

LES TENEURS EN EAU SOUS CHAUSSEES

par E. ROHELLEC
Directeur Adjoint du L.P.E.E.

I • Introduction

Tous les Ingénieurs Routiers s'accordent pour reconnaître que la connaissance à priori des teneurs en eau qui règneront sous une chaussée au cours de sa vie est un élément capital pour dimensionner correctement la structure de cette chaussée.

La difficulté consiste à prédéterminer ces teneurs en eau. De nombreuses recherches ont été effectuées dans plusieurs pays, ayant pour objet de résoudre ce problème et il y a dix ans un groupe de recherche routière mis en œuvre par l'O.C.D.E. a publié un rapport de synthèse des recherches réalisées et des résultats obtenus.

Nous nous bornerons ici à rappeler les conclusions essentielles de ce rapport :

- 1— Il est possible de prédéterminer le profil hydrique sous une chaussée à condition de connaître
 - le niveau de la nappe
 - le coefficient de compressibilité et les courbes de succion du sol en fonction de sa compacité.Aucune méthode cependant ne permet de déterminer le temps nécessaire à l'instauration de l'équilibre hydrique.
- 2— La prédétermination du profil hydrique d'équilibre, si elle est possible, ne prend pas en compte certains phénomènes importants
 - l'infiltration de l'eau à travers les corps de chaussée
 - l'effet de bord qui affecte la zone la plus chargée de la chaussée.
 - les effets du phénomène gel-dégel.
 - l'humidification progressive sous l'effet de cycles thermiques en dehors des phénomènes gel-dégel.

La lourdeur de l'expérimentation préalable nécessaire, ainsi que l'importance des phénomènes qui ne sont pas pris en compte

par la méthode de détermination du profil hydrique d'équilibre font que cette méthode n'est généralement pas utilisée dans les études de dimensionnement d'une chaussée placée dans des conditions déterminées.

Plusieurs pays ont effectué des mesures systématiques de teneur en eau sous chaussées et ont cherché à corréler les résultats avec les différents paramètres connus :

- conditions climatiques
- conditions géologiques et géotechniques
- Traitement des accotements...

II • Importance des teneurs en eau sous chaussées

Le rapport déjà cité indique : « Il n'est pas exagéré d'affirmer que l'eau est le problème fondamental de la technique routière ».

La teneur en eau qui règne sous une chaussée, c'est-à-dire dans son assise, conditionne la portance de celle-ci, c'est une évidence pour le géotechnicien.

Compacté dans les conditions optimales puis soumis à une imbibition progressive, le sol connaît une chute plus ou moins importante et plus au moins rapide de ses caractéristiques mécaniques : angle de frottement interne et cohésion. Sa résistance, aux contraintes verticales notamment, diminue dans des proportions qui peuvent être considérables pour des sols argileux.

La teneur en eau qui règne sous une chaussée conditionne également sa déformabilité.

Sous module pseudo-élastique diminue lorsque la teneur en eau passe de W Proctor à W de saturation.

Sa déformabilité sous l'effet du trafic obéit à une loi du type Proctor, c'est-à-dire qu'il existe une teneur en eau « optimale » pour laquelle la densification, donc le tassement sont maxima.

Les actions du gel sont évidemment fonction, elles aussi, de la teneur en eau sous chaussée.

Dans une étude géotechnique routière on ne considère généralement que deux possibilités :

- la teneur en eau sous chaussée ne dépassera jamais l'optimum Proctor
- la teneur en eau sous chaussée dépassera l'optimum Proctor pour tendre vers la saturation.

Dans le 1^{er} cas, l'ingénieur choisira le C.B.R. à l'optimum Proctor c'est-à-dire, sans séchage ni imbibition.

Dans le second, il choisira le C.B.R. après imbibition du sol pendant 96 h, dans des conditions normalisées.

Il utilisera des relations empiriques pour déterminer le module de déformation E en fonction du C.B.R. (ceci dans le cas de caussées rigides ou semi rigides).

En ce qui concerne la densification sous l'effet du trafic, l'ingénieur préconisera un compactage suffisant sur une épaisseur adéquate à partir du niveau de la plateforme pour que les risques de tassement soient nuls, quelles que soient les variations d'humidité sous chaussée, et ceci aussi bien dans les zones en déblai que dans les zones en remblai.

Cette approche simplifiée du problème n'élimine pas la question fondamentale : comment évoluera la teneur en eau sous la chaussée après sa construction et notamment sur les rives, qui sont les plus sollicitées par les charges.

Etant donné que l'on ne peut dimensionner une chaussée revêtue à partir de l'hypothèse que le revêtement se fissurera et deviendra perméable, ou que les fossés seront mal entretenus, les causes essentielles d'un accroissement des teneurs en eau sous chaussée sont :

- les remontées capillaires à partir d'une nappe, permanente ou non, à niveau variable ou fixe.
- les infiltrations d'eau dans les accotements, par capillarité ou gravité et l'imbibition des bords de chaussée.
- les variations de température.

III • Relations empiriques entre la teneur en eau sous chaussée et autres caractéristiques du sol

Le rapport déjà cité fait mention de différentes relations empiriques établies par les laboratoires de plusieurs pays. Cependant les résultats sont toujours très dispersés et, s'agissant de sols plastiques, la dispersion est telle que les caractéristiques mécaniques (C.B.R. par exemple) peuvent varier dans des proportions importantes. Cette dispersion tient sans doute au fait que les teneurs en eau mesurées n'ont pas été corrélées avec les autres paramètres tels que l'étanchéité des revêtements, la présence et la profondeur de la nappe phréatique, les facteurs climatiques etc...

Nous citerons les résultats du L.C.P.C. qui font, dans une certaine mesure, exception.

Les résultats, très résumés, se traduisent comme suit :

95 % des points sont compris dans les limites suivantes :

0,8 Wn 1,3 LP

(LP Limite de plasticité)

D'autre part,

- Les teneurs en eau maximales sont généralement mesurées au printemps et les teneurs en eau minimales en été. Celles-ci se situent aux environs des teneurs en eau optimales de l'essai Proctor modifié U.S.C.E.
- Au droit d'un même point, la teneur en eau augmente généralement en profondeur.
- Dans un profil en travers, la teneur en eau, à un niveau déterminé, augmente généralement de l'axe vers les accotements.

Nous rappellerons également les conclusions d'une étude réalisée par le Laboratoire National du Sénégal, dans le Nord du pays, où les terrains de fondation des chaussées sont généralement des sables limoneux d'origine éolienne et où saison sèche et saison humide sont bien différenciées.

- La teneur en eau est constante dans le tiers central des chaussées et varie sur les deux tiers externes, au cours des saisons.
- La teneur en eau est maximale en fin de saison humide et est enregistrée sur les bords ; elle ne dépasse jamais l'O.P.M. sauf submersion de la chaussée.
- La teneur en eau redevient uniforme en fin de saison sèche et égale à la teneur en eau déséquilibre dans le tiers central...
- La teneur en eau des couches du corps de chaussées en latérite sont en relation avec celles de l'assise, sauf en cas de fissuration du revêtement.

IV• Exploitation des mesures faites au Maroc par le L.P.E.E. dans le cadre des études du P.G.R.

Durant les campagnes de sondages effectués en 1981 et 82, des mesures de teneur en eau ont été effectuées sur les bords de chaussées, dans les sols de fondation.

Les campagnes se sont échelonnées de Novembre 81 à Juin 82 et exceptionnellement en Août 82.

Parrallèlement aux teneurs en eau, le L.P.E.E. a mesuré les densités et les limites d'Atterberg.

Nous avons recherché s'il existait une relation entre le degré de saturation S_r et l'indice de plasticité I.P.

$$S_r \text{ est donné par } S_r = \frac{W_n}{W}$$

$$W_s = \frac{1}{d} - \frac{1}{s}$$

d densité apparente sèche
s poids spécifique des grains solides

Cette méthode permet de tenir compte de la compacité du sol qui a évidemment une influence sur la teneur en eau.

Le graphique 1 traduit les résultats obtenus pour la R.P.1, sur différents tronçons. Ces résultats sont très dispersés et ceci s'explique par les raisons indiquées précédemment (Rapport O.C.D.E.).

Cependant on peut traduire le degré de saturation maximum sous chaussée par la relation suivante :

$$Sr = 55 + 2,77 Ip$$

Un seul point sur 45 est situé au dessus de cette droite. Sous réserve de vérifications complémentaires, notamment au niveau de l'étanchéité du revêtement et du drainage, on pourrait éventuellement avancer la relation.

$$Sr = 40 + 2,30 Ip$$

Sur le graphique 2, nous avons représenté tous les points de mesure obtenus entre Novembre 81 et Janvier 82 et, sur le graphique 3, les points de mesure obtenus en Mars et Avril 82.

Dans le 1^{er} cas, 90 % des points sont au dessous de la droite

$$Sr_{max} = 50 + 3,3 Ip$$

Dans le cas du graphique 3, le manque de valeurs faibles de l'indice de plasticité rend plus délicat l'établissement d'une limite supérieure de Sr. Cependant on peut raisonnablement écrire la relation.

$$Sr = 50 + 2 Ip$$

ou

$$Sr = 40 + 2,4 Ip$$

Il apparaît donc qu'entre Novembre 81 et Avril 82, la variation de teneur en eau sous chaussée n'est pas très appréciable. Ces graphiques présentent l'intérêt de montrer que sous les chaussées marocaines (R.P.) le degré de saturation sous chaussée atteint rarement 90 %, chiffre qui est généralement considéré comme une saturation maximale sous chaussée.

Un autre résultat important est que les sols non plastiques ne dépassent pas un degré de saturation de 55 %. (sous réserve des vérifications déjà citées).

Si l'on connaît la relation $Sr_{max} = f(Ip)$, on peut facilement déterminer la teneur en eau maximale en fonction de la densité sèche et comparer cette teneur en eau à l'optimum Proctor.

Par exemple un sable non plastique ($Ip = 0$) ayant une densité Proctor de 1,75 pourra atteindre une teneur en eau maximale calculée par

$$W_{\max} = 0,55 \left(\frac{1}{2,75} - \frac{1}{2,65} \right) = 0,10 = 10 \%$$

Or, généralement, ce type de sable a une teneur en eau optimale de compactage supérieure à 10 % ou voisine de ce chiffre. Par conséquent il ne dépassera jamais sa teneur en eau optimale Proctor.

Par suite du défaut de valeurs I_p comprises entre 0 et 10, la représentation linéaire n'est peut être pas valable dans tous les domaines de plasticité.

Il est possible que dans l'intervalle (0 I_p 10) la courbe $S_r = f(I_p)$ présente une concavité tournée vers le haut et que la courbe vraie soit une courbe en S, asymptotique à l'horizontale $S_r = 90 \%$ ou $S_r = 95 \%$ (voir graphique 2).

Il faut rappeler ici les résultats des essais effectués dans les années 62/63 par le Laboratoire L.P.E.E. d'Agadir. Ces résultats peuvent se résumer comme suit :

- Les sols, dans la région d'Agadir ne sont généralement pas saturés sous les chaussées. L'humidité sous la chaussée dépend de nombreux facteurs, mais ceux qui semblent avoir une importance prépondérante sont :
la plasticité du sol et sa densité.
- Dans la zone centrale de la chaussée la teneur en eau est pratiquement constante toute l'année à condition que le revêtement soit en bon état.
- Quelques essais de succion ont montré qu'il semblait que les sols, de différentes natures, prennent sous la chaussée une teneur en eau d'équilibre qui est celle que l'on obtient lorsqu'on applique au sol une succion d'environ 1 atmosphère.

En 1965, sur la R.P. 30, la R.P. 32 et la R.S. 509 on a obtenu des valeurs de S_r inférieures à 50 % dans des sols peu plastiques de type sableux ou silteux, qui ont un I_p inférieur à 11.

Quant aux teneurs en eau, elles ne dépassent pas 11 % (mesures fin décembre après 171 mm de précipitations du 15 au 24 décembre).

S'agissant de sols non plastiques ou peu plastiques, on pourrait penser que le degré de saturation n'a pas une grande influence sur leur comportement mécanique, donc que la teneur en eau maximale a peu d'intérêt.

En fait, ces sols dont l'indice de plasticité est inférieur à 10 ne sont pas totalement insensibles à l'eau surtout s'il s'agit de sables fins cela est souvent le cas.

Le Laboratoire du Sénégal a pu démontrer que ces sables fins non plastiques se comportent, s'il sont compactés à 95 % O.P.M. et si leur teneur en eau ne dépasse jamais W O.P.M., comme de

véritables couches de fondation de chaussée et que leur C.B.R. réel atteint 30 %. Ceci explique que des chaussées sénégalaises constituées uniquement d'une couche de base de 15 à 20 cm reposant sur de tels sables aient pu se comporter très correctement pendant 15 ans, dans la mesure, bien entendu, où la structure était idéalement souple (couche de base non traitée revêtue d'un enduit superficiel ou d'un enrobémince).

S'agissant de sols plastiques, le degré de saturation a évidemment une influence très importante sur leur comportement mécanique.

Or l'examen des résultats concernant notre pays montre que ces sols argileux atteignent rarement 90 % de saturation et que nombre d'entre eux ont des degrés de saturation qui sont compris entre 50 et 80 %. On pourra objecter que les mesures ont été effectuées après plusieurs années de sécheresse. Mais nous restons convaincus que, pour la Maroc, la méthode qui consiste à considérer le C.B.R. après 4 jours d'imbibition est une méthode pessimiste pour certains itinéraires, même en zone « non aride ». Comment expliquer autrement que certaines chaussées de 30 cm d'épaisseur (parfois moins), fondées sur de l'argile, aient pu se comporter honorablement pendant plus de 10 ans.

Il faut également tenir compte du fait que la teneur en eau sous chaussée conditionne également la teneur en eau du corps de chaussée, donc la qualité que l'on impose aux matériaux qui constituent la couche de fondation et la couche de base.

Dimensionner une chaussée en supposant qu'un jour le revêtement se fissurera, donc deviendra perméable, est un non-sens puisque précisément l'un des buts du dimensionnement est d'éviter la fissuration du revêtement. Dimensionner une chaussée en supposant qu'il y aura imbibition par les bords n'est pas rationnel lorsque l'on prend des précautions onéreuses pour imperméabiliser les accotements.

Restent évidemment les risques d'imbibition par le bas, c'est-à-dire, par remontées capillaires, jusqu'au niveau de la plateforme. La chaussée, écran imperméable, rompt l'équilibre naturel entre évaporation et remontées capillaires, et il ne fait pas de doute que la situation de la nappe phréatique et le pouvoir de succion des sols situés entre cette nappe et le niveau de la plateforme, sont des éléments dont il faut tenir compte et qui sont, nous l'avons dit, très lourds au niveau d'une étude géotechnique routière, tant au point de vue coût que délai.

Conclusion

Il ne fait pas de doute que la connaissance des teneurs en eau sous chaussées au cours de leur vie est un élément capital si l'on veut dimensionner économiquement les chaussées. Il est égale-

ment certain que cette connaissance exige des recherches, des mesures in-situ, des corrélations avec les autres paramètres. Quand on connaît l'influence du C.B.R. sur le dimensionnement et l'influence de la teneur en eau sur le C.B.R., il est facile de chiffrer l'impact économique du paramètre « teneur en eau ».

Au Maroc, le catalogue des structures de chaussées a tenu compte de ce facteur puisqu'il a distingué 2 cas climatiques « zone aride », « zone non aride ». D'autre part, la classification d'un même sol « S » n'est pas la même dans les 2 zones et est fonction du drainage, ce qui signifie que la teneur en eau de ces sols sous chaussées est supposée différente.

Les mesures effectuées dans le cadre des études P.G.R. montrent que même en zone non aride certains sols ne sont probablement jamais dans un état voisin de la saturation.

C'est le cas notamment des sols non plastiques ou peu plastiques (Ip 10). Cela peut être le cas également, mais sous certaines conditions, des sols plastiques.

La présente communication n'a pas la prétention de tirer des conclusions définitives de mesures qui n'avaient pas pour objet d'étudier le problème « teneur en eau sous chaussée » mais de dimensionner un renforcement. Elle a pour simple but de faire apparaître l'opportunité d'entreprendre des recherches plus approfondies sur le sujet, de faire des mesures in-situ en corrélation avec les paramètres qui peuvent influencer cette teneur en eau, afin de cerner de plus près la vérité.

Les mesures dont il est fait état ici démontrent que cet effort a de bonnes chances de porter des fruits. Ceux ci peuvent se traduire, répétons-le, par des économies très substantielles au niveau du coût au Km des chaussées nouvelles ou des renforcements.

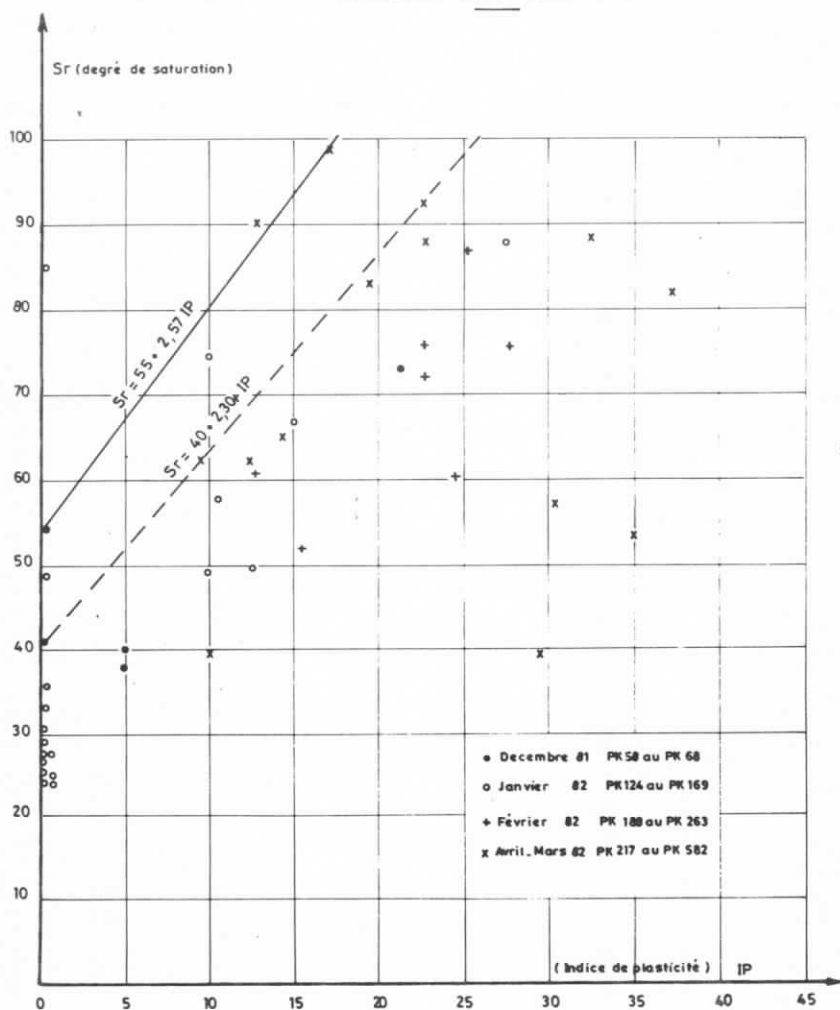
Cependant, il ne faut pas dissimuler qu'inversement, une erreur d'appréciation de la teneur en eau sous une chaussée peut avoir des conséquences catastrophiques sur son comportement, donc sur le coût final du projet.

Il faut ajouter que la teneur en eau sous chaussée est généralement liée à la teneur en eau dans la chaussée proprement dite et que par conséquent les spécifications à imposer aux matériaux qui constituent la structure peuvent varier suivant les possibilités d'imbibition du sol sous chaussée. Ceci peut également avoir un impact économique important notamment dans les régions pauvres en matériaux « nobles ».

Les spécifications du catalogue marocain peuvent certainement être adaptées aux conditions climatiques, notamment dans les provinces du Sud dans lesquelles précisément se pose un problème de matériaux pour corps de chaussée.

RP1

Campagne Dec 81 à Avril 82

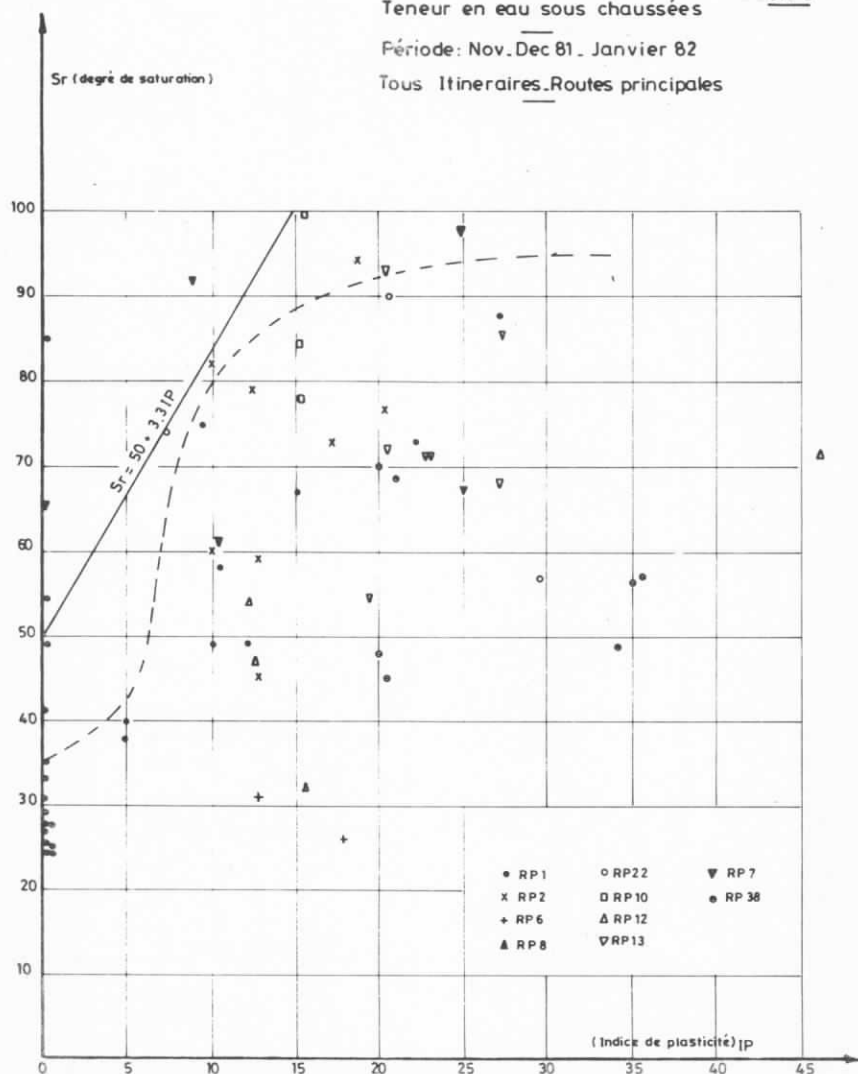


Gr. 2

Teneur en eau sous chaussées

Période: Nov. Dec 81. Janvier 82

Tous Itinéraires Routes principales



Teneur en eau sous chaussée

Période: Mars-Avril 82

Tous Itinéraires routes principales

