H4= 30.00 * * * *
* 66.00* * -.185E-03C* -.102E+00C* .363E-03C* .223E+00C*
* --- COLLE ---
* 66.00* * -.185E-03C* -.185E-01C* .467E-03C* .223E+00C*
* * E= 500. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H5=INFINI * * * *
*****
* D = 73.20 mm/100 * R.D =
* R = 290.35 m * 21252.54 m.mm/100
*****
MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

```

B - CAS 2

Par rapport au premier cas, nous faisons varier la classe de la couche de forme de PF2 à PF3 avec un module de 1 200 bars au lieu de 800 bars.

La déformation verticale à la surface de la couche de forme devient :

$$\xi_z = 480 \mu\text{déf}$$

Cas 2

PF= 1200 bars au lieu de 800 bars

Exemple 2
 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 5

```

*****
* Z * * EPSILON T * SIGMA T * EPSILON Z * SIGMA Z *
*****
* .00* * .234E-03C* .115E+02B* -.173E-03C* .662E+01A*
* * E= 25000. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H1= 7.00 * * * *
* 7.00* * .558E-04C* .443E+01B* -.513E-04C* .520E+01B*
* --- COLLE ---
* 7.00* * .558E-04C* .574E+01B* -.572E-04C* .520E+01B*
* * E= 45000. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H2= 9.00 * * * *
* 16.00* * -.177E-03B* -.105E+02B* .180E-03B* .145E+01B*
* --- COLLE ---
* 16.00* * -.177E-03B* -.140E+00C* .411E-03B* .145E+01B*
* * E= 3600. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H3= 20.00 * * * *
* 36.00* * -.233E-03C* -.918E+00C* .303E-03C* .511E+00C*
* --- COLLE ---
* 36.00* * -.233E-03C* -.122E+00C* .480E-03C* .511E+00C*
* * E= 1200. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H4= 30.00 * * * *
* 66.00* * -.188E-03C* -.220E+00C* .304E-03C* .217E+00C*
* --- COLLE ---
* 66.00* * -.188E-03C* -.237E-01C* .462E-03C* .217E+00C*
* * E= 500. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H5=INFINI * * * *
*****
* D = 68.59 mm/100 * R.D =
* R = 303.04 m * 20785.30 m.mm/100
*****
MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

```

3 - CAS 3

Dans ce cas, nous faisons varier l'épaisseur de la CF de 30 à 35 cm (par rapport au premier cas).

La déformation verticale à la surface de la CF est de :

$$\xi_z = 612 \mu\text{déf}$$

Cas 3

Épaisseur CF= 35 cm au lieu de 30 cm

Exemple 3
 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 5

```

*****
* Z * * EPSILON T * SIGMA T * EPSILON Z * SIGMA Z *
*****
* .00* * .246E-03C* .119E+02B* -.184E-03C* .662E+01A*
* * E= 25000. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H1= 7.00 * * * *
* 7.00* * .590E-04C* .453E+01B* -.548E-04C* .518E+01B*
* --- COLLE ---
* 7.00* * .590E-04C* .592E+01B* -.605E-04C* .518E+01B*
* * E= 45000. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H2= 9.00 * * * *
* 16.00* * -.185E-03B* -.110E+02B* .186E-03B* .140E+01B*
* --- COLLE ---
* 16.00* * -.185E-03B* -.212E+00C* .409E-03B* .140E+01B*
* * E= 3600. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H3= 20.00 * * * *
* 36.00* * -.274E-03C* -.116E+01C* .333E-03C* .461E+00C*
* --- COLLE ---
* 36.00* * -.274E-03C* -.644E-01C* .612E-03C* .461E+00C*
* * E= 800. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H4= 35.00 * * * *
* 71.00* * -.170E-03C* -.933E-01C* .334E-03C* .205E+00C*
* --- COLLE ---
* 71.00* * -.170E-03C* -.169E-01C* .430E-03C* .205E+00C*
* * E= 500. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H5=INFINI * * * *
*****
* D = 72.48 mm/100 * R.D = *
* R = 291.41 m * 21121.92 m.mm/100 *
*****
  
```

MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

D - CAS 4

Dans ce quatrième cas, nous passons à une classe d'arase 2 à 800 bars au lieu de 500 bars initialement.

La déformation verticale à la surface de la CF est de :

$$\xi_z = 627 \mu\text{def}$$

Cas 4

Module Arase= 800 bars lieu de 500 bars

Exemple 4
 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 5

```

*****
*      Z      *      EPSILON T *      SIGMA T *      EPSILON Z *      SIGMA Z *
*****
*      .00*      *      .235E-03C*      .115E+02B*      -.173E-03C*      .662E+01A*
*      *      E= 25000.      *      *      *      *      *      *
*      *      NU= .35      *      *      *      *      *      *
*      *      H1= 7.00      *      *      *      *      *      *
*      7.00*      *      .546E-04C*      .437E+01B*      -.500E-04C*      .519E+01B*
*      *      COLLE      *      *      *      *      *      *
*      7.00*      *      .546E-04C*      .563E+01B*      -.558E-04C*      .519E+01B*
*      *      E= 45000.      *      *      *      *      *      *
*      *      NU= .35      *      *      *      *      *      *
*      *      H2= 9.00      *      *      *      *      *      *
*      16.00*      *      -.182E-03B*      -.107E+02B*      .183E-03B*      .141E+01B*
*      *      COLLE      *      *      *      *      *      *
*      16.00*      *      -.182E-03B*      -.184E+00C*      .409E-03B*      .141E+01B*
*      *      E= 3600.      *      *      *      *      *      *
*      *      NU= .35      *      *      *      *      *      *
*      *      H3= 20.00      *      *      *      *      *      *
*      36.00*      *      -.260E-03C*      -.106E+01C*      .325E-03C*      .499E+00C*
*      *      COLLE      *      *      *      *      *      *
*      36.00*      *      -.260E-03C*      -.268E-01C*      .627E-03C*      .499E+00C*
*      *      E= 800.      *      *      *      *      *      *
*      *      NU= .35      *      *      *      *      *      *
*      *      H4= 30.00      *      *      *      *      *      *
*      66.00*      *      -.131E-03C*      -.116E-01C*      .343E-03C*      .270E+00C*
*      *      COLLE      *      *      *      *      *      *
*      66.00*      *      -.131E-03C*      -.116E-01C*      .343E-03C*      .270E+00C*
*      *      E= 800.      *      *      *      *      *      *
*      *      NU= .35      *      *      *      *      *      *
*      *      H5=INFINI      *      *      *      *      *      *
*****
*      D      =      57.29 mm/100      *      R.D      =      *
*      R      =      299.18 m      *      17139.55 m.mm/100      *
*****
MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

```

E - CAS 5

Dans ce dernier cas, l'épaisseur de la GNT passe de 20 à 25 cm.

La déformation verticale à la surface de la CF est de :

$$\xi_z = 539 \mu\text{déf}$$

Cas 5

Épaisseur GNT= 25 cm au lieu de 20 cm

Exemple avec GNA 25
 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 5

```

*****
* Z * * EPSILON T * SIGMA T * EPSILON Z * SIGMA Z *
*****
* .00* * .233E-03C* .115E+02B* -.172E-03C* .662E+01A*
* * E= 25000. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H1= 7.00 * * * *
* 7.00* * .560E-04C* .444E+01B* -.514E-04C* .520E+01B*
* --- COLLE ---
* 7.00* * .560E-04C* .576E+01B* -.574E-04C* .520E+01B*
* * E= 45000. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H2= 9.00 * * * *
* 16.00* * -.175E-03B* -.103E+02B* .179E-03B* .146E+01B*
* --- COLLE ---
* 16.00* * -.175E-03B* -.120E+00C* .412E-03B* .146E+01B*
* * E= 3600. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H3= 25.00 * * * *
* 41.00* * -.244E-03C* -.105E+01C* .300E-03C* .395E+00C*
* --- COLLE ---
* 41.00* * -.244E-03C* -.691E-01C* .539E-03C* .395E+00C*
* * E= 800. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H4= 30.00 * * * *
* 71.00* * -.166E-03C* -.929E-01C* .323E-03C* .197E+00C*
* --- COLLE ---
* 71.00* * -.166E-03C* -.183E-01C* .415E-03C* .197E+00C*
* * E= 500. * * * *
* * NU= .35 * * * *
* * H5=INFINI * * * *
*****
* D = 68.96 mm/100 * R.D =
* R = 305.54 m * 21071.48 m.mm/100
*****
MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

```

Le tableau suivant récapitule l'ensemble des résultats et montre que pour une telle structure :

- la vérification de l'orniérage se fait principalement sur la CF. Autrement dit, si la CF passe, les autres aussi.
- Qu'une augmentation de l'épaisseur de la CF, à performances égales, ne changerait rien sur le comportement de l'orniérage et qu'en revanche, une augmentation de 5 cm de la GNT influe positivement sur le comportement à l'orniérage de la couche sous-jacente, comme ce qui se passe entre la CF et la PST.
- Et que bien évidemment, le comportement à l'orniérage s'améliore avec l'amélioration de la classe de la CF.

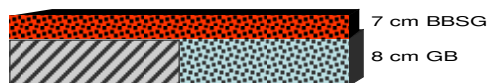
Exemple illustratif

		Inchangée	PF=1200bars	E _{CF} = 35 cm	Arase= 800 b	GNT= 25 cm
ξ_z	GNT	409	411	409	409	412
	CF	610	539	612	627	480
	PST	467	462	430	343	415
ξ_{Zadm}		557				

II- MATERIAUX BITUMINEUX ET ORNIERAGE

♥ CAS RABAT – KENITRA

La structure de renforcement mise en place consistait à fraiser la voie lente sur 8 cm et la recharger avec de la GB et mise en œuvre ensuite d'un tapis généralisé sur 7 cm en BBSG.



Après quelques mois de mise en service, nous avons vu surgir ce phénomène d'orniérage.

Des expertises ont été menées pour définir l'origine du problème mais pour ma part, je pense que nous avons eu la conjugaison de trois éléments aggravants qui ont causé ce phénomène.

1- Le trafic

Par rapport aux premières années de mise en service de l'autoroute Rabat-Larache, le trafic a fortement augmenté en nombre et en agressivité.

Cette autoroute constitue en fait la liaison entre le Maroc et l'Europe. Et souvent, le transport se fait par des tridems et à propos des tridems, il faut savoir que :

- a- un essieu tridem est deux fois plus orniérant qu'un essieu de référence tandem à roue jumelée.
- b- l'essieu tridem comporte trois essieux qui passent par le même point, alors que l'essieu de référence en comporte deux.
- c- quatre fois plus orniérant que l'essieu simple à roue jumelée.
- d- entre 40 et 46 tonnes, le tridem est vingt fois plus orniérant.
- e- et enfin, un tridem chargé à 46 tonnes et roulant à 30 km/h est 100 fois plus orniérant. C'est pourquoi, il est primordial de bien noter tous les changements qui s'effectuent sur une route donnée, pour en tenir compte au niveau de la conception.

2- Le liant

Il est légitime de se dire « Et pourquoi, ce phénomène d'ornièrage n'apparaissait pas avant le renforcement de l'autoroute ? ».

En fait, nous partons d'un liant qui à l'origine était un 40/50 qui a 7 ans d'âge, qui a vieilli, durci entre temps et dont la pénétrabilité moyenne est de 13 au 1/10 mm que nous allons remplacer par un bitume 40/50 trois à quatre fois plu mou.

3- Epaisseur

Nul n'ignore bien évidemment que plus l'épaisseur est importante (soit 15 cm dans ce cas, plus nous sommes exposés au phénomène de l'ornièrage).

Que faire ?

Il est intéressant de revenir sur l'expérience Française dans ce domaine qui doit nous guider dans notre démarche, pour combattre ce phénomène.

Les enrobés en France ont subi au cours de ces dernières années, un certain nombre d'évolutions qui sont les suivantes :

 Bitume de plus en plus dur :

	1970	1976	1978	1994	2000
Autoroutes et grandes RN	80/100	Été très chaud	60/70	35/50	35/50 ou 20/30 ou 10/20
Autres réseaux	180/220		80/100	50/70	50/70

 Épaisseur de plus en plus mince :

	1970	1974	1978	1983	1988
Autoroutes et grandes RN	6 cm 0/10	8 cm 0/14	4 cm 0/10	2,5 cm 0/10	1,5 cm 0/10 ou 0/6
Autres réseaux	5-6 cm	5-6 cm	4 cm	2,5 cm	1,5 cm
	BBSG	BBSG	BBM	BBTM	BBUM

 Formules de plus en plus grenues :

	1970	1980	1983	1985	1988	2000
Taux de gravillons	≈ 35 %	65 %	72 %	85 %	75 %	70 à 75 % est le plus courant
	BBSG	BBM	BBTM	BB drainant	BBUM	BBTM

Aujourd'hui :

Ces évolutions sont cumulées essentiellement par l'augmentation du taux des poids lourds et par la montée de l'agressivité des essieux (tridem >> jumelage).

Si en 1970 on faisait, sur autoroute, un enrobé de 5-6cm d'épaisseur, au bitume 80/100 contenant 35% de gravillons.

On fait en 2005, un enrobé très mince 0/10 de 2,5 cm d'épaisseur au bitume 35/50 modifié avec 75% de gravillons.

Il y a 30 ans, on n'aurait même pas proposé de l'essayer :

- épaisseur divisée par deux,
- taux de gravillons multiplié par deux,
- changement de 2 classes de bitume.