

ANALYSE DES DIFFERENTES CAUSES POSSIBLES DE DEGRADATION D'UNE CHAUSSEE

par E. Le Rohellec
Directeur adjoint du L.P.E.E.

I • Généralités et définitions

On entend généralement par renforcement d'une chaussée l'opération qui consiste, sur une chaussée encore en bon état, à lui donner les moyens de supporter une nouvelle épreuve de trafic. Cette opération a d'ailleurs été souvent programmée au moment de la conception de la chaussée dans l'esprit d'un aménagement progressif.

Dans ce qui suit il sera plutôt question de chaussées déformées qui nécessitent des travaux importants de réfection, travaux qui peuvent être d'ailleurs exécutés sur des trançons limités d'une route ayant dans son ensemble un comportement satisfaisant.

Cette analyse n'a pas la prétention d'être exhaustive, elle a principalement pour but de décrire les causes principales de détérioration, celles qui sont liées au trafic et celles qui ne le sont pas. Dans le second cas les méthodes classiques d'étude de renforcement ne sont pas adaptées puisqu'elles procèdent toutes du trafic, considéré comme la seule cause de la fatigue ou de la détérioration de la chaussée.

Nous examinons successivement :

- Les causes liées à l'assise de la route
- Les causes liées à la structure de la chaussée c'est à dire au corps de chaussée.
- Les causes liées au drainage
- Les causes liées à l'environnement

II • Causes liées à l'assise de la chaussée

II.1. Définitions et généralités

Bien qu'il s'agisse en réalité de la fonction de la chaussée nous n'utilisons pas ce terme qui est réservé à la couche inférieure du corps de chaussée, nous n'utilisons pas d'avantage le mot plateforme qui caractérise plutôt une surface.

Dans ce qui suit l'assise est constituée par la partie des terrassements et du terrain naturel (déblais ou remblais) qui est mécaniquement sollicitée par l'ouvrage dans son ensemble. Il s'agira donc aussi bien du terrain en place sollicité par les remblais que des remblais eux même ou des sols en déblais.

II.2. Désordres imputables à l'instabilité du sol sous remblais

Un remblai routier peut être cause de désordres au niveau de la chaussée pour plusieurs raisons.

En premier lieu ce remblai qui a apporté une surcharge sur le terrain naturel peut provoquer une rupture, un fluage, un tassement de ce terrain.

En règle générale, et si le remblai est important, ces phénomènes de rupture, fluage ou tassement sont indépendants du trafic. Les éléments prédominants sont le poids du remblai et sa forme. C'est-à-dire son profil en travers.

Fondé sur un terrain peu résistant le remblai peut provoquer un poinçonnement au même titre que la fondation d'un pont ou d'un bâtiment. Suivant l'épaisseur du terrain de faible résistance on assistera soit à une rupture profonde de type circulaire soit à un fluage horizontal du sol. Dans les deux cas le remblai dont la chaussée sera affecté gravement car les mouvements sont généralement de grande amplitude. Cela peut aller jusqu'à la ruine totale de l'ouvrage.

Le problème des remblais fondés sur des terrains de faible consistance est bien connu et doit être étudié à priori afin que l'accident ne se produise pas. S'il se produit c'est d'ailleurs la plupart du temps en cours de construction ou peu de temps après celle-ci.

Le phénomène de tassement du sol naturel sous le poids du remblai est par contre progressif et peut affecter une chaussée longtemps après sa mise en service. Ce tassement peut également être déterminé à priori, et des solutions existent pour accélérer l'évolution.

Rupture ou tassement se traduisent en surface, au niveau de la chaussée, par des déformations de grande amplitude du profil en long et du profil en travers, ainsi que, parfois, par des fissurations dues aux mouvements différentiels.

Il faut ajouter à ces deux phénomènes, celui qui est lié à l'instabilité volumétrique du terrain en place mais nous examinerons ce problème dans les chapitres suivants car on le retrouve aussi bien en déblai qu'en remblai.

II.3. Désordres imputables aux remblais eux mêmes

Un remblai fondé sur un terrain très consistant et incompressible peut en lui-même être cause de désordres au niveau de la chaussée.

L'instabilité des talus, exécutés avec des pentes trop fortes, le tassement du remblai sous son propre poids (et sous les charges de service) consécutif à un mauvais compactage, sont des phénomènes relativement courants, mais qui ne devrait pas se manifester si l'étude préliminaire et l'exécution avaient été correctement même type que celles mentionnées ci-dessus (déformation-fissuration). Il est évident que la hauteur du remblai joue, comme dans le cas précédent, un rôle prédominant, mais le trafic n'est pas sans influence sur le tassement des couches supérieures du remblai.

L'instabilité volumétrique du remblai (gonflement, retrait) est une cause bien connue des désordres dans certaines régions du Maroc (1)

Cette instabilité liée aux variations saisonnières d'humidité affecte en particulier les talus des remblais lorsqu'ils ne sont pas protégés.

La dessiccation en saison sèche provoque des fissures assez profondes dans lesquelles, en raison de pluies, l'eau pénètre très rapidement provoquant le gonflement et la chute spectaculaire des caractéristiques mécaniques. Il en résulte une instabilité mécanique des talus et l'on assiste à un véritable affaissement des rives de la chaussée et à un étalement des remblais. Après plusieurs saisons, la chaussée finit elle-même par être affectée et cela se traduit comme pour un glissement classique par des fissurations longitudinales et par des déformations très importantes du profil en travers comme du profil en long.

Si un remblai, constitué lui-même de matériaux volumétriquement stables, repose sur un terrain naturel instable les désordres sont différents. Il n'y a pas modification des pentes de talus ni affaissement des bords de chaussée et accotements. On peut assister en saison sèche à la création de fissures longitudinales affectant toute l'épaisseur du remblai et provoquées par les efforts de traction que le terrain naturel en se rétractant a imposé au remblai et au corps de chaussée.

Il est évident que dans tous les cas examinés dans ce paragraphe les travaux à exécuter ne peuvent être qualifiés de renforcement puisque la chaussée elle-même et le trafic qu'elle supporte ou aura à subir n'ont que très peu d'influence, sinon pas du tout, sur les désordres. La seule exception tient dans le fait que dans le cas d'un remblai mal compacté, dans ses couches supérieures, un renforcement de la structure peut être judicieux.

(1) Le L.P.E.E. a effectué de nombreux travaux à ce sujet

II.4. Désordres imputables à la stabilité des zones en déblai

Les talus en déblai ne font pas partie de l'assise de la chaussée. Cependant leur stabilité est liée à la construction de la route et nous ne pouvons l'ignorer car elle affecte la chaussée. L'instabilité des talus en déblai et celle des versants dans lesquels ils sont terrassés sont les causes de désordres tout à fait indépendantes du trafic et de la structure de la route.

Cette instabilité relève d'avantage de la mécanique des sols que de la technique routière. Cependant ces causes ne peuvent être ignorées de l'ingénieur qui a en charge de définir les travaux de confortement à réaliser. Nous n'insisterons pas sur ce sujet, bien connu, au Maroc notamment, et qui dans certaines régions constitue le souci majeur des ingénieurs chargés de la maintenance du réseau routier.

Une assise en déblai peut être à l'origine de désordres d'un autre type que des glissements de terrain. Si cette assise est mal compactée elle peut être à l'origine de tassements qui cette fois sont directement liés au trafic. Il est tentant de considérer qu'un sol en déblai, donc en place, est bien compacté naturellement. Cependant les contraintes qu'il supporte du fait de la circulation sont de nature différente de celles qu'il a pu subir au cours de son histoire géologique. La circulation provoque en effet des contraintes concentrées et dynamiques. D'autre part les terrassements eux-mêmes peuvent provoquer une modification des conditions d'humidité du sol.

Le tassement d'un sol en déblai sous chaussée n'est donc pas un phénomène exceptionnel notamment sur les chaussées anciennes construites à une époque où l'on considérait qu'un sol en place ne tasse pas et qu'il est inutile de la compacter.

Les désordres engendrés au niveau de la chaussée sont du même type que ceux observés sur un remblai mal compacté à sa partie supérieure. Les déformations du profil en travers en forme de « chapeau de gendarme » sont la manifestation d'un tassement différentiel entre les bords, plus humides et plus sollicités, et le centre plus sec et peu circulé.

Dans la zone en déblai l'instabilité volumétrique des sols d'assise peut également être une cause de désordres sous forme essentiellement de déformations des profils en travers et en long et de fissurations dues au retrait en saison sèche.

II.5. Conclusions

Parmi les causes possibles de dégradations imputables à l'assise des chaussées on distingue deux catégories :

- Les causes indépendantes du trafic et qu'on ne saurait supprimer par un renforcement de la structure. Ce sont les causes d'instabilité mécanique ou volumétrique qui sont liées soit aux caractéristiques du terrain naturel, soit à un mauvais compactage des remblais dans leur masse, soit aux conditions climatiques.
- Les causes liées au trafic qui sont dues à une insuffisance de compactage des couches supérieures de l'assise, couches qui sont sollicitées par le trafic lourd.
Les manifestations, au niveau de la chaussée, de ces deux grandes catégories sont différentes et il est relativement aisé à l'ingénieur expérimenté de les distinguer.

Ainsi le tassement général d'un remblai mal compacté dans sa masse ou reposant sur un sol compressible produira des déformations très différentes de celles provoquées par le trafic dans le cas d'une insuffisance de compactage de la partie supérieure de l'assise.

Il est évident que la solution à adopter pour conforter ou renforcer la route sera différente suivant le cas et qu'un renforcement de la structure peut être tout à fait inefficace.

III • Causes liées à la structure

La structure d'une chaussée est fonction de deux paramètres principaux.

- Le trafic qui s'exprime de différentes façons
- Les caractéristiques de la plate-forme (caractéristiques de résistance et de déformabilité)

Un troisième paramètre capital quant aux causes des désordres réside dans la qualité de la structure elle-même.
Nous examinerons séparément ces deux types de causes de détériorations.

III.1. Caractéristiques de la Plate-forme

Si l'on élimine le problème de tassement de l'assise évoqué dans les chapitres précédents il subsiste deux paramètres quant à la plateforme

- Sa résistance mécanique
- Sa déformabilité pseudo-élastique

La résistance mécanique d'une plate-forme est généralement caractérisée par son C.B.R. ou indice portant californien.
L'essai C.B.R. est un essai conventionnel de poinçonnement donc de rupture qui fait intervenir l'angle de frottement interne et la cohésion du sol.

—La déformabilité est généralement caractérisée par un module de déformation E

Sous une chaussée souple (couches non traitées) la résistance mécanique c'est à dire le C.B.R. est prépondérant car les contraintes verticales transmises par la charge de la roue, au niveau de la plateforme, sont importantes. Les couches constituant le corps de chaussées ayant une rigidité faible ont un pouvoir de répartition limite.

Au contraire sous une chaussée rigide ou semi rigide le module de déformabilité est prépondérant car les contraintes verticales au niveau de la plateforme sont faibles. Par contre les couches traitées sont soumises à des contraintes de tractions qui dépendent du rapport de leur module propre à celui de la plateforme.

Une couche non traitée, donc souple, se fissurera en flexion mais ces fissures seront diffuses et autoréparables. Une couche traitée donc semi-rigide ou rigide se fissurera suivant un réseau beaucoup plus large et les fissures n'étant pas autoréparables se transmettront aux couches susjacentes y compris jusqu'au revêtement si celui-ci est lui même rigide.

Les manifestations au niveau de la chaussée seront très différentes dans les deux hypothèses.

Une dégradation due au poinçonnement de la plateforme se traduira, en surface par des déformations verticales pouvant aller jusqu'à l'ornièrage et la formation de bourrelets de part et d'autre des bandes de circulation. On verra apparaître en outre des fissures dans le revêtement suivant une maille assez serrée dans les zones affaissées et de part et d'autre de celles-ci.

La manifestation d'une déformabilité excessive de la plateforme sous des chaussées à couches traitées sera constituée par des fissures à larges mailles mais peu ou pas de déformations verticales tout au moins dans un premier temps. Si la fissuration se multiplie la chaussée finira par se comporter comme une chaussée souple et l'on pourra voir apparaître des déformations verticales importantes.

A ces notions volontairement simplifiées, il faut ajouter celle de fatigue qui a été traitée dans le premier chapitre du séminaire.

Il est certain qu'un renforcement de la structure réduira d'une part les contraintes verticales au niveau de la plateforme s'il s'agit de chaussées souples, d'autre part les contraintes de traction dans les couches traitées s'il s'agit des chaussées semi-rigides.

III.2. Caractéristiques du corps de chaussée

Les désordres observés sur une chaussée sous l'action du trafic

sont souvent imputables à la mauvaise qualité des matériaux qui constituent le corps de chaussée ou de leur mise en œuvre. Plus on se rapproche de la surface de la chaussée, plus les sollicitations mécaniques sont importantes, donc meilleure doit être la qualité des matériaux et de leur compactage ; énumérons rapidement ces qualités

- Résistance au poinçonnement
- Résistance à l'attrition et à la fragmentation
- Résistance au gel ou aux températures élevées
- Résistance à la traction (matériaux traités)
- Faible déformabilité.

Ajoutons à cela une bonne liaison notamment entre la couche de roulement et la couche de base.

Autant de causes possibles de détérioration de la chaussée ce qui signifie qu'il sera souvent difficile de faire un diagnostic sûr quant aux causes effectives. De nombreuses investigations seront parfois nécessaires, investigations qui seront décrites dans le chapitre suivant.

L'examen visuel attentif d'une coupe en travers de la chaussée apporte souvent en lui même des informations précieuses mais également les déflexions, les essais en place et en laboratoire.

Comme dans le cas de la plateforme, les manifestations en surface d'une insuffisance mécanique du corps de chaussée se traduisent soit par des déformations verticales, soit par des fissurations, soit par les deux phénomènes à la fois. Le L.C.P.C. a établi un catalogue des dégradations des chaussées, catalogue qui pour chaque type de dégradations visible en surface, donne une ou plusieurs causes possibles. Nous conseillons aux ingénieurs et techniciens routiers chargés des études de renforcement de se référer à ce catalogue ce qui n'exclut nullement la nécessité des investigations déjà citées, mais permet d'effectuer des recouplements.

Répetons qu'en règle générale les détériorations d'une chaussée à assises traitées seront dans un premier temps des fissurations dues à des contraintes de traction trop élevées en égard à la résistance des dites assises (fondations, base, revêtement). Au contraire pour des chaussées souples les désordres survenant dans un premier temps sont des déformations permanentes.

Cependant cela n'est pas exact dans le cas d'une chaussée à assises non traitées revêtue d'un enrobé épais. Celui-ci peut se fissurer en traction par suite de contraintes excessives avant que n'apparaissent des déformations. Il faut dire qu'une telle chaussée n'est pas idéalement souple.

Les traitements à appliquer seront évidemment différents suivant la cause des désordres et celui qui consiste à renforcer la chaussée au moyens d'enrobés n'est pas toujours le moyen le plus approprié.

III.3. Conclusions

Les causes de détériorations, liées à la qualité du corps de chaussée sont multiples et peuvent se superposer. Ce n'est qu'après des investigations de différentes natures que l'on parviendra à localiser le « défaut ». L'expérience en la matière est évidemment un atout capital.

On peut dire cependant que les détériorations d'une chaussée à assises traitées ont des causes généralement différentes de celles des détériorations des chaussées idéalement souples et que les méthodes de renforcement sont également différentes.

IV• Causes liées au drainage

IV.1. Drainage des eaux de ruissellement

Nous ne décrivons pas ici ce qu'est un réseau de drainage des eaux superficielles. Nous constaterons seulement que nombre de détériorations des chaussées sont dues à une mauvaise conception ou à un entretien défectueux du réseau.

a) Les eaux et ruissellement de la chaussée

Les eaux doivent théoriquement être évacuées vers les fossés latéraux si l'on se trouve en déblai et vers des descentes d'eau si l'on est en remblai. Pour cela il faut des pentes transversales judicieusement choisies, il faut que revêtements et accotements soient imperméables. Sinon l'eau pénètre dans le corps de chaussée et dans l'assise, soit par gravité soit par capillarité.

L'une des causes importantes de détérioration des chaussées revêtues réside dans cette pénétration des eaux de ruissellement dans la chaussée elle même, et dans son assise. Cette eau affaiblit les caractéristiques mécaniques du sol d'assise et du corps de chaussée notamment lorsque, ayant pénétré sous la route, elle demeure prisonnière. Des pressions intersticielles peuvent alors se manifester, dans les couches saturées, au passage des charges, et l'on connaît les conséquences. Ceci est particulièrement vrai évidemment sous les bandes de circulation. La destruction de la chaussée peut être dans ce cas très rapide. Ce phénomène est souvent appelé phénomène de la « baignoire ».

Le résultat est le même si l'eau correctement évacuée vers les fossés, stagne dans ceux-ci par défaut de pente ou d'entretien.

b) Les eaux de ruissellement des abords

Dans les zones en déblai, les eaux de ruissellement des talus

et versants sont également recueillies par des fossés parfois bétonnés, et évacuées soit directement, soit grâce à une traversée de la route (buse ou dalot). Si ces ouvrages sont sous-dimensionnés ou mal entretenus ils ne peuvent pas absorber le débit et une partie des eaux submerge la chaussée, pouvant causer des désordres graves même s'ils sont localisés : désenrobage, saturation du corps de chaussée, érosion du talus aval si la route est en profil mixte ou en déblai à flanc de colline.

IV.2. Drainage des eaux internes

Lorsque, dans le sol naturel il existe une nappe phréatique, la chaussée doit être protégée contre les eaux de cette nappe. En remblai on remonte suffisamment la ligne rouge pour mettre la chaussée hors d'eau en toutes saisons. En déblai on exécute des drains profonds destinés à rabattre la nappe sous la route de façon permanente.

Il est évident que si ces dispositions n'ont pas été prises lors de la construction, la chaussée risque d'être submergée ou pour le moins saturée d'eau et l'on assistera aux mêmes dégradations que dans le cas d'une pénétration des eaux de surface.

Une remontée non prévue de la nappe phréatique régnant dans l'emprise d'une route peut ainsi être une cause déterminante de désordres graves même si la chaussée est correctement dimensionnée et construite selon les règles de l'art.

IV.3. Conclusions

L'eau peut être sans aucun doute une cause déterminante dans le comportement d'une chaussée sous l'action du trafic et ceci sans parler des désordres qu'elle cause sur les talus et les accotements.

Un sol ou un matériau saturé a en effet des caractéristiques mécaniques très diminuées par rapport au même sol et au même matériau non saturé et notamment lorsqu'il est soumis à une surcharge appliquée brutalement, ce qui est le cas d'une chaussée.

Des pressions interstitielles sont alors engendrées par la surcharge et la résistance au cisaillement donc au poinçonnement et au glissement s'en trouve diminuée. Rappelons à ce sujet la formule qui donne la résistance au cisaillement dans un sol ou un matériau au sein duquel règnent des pressions interstitielles.

$$T = \operatorname{tg} \Psi (N - u) + C$$

T = résistance au cisaillement

N = contrainte Normale

u = pression interstitielle

Ψ = angle de frottement interne

C = Cohésion

On voit nettement dans cette formule qu'un accroissement de u entraîne une diminution de T même si ψ et C restent constantes. Les dégradations d'une chaussée saturée d'eau sont caractérisées par leur évolution rapide et par un orniérage spectaculaire notamment lorsque ce sont les couches de fondation ou de base qui ont été poinçonnées.

V • Causes liées à l'environnement

V.1. Le climat

Il est évident que le climat a une influence sur le comportement d'une chaussée. Nous avons vu précédemment l'influence de l'eau lorsqu'elle pénètre sous la chaussée.

Sous certains climats très secs ce risque n'existe pas et la chaussée ne sera pratiquement jamais saturée sauf accident. Cela est si vrai que pour le Maroc le catalogue de structures des chaussées distingue deux cas : zones arides, zones non arides.

La température peut également être cause de désordres et de détériorations graves. Nous citerons le phénomène gel-dégel qui au Maroc n'affecte que les routes de montagne. Ce phénomène provoque une chute importante des routes de montagne. Ce phénomène provoque une chute importante des caractéristiques mécaniques de certains sols lorsqu'ils sont très humides. Au moment du gel il se produit une expansion, un véritable décompactage et au dégel, résistance et module de déformation diminuent dans de fortes proportions. Le résultat est le même que si la mise en place de ces sols et matériaux avait été très défectueuse à l'exécution.

Les hautes températures principalement les matériaux traités au bitume par suite d'un ramollissement du liant. On assiste alors à un phénomène de fluage.

Pour les matériaux traités au ciment les variations de température engendrent des contraintes dans la couche traitée par suite de dilatations et retraites. On assiste alors à une fissuration généralement à grandes mailles comme c'est le cas également pour le retrait chimique du matériau traité.

Retrait thermique et retrait chimique ont des effets qui s'ajoutent et les couches traitées qui ne comportent pas de joints cassent en traction entraînant une rupture du revêtement bitumineux. La répartition des efforts sur les couches inférieures s'en trouve naturellement modifiée.

V.2. La végétation

Il est certain, toutes choses étant égales par ailleurs qu'une route en forêt est plus vulnérable qu'une route en terrain découvert, l'évaporation y est plus faible et les sols sous-chaussée seront plus

humides donc moins résistants et plus déformables. C'est la raison pour laquelle on prévoit généralement des emprises très larges dans les zones boisées. On peut dire cependant que la forêt n'est pas une cause directe de dégradations mais une cause indirecte.

Cependant dans les sols gonflants le L.P.E.E. a montré, par des mesures, que les arbres lorsqu'ils sont proches de la route peuvent être causes de déformations différentielles car ils créent des variations d'humidité dans les profils longs et en travers. Ces variations d'humidité engendrent des variations de volume donc des déformations. Dans les sols non gonflants à notre connaissance, l'influence des arbres sur le comportement de la chaussée n'est pas évident.

V.3. Conclusions

Le climat est sans aucun doute une cause possible de détérioration des chaussées, qu'il s'agisse de pluviométrie ou de la température.

Le facteur climat est d'ailleurs, dans la conception et de dimensionnement des chaussées un paramètre important. Théoriquement les méthodes de dimensionnement permettent de tenir compte de ce facteur. Mais on ne peut dimensionner une route pour les cas extrêmes et il arrive que des désordres graves se produisent comme ce fut le cas en France pendant l'hiver et le printemps 1963.

Les variations importantes de température sont aussi une cause de dégradation notamment sur les chaussées à assises traitées au ciment ayant un module élastique élevé.

La végétation et notamment la forêt doivent également être prises en compte bien qu'elles soient une cause indirecte de diminution des caractéristiques des sols et matériaux argileux. Ceci est vrai pour les routes revêtues mais également pour les pistes en terre ou en matériaux argileux.