



**Université
de Limoges**

GEMH

Groupe d'Etude des Matériaux

Hétérogènes – Equipe Génie Civil et

Durabilité



Plate-Forme Technologique
Travaux Publics
Limousin

RAPPORT

DIAGNOSTIC DE CHAUSSEE

DU CD36

en collaboration avec le Conseil Général de la Corrèze

**Convention entre la Plateforme Travaux Public
du Limousin et le Conseil Général de la Corrèze**

Avril 2009

**Anne MILLIEN
Christophe PETIT
Mokhfi TAKARLI**

DIAGNOSTIC DU CD36

I – Préambule

Le diagnostic de chaussées a été réalisé sur un tronçon de 4 kms sur le CD 36 en partant de la limite du département de la Creuse. Dans le rapport la référence PK 0 correspond à cette limite.

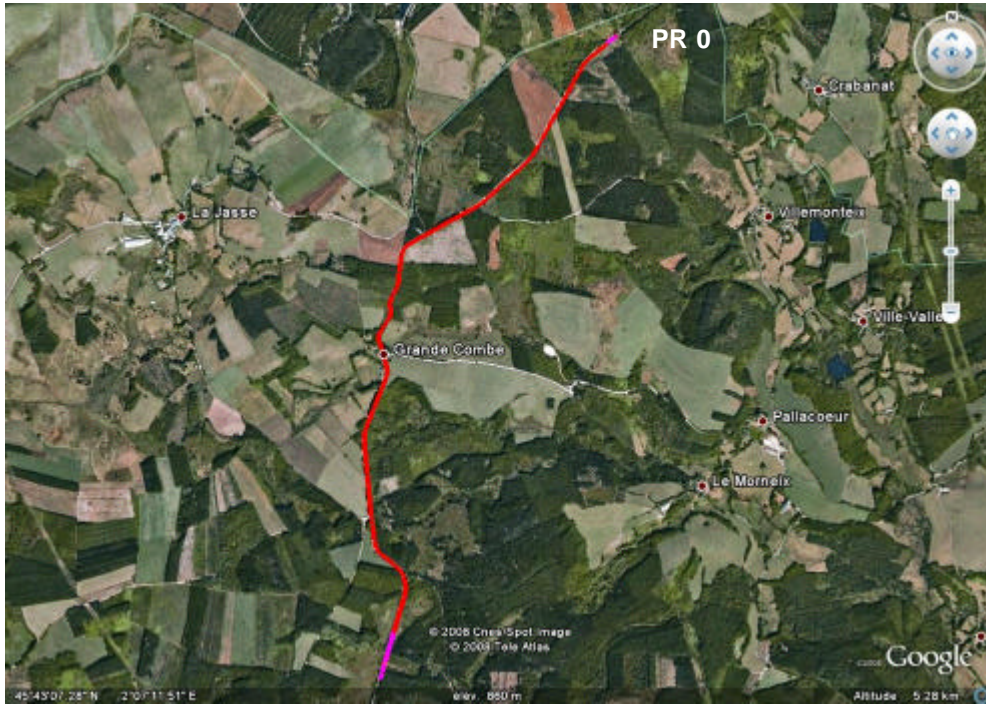


Figure 1 : photographie aérienne du tronçon étudié sur le CD 36

Le tronçon dégradé doit être réparé dans la meilleure optimisation durant les années à venir en commençant par une première opération au printemps 2009 et une 2^{ème} en 2010. Ce rapport, incluant les résultats du diagnostic ainsi que l'expertise et le traitement de ces résultats, est destiné à être un outil d'aide à la décision pour définir les tronçons à réparer et la solution de renforcement.

Les moyens d'investigation ont été des séries de mesures au déflectomètre à masse tombante FWD à plusieurs niveaux de charges le 11 décembre 2008 par une température moyenne de surface de l'enrobé de l'ordre de 1°C. Les mesures de déflexions ont été associées à des mesures d'épaisseurs au GéoRadar.

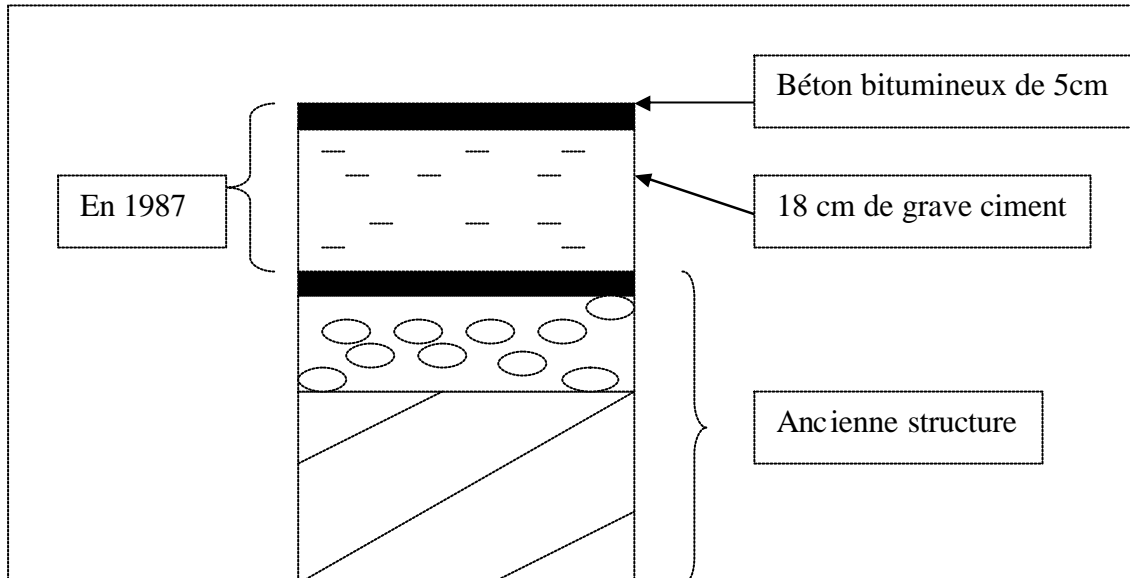
Par ailleurs, 6 sondages à la pelle ont été réalisés courant mars afin de confirmer la structure de chaussée, les épaisseurs, l'humidité et l'état de dégradation des matériaux.

L'utilisation combinée des mesures de déflexion et des mesures d'épaisseurs ont permis par rétrocalculs de définir les modules résiduels des couches identifiées.

Ce rapport a été rédigé avec la dernière version provisoire du guide de diagnostic et de renforcements de chaussées, il est aussi le résultat de l'expérience du laboratoire GEMH de

l'Université de Limoges dans ce domaine. Cette étude a été aussi menée par un groupe d'étudiants en Master Inspection, Maintenance et Réparation des Ouvrages.

II – Description de la chaussée



La chaussée actuelle a été construite en 1987 avec une couche de Grave Ciment et une couche de surface en enrobé sur une ancienne chaussée d'une structure très légère d'une quinzaine de centimètre de blocage en pierre (granit altéré) de mauvaise qualité et une succession d'enduits superficiels conduisant à une épaisseur moyenne de 3 cm de matériaux bitumineux. Par la suite une partie du tronçon a été rechargé en 1998.

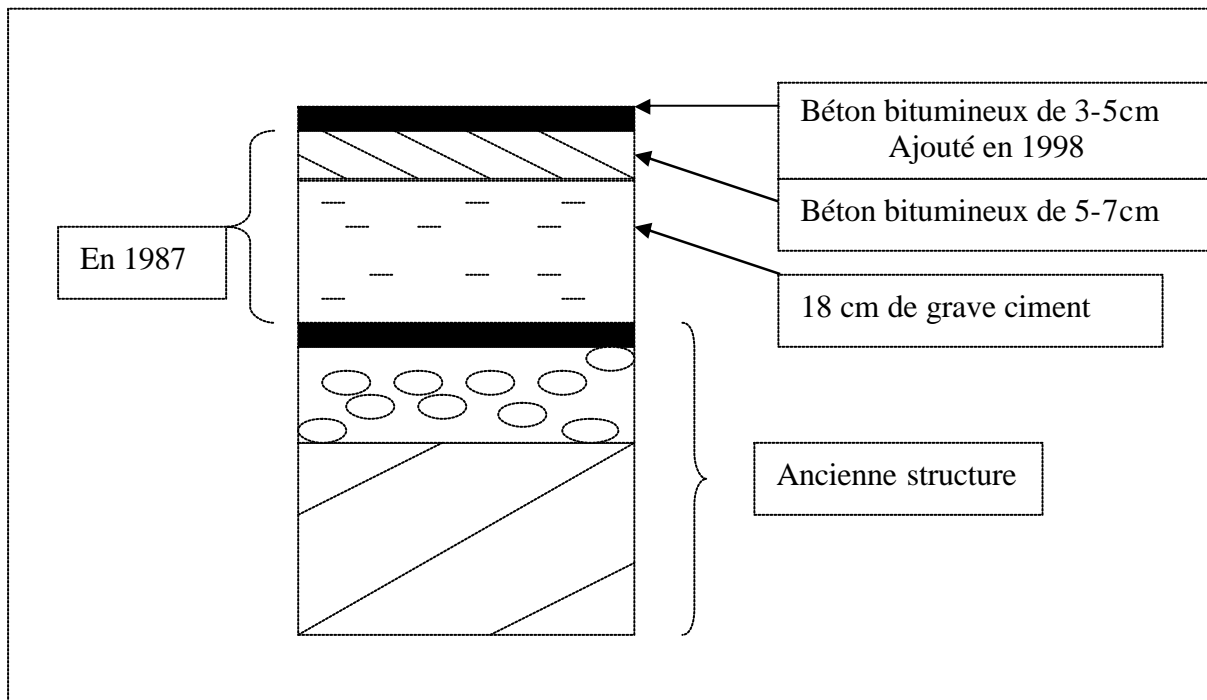


Figure 2 : schéma représentatif de la structure de la chaussée

III – Protocole de diagnostic

Il a été convenu de procéder à une campagne de mesures de bassins de déflexion au FWD tous les 100 mètres sur le tronçon (voire tous les 50 mètres dans certaines zones présentant des particularités ou de fortes dégradations). Cette campagne a été complétée par une campagne au radar chaussée pour compléter avec les épaisseurs des couches. Ces mesures ont été faites sur la voie de droite dans le sens Creuse-Corrèze. Par la suite, 6 sondages à la pelle ont été réalisés pour compléter les informations issu du radar et de l'analyse des modules des couches par rétrocalcul.

- Protocole FWD (Dynatest 8002)
 - 3 coups de mise en place
 - 4 coups de mise en place à différents niveaux de chargement (40, 50, 60, 70 kN)
- Protocole Radar (antenne GSSI, 2GHz, SIR3000)
 - Mesures avec 10 scans par mètres à 30 km/h

IV – Résultats de déflexions

Les essais ont été réalisés le 11 décembre 2008, en 48 points de la bande de roulement rive de la voie Creuse-Corrèze. La température de surface de la chaussée (de -2 à 3°C) était en moyenne de $1,3^{\circ}\text{C}$, pour une température d'air moyenne de $-1,8^{\circ}\text{C}$.

L'analyse des résultats montre une très bonne répétabilité des déflexions par niveau de charge d'une part et une linéarité des déflexions mesurées en un même point en fonction de la charge. Par la suite nous procéderons donc à l'analyse de la moyenne des bassins de déflexions pour le niveau de charge 70 kN.

Les bassins de déflexions sont obtenus à partir des résultats de 9 géophones positionnés de l'axe de chargement (D1) à 1,80 m (D9) de l'axe. Les géophones D2, D3, D4, D5, D6, D7 et D8 sont respectivement à 0,20, 0,30, 0,45, 0,60, 0,90, 1,20 et 1,50 m de cet axe.

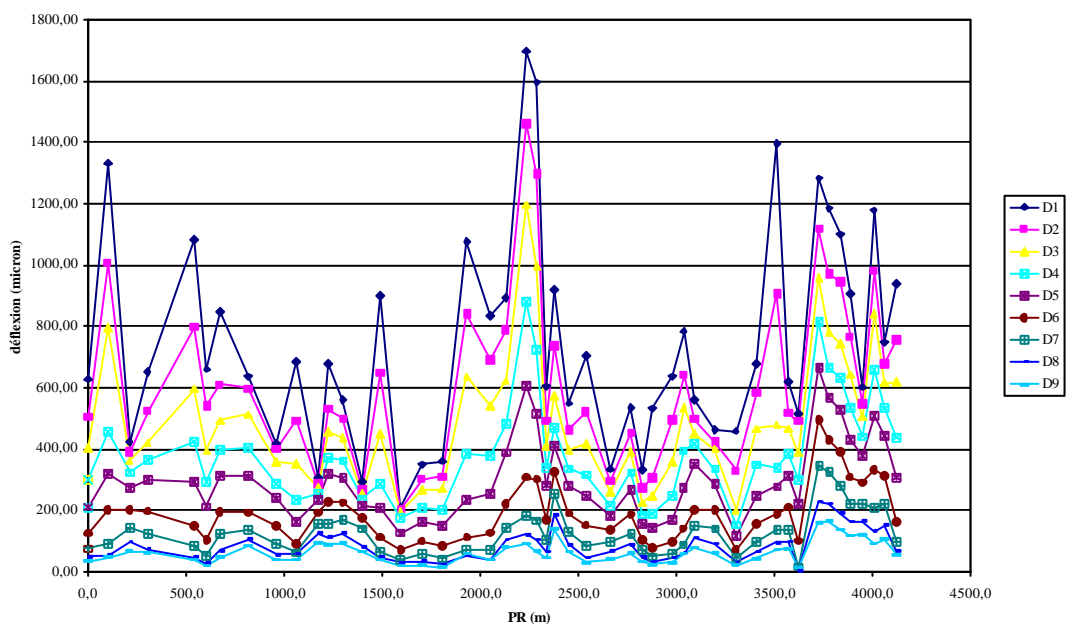


Figure 3 : Profils de déflexions des 9 géophones en micromètres

Le profil des déflexions obtenues pour le chargement de 70 kN peut nous permettre d'établir les classes de déflexions selon le guide provisoire du SETRA. Cette analyse n'est pas conforme au guide, au sens où les données ne proviennent pas du deflectomètre flash, les déflexions FWD 70 kN sont certainement un peu plus sévères. Par ailleurs, il est ici juste fait une analyse de situation avec des valeurs brutes et non des valeurs caractéristiques.

Tableau 1 : valeurs caractéristiques des classes de déflexion

| Classes | ≤ D3 | D4 | D5 | D6 | D7 | D8 | D9 |
|--|-----------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| Seuils de déflexion caractéristique en 1/100 ^{ème} mm | de 0 à 44 | de 45 à 74 | de 75 à 99 | de 100 à 149 | de 150 à 199 | de 200 à 299 | ≥ 300 |
| Niveau global de comportement en fonction de la classe de trafic | | | | | | | |
| T1 – T0 | Bon | Moyen | Mauvais | | | | |
| T3 – T2 | Bon | | Moyen | Mauvais | | | |

Les classes de déflexions obtenues sont de niveau D6 par zones du Pt 1800 m à 2400 m environ (au milieu du parcours en diagnostic) et de 3400 à 4000 m sur la fin du parcours. Ensuite on trouve la classe D5 de l'origine 0 en limite Creuse à 800 m et le niveau D4 de 800 à 1800m et de 2400 à 3400 m. Pour l'étude, on considère un trafic T3 avec 100 PLMJA/jour, en conséquence les niveaux de déflexions obtenus peuvent être qualifiés de moyens voire mauvais ponctuellement (pour D > 1500 micromètres).

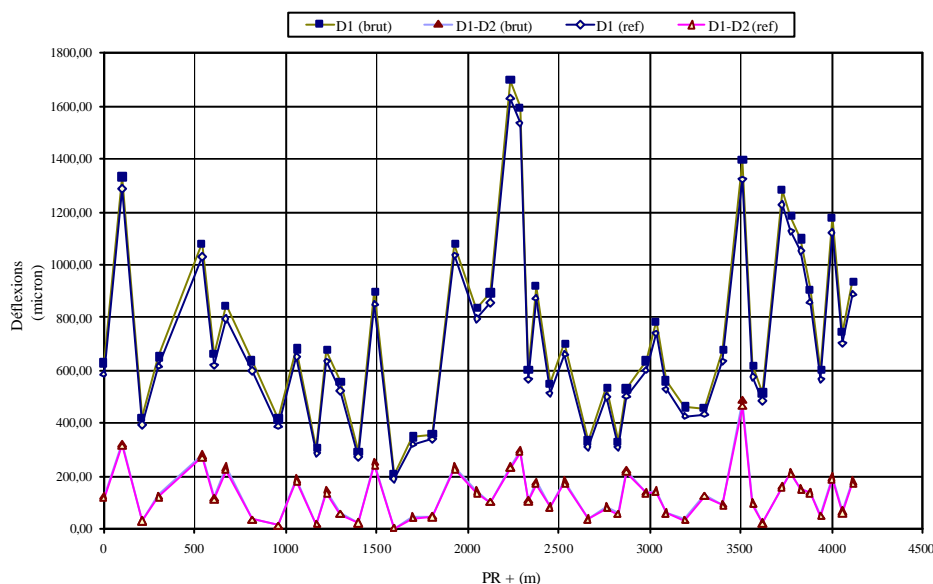


Figure 4 : Profils des D1 et (D1-D2)

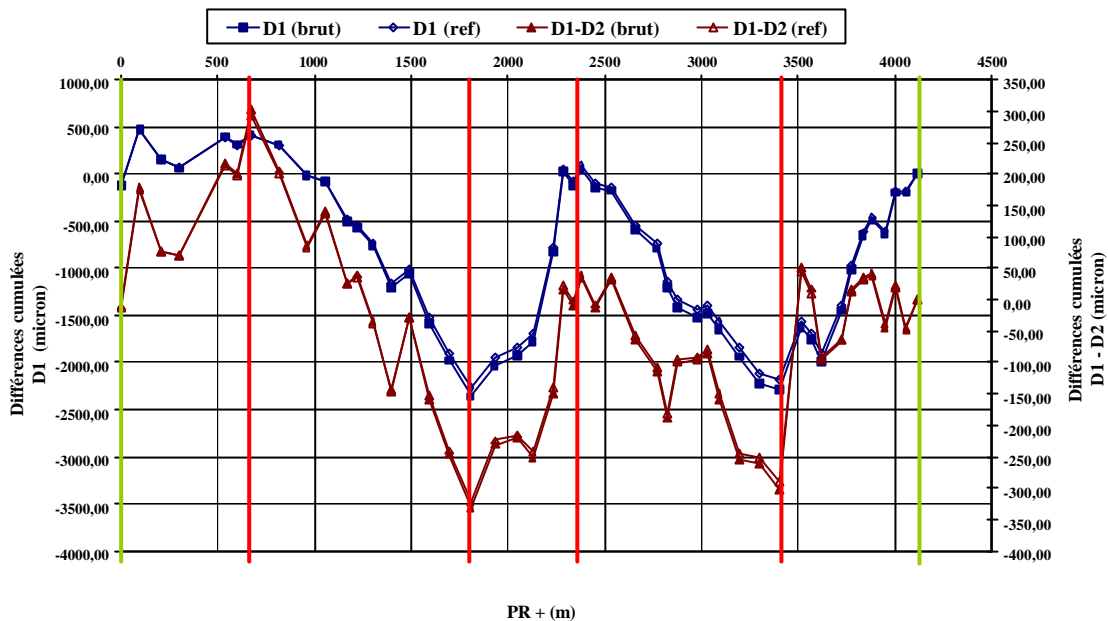


Figure 5 : Différences cumulées par rapport à la moyenne

Le profil de la figure 4 montre les valeurs des seules déflexions maximales D1 ainsi que de la différence D1-D2 caractéristique du comportement de la couche de surface (et comparable à l'indicateur classique rayon de courbure), la dégradation des couches de surface reste assez bien corrélée aux déflexions D1.

Un découpage en zones homogènes de dégradations peut être fait en utilisant la méthode des différences cumulées, issues des cartes de contrôle des analyses de qualité.

Le principe est d'itérer un calcul simple : on soustrait à la première mesure la moyenne de toutes les mesures de l'itinéraire, on obtient un résidu 1, à la seconde mesure on soustrait cette même moyenne et on ajoute le résidu 1, on obtient le résidu 2. L'opération se poursuit jusqu'à la dernière mesure pour laquelle le résidu est forcément nul. La particularité des graphiques qui résultent de cette méthode est de montrer de manière explicite les homogénéités présentes ou non. Une sous section correspond à une tendance globalement linéaire d'évolution des différences cumulées des déflexions, ce qui facilite le découpage en sous section : pour le CD 36 les résultats obtenus permettent d'identifier assez clairement 5 zones (de 0 à 700 m classe D5, de 700 à 1800 m classe D4, de 1800 à 2400 m classe D6, de 2400 à 3400 m classe D4 et 3400 à 4000 m classe D6) qui correspondent à différentes classes de déflexions et de rayons de courbure.

IV – Résultats du radar chaussée

L'analyse radar a permis de définir les épaisseurs de la couche de surface en enrobé et la profondeur de la couche de grave ciment ou GNT selon le cas. Des corrélations ont été menées avec 4 carottes et 6 sondages à la pelle et ont montré les bons résultats obtenus au radar. Sur le profil radar on distingue bien le tronçon qui a fait l'objet d'un rechargement en

1998, ainsi que les secteurs rectifiés, par ailleurs les épaisseurs de couche de base sont bien détectées.

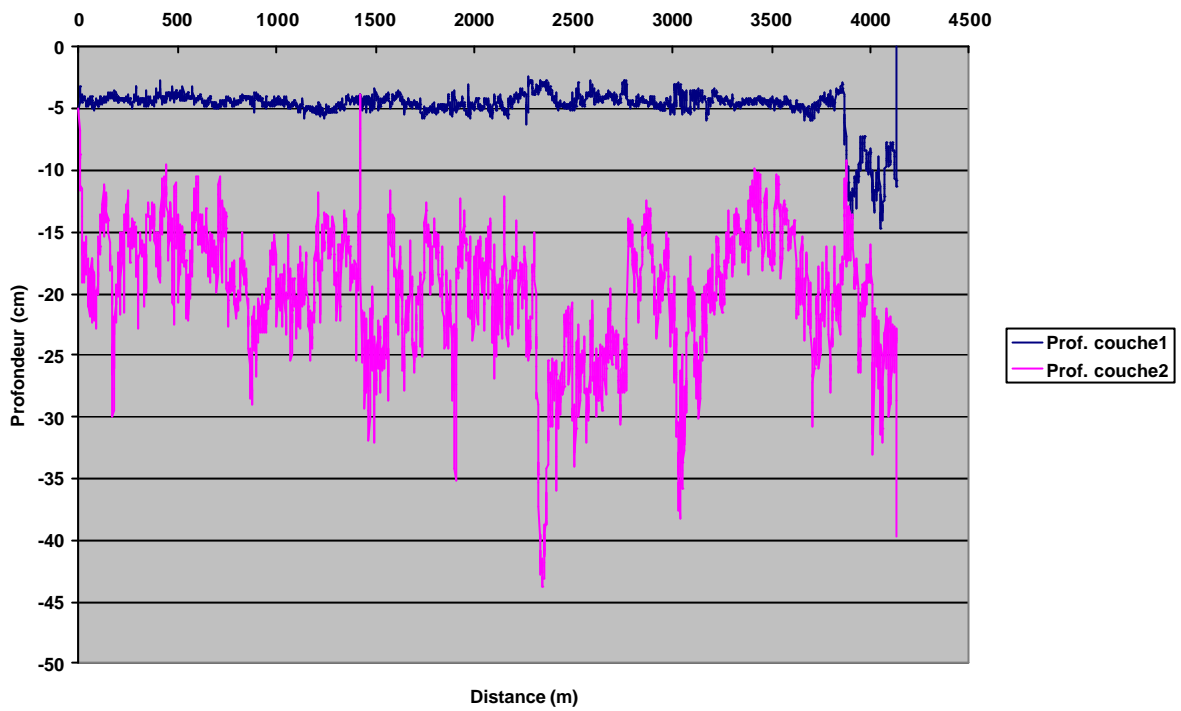


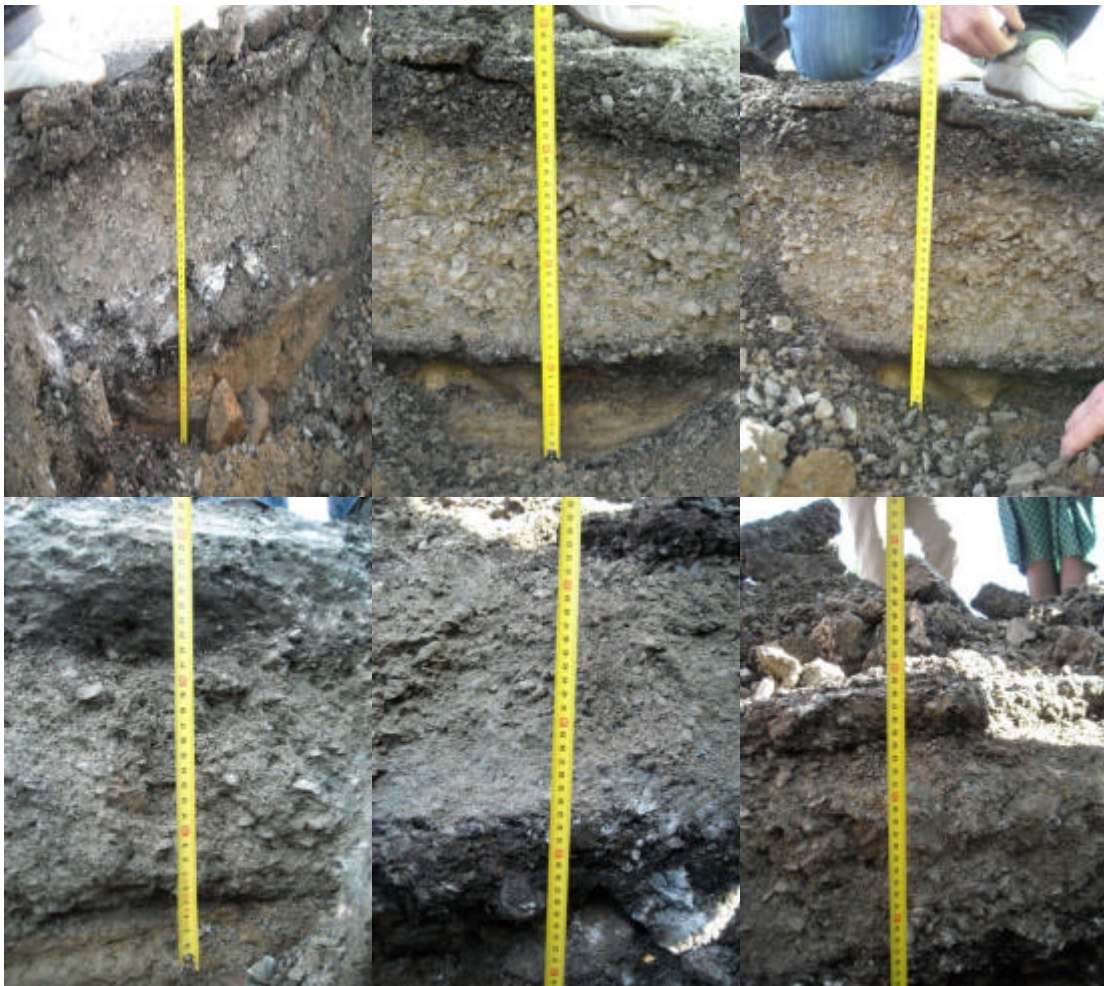
Figure 6 : Profondeurs des 2 couches de chaussées



Figure 7 : échantillon prélevé par carottage pour le calage des épaisseurs (zone située entre les deux bandes de roulement) PK 1599.

V – Résultats des sondages

Afin de compléter et valider les analyses non destructives au radar, 6 sondages à la pelle en rive de chaussée ont pu être réalisés. Ces résultats ont permis de valider formellement les structures, les épaisseurs déduites de l'analyse radar et l'état des matériaux. En particulier la grave ciment apparaît plus fissurée et détruite puisque plus aucune cohésion n'est perceptible visible à l'exception de quelques rares agglomérats. Ainsi les modules rétro calculés (cf. VI), de l'ordre de grandeur de ceux d'une grave non traitée ont toute leur réalité et signification.



Les six sondages sont situés respectivement (PK 0 référence limite Creuse) aux PK 2969, 2835, 2250, 1599, 1324, et PK 60. Les photos correspondent à ces PK en partant du haut à gauche jusqu'en bas à droite.

Une teneur en eau de 10,3% a été réalisée sur le sol humide et dégradé localisé sous la couche d'empierrement

VI – Analyse structurale de la chaussée

Dans cette partie, nous allons à partir des résultats radars et des sondages définir les épaisseurs à introduire dans le logiciel de calcul des chaussées ALIZE du LCPC. La phase de retrocalcul, permet de caler le bassin de déflexion calculé sur le bassin de déflexions mesuré au FWD. L'ajustement se fait en ajustant les modules des différentes couches.

Une première phase de calculs a permis d'approcher le module de la couche de surface en BB, le module de la couche de base en GC (ou GNT) et le module du sol. Cette première phase a permis de constater que le module de la GC est de l'ordre de grandeur des modules obtenus par une GNT de bonne qualité. Cette analyse un peu surprenante nous a amenés à faire à ajouter au programme prévu quelques sondages à la pelle. Il s'avère que les sondages à la pelle ont montré que la GC était détruite sous la bande de roulement (plus aucune liaison de ciment avec un matériau devenu pulvérulent assimilable à une GNT). Par ailleurs, il s'avère qu'avec les couches ainsi définies, les bassins de déflexions correspondent bien à proximité de l'axe de charge ainsi qu'à l'extrémité du bassin à 1,50m - 1,80m de l'axe de chargement. Cette impossibilité de retrouver par calcul les courbes du bassin dans la zone 0,90 m – 1,20 m de l'axe de chargement permet de supposer que la modélisation n'est pas tout à fait satisfaisante dans les couches intermédiaires. Nous avons donc pensé que la partie supérieure de la plateforme que constitue l'ancienne chaussée (environ 15 cm de GNT et un revêtement de 3 cm de produit bitumineux) n'est pas suffisamment bien décrite. Cette ancienne chaussée n'est pas visible au radar peut être parce que le sol naturel se confond avec l'ancienne GNT.

Une deuxième phase de calcul a conduit à introduire une couche de 15 cm entre la GC et le sol pour voir si le comportement de cette ancienne chaussée n'est pas différent du sol. Les calculs en introduisant l'ancienne chaussée ont permis de bien ajuster les bassins de déflexions, seulement l'ajustement a conduit à des modules de l'ancienne chaussée très faibles (15-20 MPa), ce qui peut apparaître aussi surprenant et qui a motivé une deuxième fois la réalisation de sondage à la pelle. En effet, les sondages permettent à peine de distinguer l'empierrement de l'ancienne chaussée du sol, on retrouve quelques blocs de granit altéré, souvent mélangés à de l'arène granitique parfois à forte teneur en fine et à forte teneur en eau. Cette observation nous à conduit à imaginer que l'empierrement contrairement à une GNT de nos jours est en parti transformé en arène granitique gélive, est que les cycles de gel-dégel qu'a subit au cours de l'histoire cette couche ont fortement altéré ses propriétés mécaniques. Notre objectif n'est pas de justifier les raisons des mauvaises propriétés de cette couche mais plutôt de valider les valeurs obtenues par le calcul.

Notre attachement à faire la meilleure description de l'état structurel actuel de la chaussée a comme objectif de permettre l'étude d'une solution de renforcement optimisée la plus réaliste possible et qui par un suivi périodique ultérieur peut nous permettre de voir si les conditions retenues de calcul de durée de vie correspondent aux calculs de prévision.

Nous allons maintenant présenter un retrocalcul d'une section prise dans chaque zone.

1. Analyse au PK 539 m (Classe D5)

| PK | Z1 (cm) | Z2 (cm) |
|-------|---------|---------|
| 539,4 | 4,5 | 22,3 |

| | | | | | | | | | |
|--------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| X | 0 | 200 | 300 | 450 | 600 | 900 | 1200 | 1500 | 1800 |
| D (μm) | 1078 | 763 | 590 | 414 | 296 | 162 | 98 | 67 | 49 |

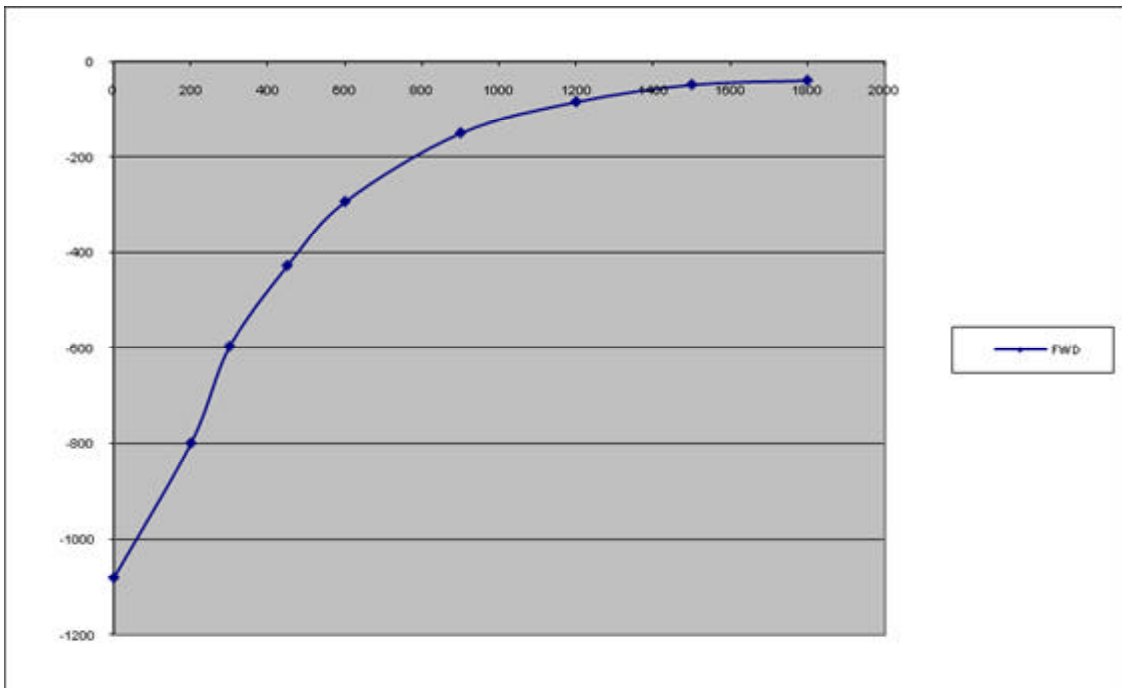


Figure 8 : Bassin de déflexion obtenu au FWD

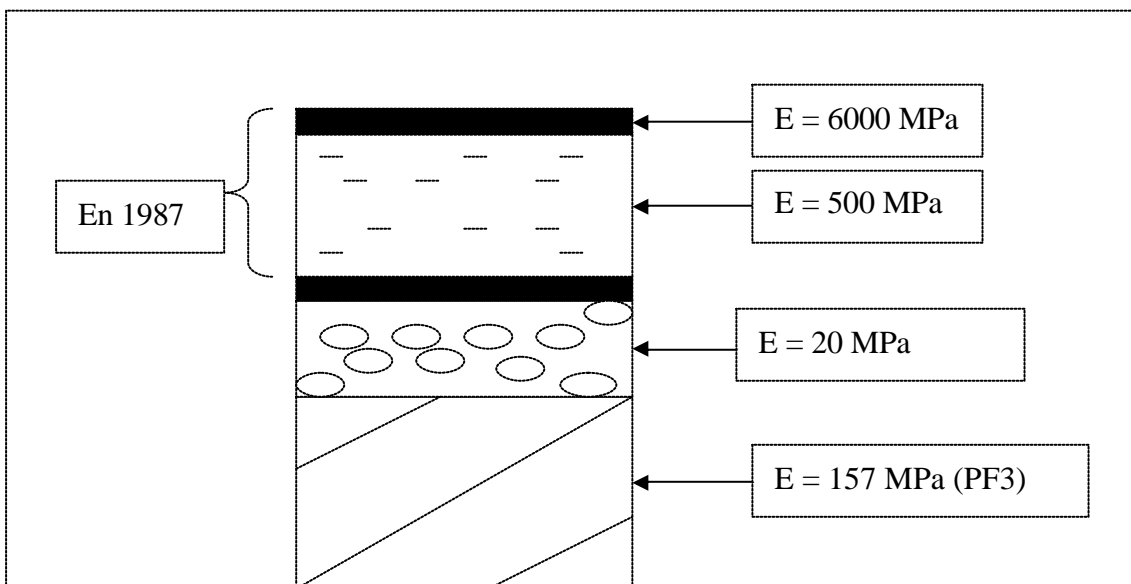


Figure 9 : Etat de la structure au PK 539

Cette coupe révèle la désagrégation de la grave ciment et l'ancienne chaussée qui a de mauvaises caractéristiques sur une plateforme de bonne portance PF3.

2. Analyse au PK 1490 m (Classe D4)

| PK | Z1 (cm) | Z2 (cm) |
|--------|---------|---------|
| 1490.5 | 5 | 37.6 |

| X | 0 | 200 | 300 | 450 | 600 | 900 | 1200 | 1500 | 1800 |
|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| D (μm) | 567.85 | 384.25 | 250.8 | 152.45 | 111.55 | 62.25 | 37.05 | 25.85 | 22.35 |

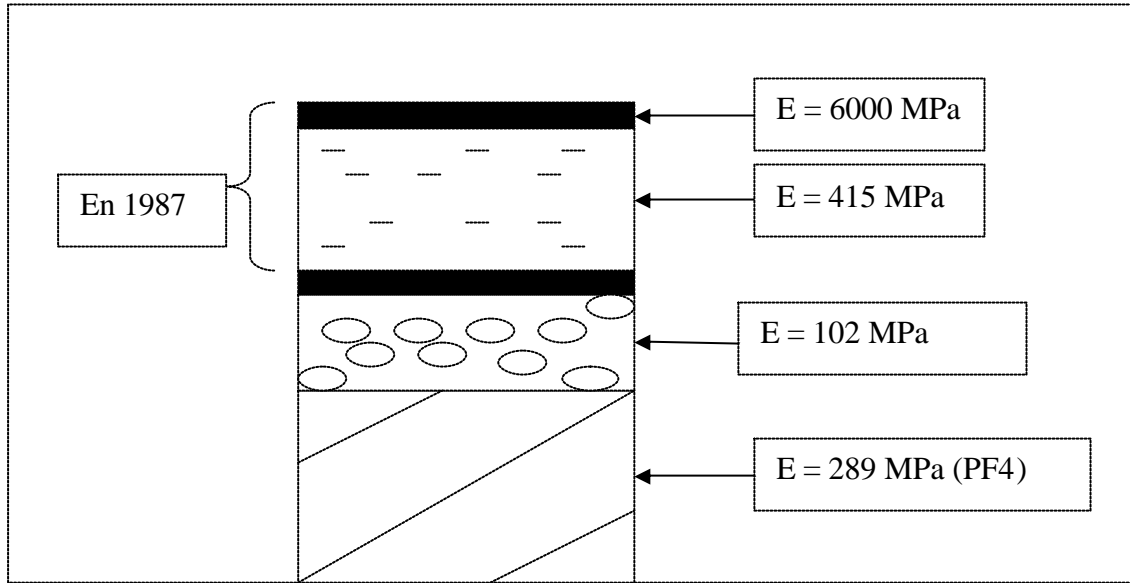


Figure 10 : Etat de la structure au PK 1490

Sur cette coupe dans la zone 2 de classe D4, on peut confirmer la désagrégation de la grave ciment, par contre l'assise de l'ancienne chaussée a encore des propriétés de portances de bien meilleure qualité, de même que le sol à de très bonne propriétés (sol rocheux probablement).

3. Analyse au PK 2286 m (Classe D6)

| PK | Z1 (cm) | Z2 (cm) |
|-------|---------|---------|
| 2286, | 4,5 | 22.3 |

| X | 0 | 200 | 300 | 450 | 600 | 900 | 1200 | 1500 | 1800 |
|--------|---------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| D (μm) | 1594.65 | 1295.3 | 996.9 | 722.35 | 513.55 | 301.65 | 166.55 | 103.9 | 67.55 |

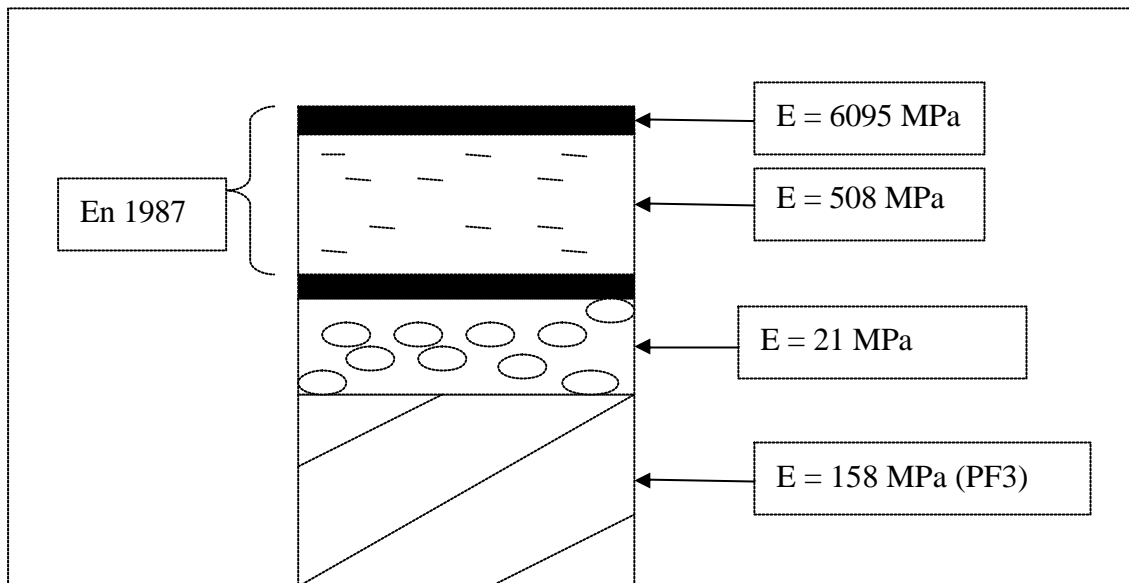


Figure 11 : Etat de la structure au PK 2286

4. Analyse au PK 2826 m (Classe D6)

| PK | Z1 (cm) | Z2 (cm) |
|------|---------|---------|
| 2826 | 5 | 22.6 |

| X | 0 | 200 | 300 | 450 | 600 | 900 | 1200 | 1500 | 1800 |
|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-----|------|------|-------|
| D (μm) | 333.6 | 273.4 | 225.15 | 185.55 | 153.95 | 104 | 69.4 | 46.9 | 32.85 |

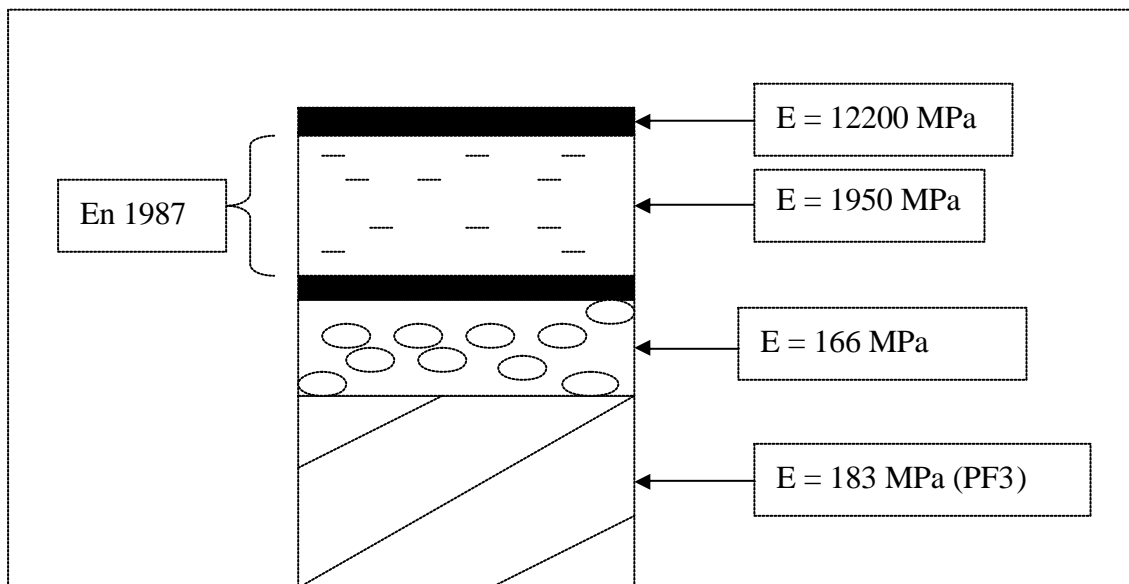


Figure 12 : Etat de la structure au PK 2826

Cette section a une bonne assise que ce soit au niveau de la plateforme ou de l'ancien corps de chaussée de 15 cm. Ici la grave ciment est fissurée mais apparemment pas complètement désagrégé.

5. Analyse au PK 3776 m (Classe D)

| PK | Z1 (cm) | Z2 (cm) |
|------|---------|---------|
| 3776 | 4.2 | 18.2 |

| X | 0 | 200 | 300 | 450 | 600 | 900 | 1200 | 1500 | 1800 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| D (μm) | 1183.9 | 970.35 | 782.15 | 666.05 | 568.85 | 430.55 | 324.55 | 222.65 | 165.75 |

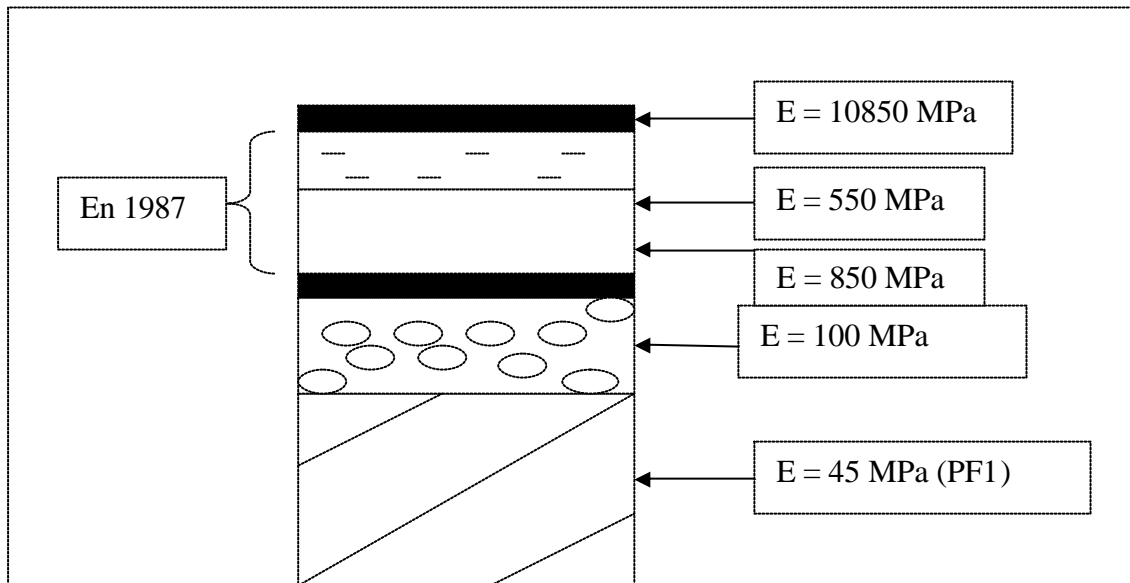


Figure 13 : Etat de la structure au PK 3776

Cette section a une arase de mauvaise qualité (PF1) qui s'explique avec la visite sur site car il s'agit d'un tronçon en zone marécageuse où l'eau stagne en permanence dans les fossés. A l'inverse en contraste l'ancienne chaussée dans ce cas apporte une amélioration de portance contrairement à d'autres tronçons.

VII – Proposition de renforcements de chaussées en grave-bitume.

Lorsque la couche de surface n'a pas de désordres structurels forts, on considère que le renforcement va contribuer à l'allongement de durée de vie de l'ancienne couche de surface, dans ce cas on calcule et on optimise par rapport à la durée résiduelle souhaitée. Dans le cas contraire en présence de dégradations structurelles de la couche de surface, on ne considère que la durée de vie de la nouvelle couche de renforcement. Les hypothèses retenues pour le calcul considèrent une durée de vie de 10 ans avec un trafic poids lourd de 100 PLMJA sans progression de trafic annuel.

1. PK 539

Dans les zones où il y a peu de dégradations structurelles en surface, on pourra donc opter pour un rechargement de 15 cm de GB2. La classe de déflexion D5 est moyenne, mais l'épaisseur de rechargement trouvée est due à la mauvaise qualité résiduelle des 15 cm supérieurs de la chaussée.

2. PK 1490

Dans les zones où il y a peu de dégradations structurelles en surface, on pourra donc opter pour un rechargement de 9 cm de GB2 car ici la plateforme est encore de bonne qualité.

3. PK 2286

Dans les zones, où la dégradation en surface est faible il faudra envisager 2 couches de rechargement correspondant à l'équivalent de 16 cm de GB2.

4. PK 2826

Dans cette zone, un rechargement structurel ne semble pas être indispensable, le cas échéant une couche de surface peut être réalisée pour palier aux dégradations en surface et pour assurer une étanchéité.

5. PK 3776

Dans cette zone, un rechargement structurel significatif est à envisager au regard essentiellement de la mauvaise qualité des arases, qui s'est certainement dégradée à cause de la présence d'eau en permanence dans la structure. L'épaisseur de couche bitumineuse de type GB2 à envisager serait de 17 cm.

VII - Conclusions :

Les épaisseurs trouvées ont été établies, sur la base d'un diagnostic assez fin, cependant certaines hypothèses ont dû être faites (collage des couches) et peuvent avoir un effet assez significatif. Par ailleurs, les retrocalculs ont été menés seulement sur un point d'analyse par tronçons identifiés.

Au vu des objectifs stratégiques et financiers du Conseil Général, nous conseillons d'intervenir au printemps 2009 par un renforcement en zone 3 et 5 en priorité, voir en zone 1 si possible. Enfin, le reste en 2010 avec logiquement des solutions moins onéreuses puisque l'urgence étant moindre la capacité résiduelle est supérieure.

Les zones 3 et 5 soit du PK 1800 à 2400 et de PK 3400 à 4000 avec 16-17 cm de GB (soit 350kg/m² de GB2)

La zone 1 du PK 0 (limite Creuse) au PK 700 avec 15 cm de GB2.

Par ailleurs, la zone 2 pourra être renforcée avec 9cm de GB2, alors que la zone 4 pourra être renforcée par une couche de surface de 6 cm.

La stratégie, peut être au contraire de renforcer les zones à bon comportement résiduel cette année, et dans une opération de plus grande envergure avec appel d'offre de renforcer les zones ou la structure est vraiment déficiente en 2010 et ou une recomposition principale de la chaussée est nécessaire pour une durée envisagée de 10 ans.

Il est aussi possible d'envisager du recyclage étant donné l'état de dégradation global de la structure et de sa plateforme.