



METHODE D'INVESTIGATION DES
CHAUSSEES RIGIDES
AVEC DYNAFLECT



471650

Société de
Gestion
Routière SGR enr.

273 6e Avenue
Québec, Québec Q1J 3J5
Tél. (418) 529-5574



METHODE D'INVESTIGATION DES CHAUSSEES RIGIDES
AVEC DYNAFLECT

Pierre Desrochers, B. Tech.
Société de gestion routière SGR enr.

et

Aziz Amiri, Dr. ing.
Service des sols et chaussées, MTQ



Cette étude a été réalisée en collaboration avec le service des
Sols et chaussée et la participation financière du Ministère des
transports.

Ministère des Transports
Centre de documentation
930, Chemin Ste-Foy
6e étage
Québec (Québec)
G1S 4X9

Québec, février 1988

CANQ
TR
GE
SM
151

REMERCIEMENTS

Je remercie particulièrement M. Paul Brochu, chef du service des Sols et chaussées ainsi que M. Pierre De Montigny, chef de la division Structure de chaussée qui ont mis à ma disposition l'équipement et les ressources humaines nécessaires à l'élaboration de cette étude.

Je remercie également M. Gérard Tessier, ingénieur au service de la planification et du développement de la recherche pour sa disponibilité tout au long de cette étude.

Il m'apparaît essentiel de souligner la collaboration de M. Aziz Amiri, ingénieur au service des sols et chaussées, qui par son expertise a soutenu et souvent orienté le cheminement de cette recherche. J'aimerais aussi souligner la participation de d'autres ingénieurs de ce service soit M. Jean-Pierre Leroux, M. Gaston Larose et M. Pierre De Montigny de même que plusieurs autres techniciens et étudiants.

Société de Gestion Routière SGR enr.

AVANT PROPOS

L'utilisation de l'appareil Dynaflect pour l'auscultation des chaussées rigides faisait état de certaines réserves de la part des ingénieurs routiers en ce qui a trait à la pertinence des résultats de ces relevés sur ce type de chaussée. La faible charge dynamique imposée à la chaussée par cet appareil était certes l'un des points majeurs de cette réticence.

Cependant des recherches bibliographiques de même que nos travaux ont permis de constater que l'évaluation des chaussées rigides avec l'appareil Dynaflect était tout aussi pertinente que celle effectuée sur les chaussées souples. A notre connaissance, cette étude est la première à être réalisée sur des dalles de béton, courtes goujonnées, et constitue donc de ce fait, une étape dans l'évaluation structurale des chaussées rigides.

Le présent rapport a pour but de proposer une méthode d'investigation des chaussées rigides constituées de dalles courtes goujonnées. Il démontre les paramètres qui permettent de déceler les secteurs propices à la fissuration et d'étudier le transfert de charge aux joints et fissures. Il présente également une méthode d'auscultation de ces chaussées.

TABLE DES MATIERES

	Page
REMERCIEMENT	
AVANT-PROPOS	
I-INTRODUCTION	1
II-SITES D'ESSAIS	1
III-TRAVAUX SUR LE TERRAIN	3
a) Autoroute 40	
b) Boulevard Henri IV	
IV-EVALUATION STRUCTURALE DES CHAUSSEES RIGIDES	4
4.1- Paramètres de déflexion	4
a) comparaison entre les chaussées rigides et souples	
b) définition et rôle des paramètres considérés	
4.2- Critères d'évaluation sectorielle	8
a) Exemple d'étude de comportement	
1- Autoroute 40	
2- Boulevard Henri IV	
b) Conclusion	
4.3- Critères d'évaluation ponctuelle du transfert de charge	10
a) Exemples d'étude du transfert de charge sur l'autoroute 40	
1- Transfert de charge aux joints goujonnés	
2- Transfert de charge aux fissures transversales	
3- Transfert de charge aux fissures longitudinales	
b) Conclusion	
V-METHODES D'AUSCULTATION PROPOSEES	14
a) Evaluation sectorielle	
b) Evaluation du transfert de charge	
VI-CONCLUSION	15
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE	
Annexe 1- Définition et rôle des paramètres utilisés sur les chaussées souples et rigides.	
Annexe 2- Particularités du comportement des chaussées rigides.	

LISTE DES FIGURES

	page
Figure 1: Plan de localisation Autoroute 40	17
Figure 2: Plan de localisation Boulevard Henri IV	18
Figure 3: Allure d'un bassin de déflexion sur une chaussée rigide et flexible	19
Figure 4: Stratigraphie et niveau de la nappe phréatique, Autoroute 40	20
Figure 5: Evaluation du comportement des chaussées rigides selon l'indice de comportement, Autoroute 40	21
Figure 6: Evaluation du comportement des chaussées rigides selon DMD, Autoroute 40	22
Figure 7: Evaluation du comportement des chaussées rigides selon l'Aire du bassin, Autoroute 40	23
Figure 8: Evaluation du comportement des chaussées rigides selon D5, Autoroute 40	24
Figure 9: Evaluation du comportement des chaussées rigides selon l'indice de comportement, boulevard Henri IV	25

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1: Critères d'évaluation sectorielle des chaussées rigides	8
Tableau 2: Evaluation sectorielle du comportement des chaussées rigides, Boulevard Henri IV	26
Tableau 3: Critères d'évaluation ponctuelle du transfert de charge	11
Tableau 4: Evaluation du transfert de charge aux joints transversaux goujonnés	28
Tableau 5: Evaluation du transfert de charge aux fissures transversales	30
Tableau 6: Evaluation du transfert de charge aux fissures longitudinales	31

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 à 6: Evaluation du transfert de charge aux fissures transversales (ouverture des fissures et positions d'essais)	32
Photo 7 à 9: Evaluation du transfert de charge aux fissures longitudinales (ouverture des fissures et position d'essais)	34

I- INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, le service des Sols et chaussées du Ministère des transports utilise le Dynaflect pour évaluer les tronçons de chaussées sous études. Les données fournies par cet appareil sont traitées selon une méthode semi-empirique, laquelle donne de bons résultats au niveau des chaussées souples [2] mais discutable lorsqu'il s'agit de chaussées rigides. Quoiqu'à un stade expérimental, la présente étude a permis de développer une méthode d'investigation des chaussées rigides en abordant les points suivants:

- Evaluer la pertinence des relevés Dynaflect pour prévoir le comportement dans le temps d'une chaussée rigide donnée;
- Identifier les paramètres de déflexion qui permettent de conduire de telles analyses;
- Evaluer structurellement les chaussées rigides en identifiant les faiblesses structurales et les secteurs qui paraissent plus susceptibles à la fissuration;
- Développer une méthode d'auscultation.

II- SITE D'ESSAIS

Bien qu'il existe différents types de chaussées rigides au Québec, les dalles courtes goudonnées ont largement dominé sur les projets réalisés au cours des dernières années. Notre étude portera exclusivement sur ce type de chaussée et particulièrement sur trois sites de l'autoroute 40 situés entre

Montréal et Québec (fig.1). Ces sites ont présenté un comportement insatisfaisant depuis leur mise en service en août 1984 et furent l'objet en 1985-86 d'une étude de réfection par le service des sols et chaussées [1]. Cette étude démontra entre autre que la dégradation consistait généralement en une fissuration longitudinale au centre de la voie de roulement et que celle-ci se produisait principalement (2 à 4 fois plus) après le dégel alors que le niveau de la nappe phréatique atteignait son maximum (parfois 40 cm de la surface du pavage). L'étude conclua également que les déficiences de la chaussée était attribuable à la faible épaisseur de la superstructure (Dalle = 19 cm +, F.S. = 9 à 56 cm), des conditions de drainage inadéquates et d'une infrastructure généralement faible. Les travaux de réfection réalisés sur une grande partie de ces sites durant l'été 1987 consistèrent en un renforcement du type sandwich (granulats recouvert de béton bitumineux).

Nous avons aussi étudié, comme site témoin, un autre tronçon routier de conception similaire situé sur le boulevard Henri IV, entre Québec et Valcartier (fig.2). Ce tronçon qui a été mis en service au mois de septembre 87 ne présentait aucune dégradation lorsque les relevés furent effectués.

III- TRAVAUX SUR LE TERRAIN

Les données qui ont servi de base à la présente étude sont les suivantes:

a) Autoroute 40

- 1- RELEVÉS VISUELS: Relevé et tracé de la fissuration (dalle par dalle) observée en 1985 et de celle qui est apparue par la suite en 1986 et 1987 afin de déterminer l'évolution de ces dégradations;
- 2- RELEVÉS DYNAFLECT: - Relevé de déflexion sur l'ensemble des secteurs A, B et C en octobre 1985;
- Essais spéciaux visant à évaluer le transfert de charge au printemps et à l'automne 87 sur une partie des secteurs A, B et C ;
- 3- SONDAGES MECANIQUES: Effectués en mai 1986 dans les points stratégiques de la chaussée, dans le but de déterminer les propriétés géotechniques des sols de fondation et du terrain en place;
- 4- RELEVÉS PIEZOMETRIQUES: Lecture périodique entre novembre 1985 et juillet 1986 du niveau de la nappe phréatique au moyen d'un réseau de 10 piézomètres installés dans les points stratégiques des 3 sites étudiés. Ces lectures ont été reprises lors des relevés Dynaflect effectués en mai et en septembre 1987.

b) Boulevard Henri IV

- 1- RELEVÉ VISUEL : Effectué à l'été 87 avant la mise en service;
- 2- RELEVÉ DYNAFLECT: Effectué à l'été 87 avant la mise en service.

IV- EVALUATION STRUCTURALE DES CHAUSSEES RIGIDES

La fissuration et la rupture des dalles est le stade ultime de dégradation après lequel les méthodes d'intervention deviennent limitées, complexes et coûteuses. Il est donc important de déceler la fatigue et/ou les faiblesses structurales avant que ne survienne cette rupture.

L'étude des chaussées rigides selon Dynaflect se divise en deux étapes distinctes. La première consiste en une évaluation sectorielle permettant de regrouper les secteurs homogènes (similaire à l'étude des chaussées souples). La seconde a pour but d'évaluer ponctuellement certaine faiblesse au niveau des joints et des fissures. Avant de proposer les critères d'évaluation des chaussées rigides, nous identifierons les différents paramètres susceptibles de représenter leur comportement.

4.1- Paramètres de déflexion

a) Comparaison entre les chaussées rigides et souples

Il paraît opportun de signaler au départ que l'ensemble des paramètres utilisés pour les chaussées souples soit, DMD, SCI, CP, A, SI et DS sont définis de la même façon pour les chaussées rigides et que la plupart jouent le même rôle au niveau de celles-ci (alinéa 5.1 b, annexe 1). Cependant, la rigidité des dalles modifie l'allure du bassin de déflexion en amortissant la

charge dynamique du Dynaflect. Ainsi, tel qu'il est illustré à la figure 3, on constate que cette rigidité :

- réduit considérablement la courbure dans les couches supérieures de la chaussée, ce qui s'explique par une faible valeur de SCI pour les chaussées rigides comparée aux chaussées souples ($SCI_{R.C.} < SCI_{S.S.}$);
- améliore la répartition des charges (uniformise la distribution des charges et réduit les contraintes) dans la chaussée se traduisant par une augmentation de l'indice d'étalement et une réduction de l'aire du bassin ($SI_{R.C.} > SI_{S.S.}$ et $A_{R.C.} < A_{S.S.}$).
- n'atténue pas la déflexion au niveau du géophone 5 et permet donc la détection de la faiblesse de l'infrastructure par ce dernier.

Soulignons de plus que la formule CP (valable pour les chaussées souples) ne peut être utilisée ici pour les chaussées rigides. Cette invalidité de CP s'explique principalement par une plus grande courbure (SCI) admise au niveau d'un pavage souple (ce qui est inacceptable pour un pavage rigide) et probablement par un coefficient d'agressivité du trafic lourd non représentatif de la fatigue des chaussées rigides. Ainsi, tel que le démontre la figure 3, une portance élevée de 18 tonnes est affichée par cette dalle bien que celle-ci soit affectée par une fissuration fine.

b) Définition et rôle des paramètres considérés

Parmi les paramètres précités, nous avons retenu ceux qui représentent plus particulièrement certains aspects du comportement des chaussées rigides. Ces

paramètres, basés sur la déflexion enregistrée au niveau des 5 géophones de l'appareil Dynaflect (d_1 , exprimé en 10^{-3} mm), sont les suivants:

1- DMD (Déflexion Maximale Dynaflect):

$$\text{DMD} = d_1, \text{ exprimé en } 10^{-3} \text{ mm}$$

- Rôle : bon indicateur de la capacité relative de la chaussée;
- Variation : entre 8 (très bonne) et 100 (très faible);
- Particularité: quelque peu influencé par la faiblesse excessive de l'infrastructure.

2- SCI (Indice de courbure des couches supérieures):

$$\text{SCI} = d_1 - d_2, \text{ exprimé en } 10^{-3} \text{ mm} \quad (1)$$

- Rôle : évalue le transfert de charge aux joints et fissures transversales;
- Variation : entre 0 (excellent) et 20 (mauvais);
- Particularité: très influencé par la cambrure, la condition d'appui et la fissuration de la dalle; donc très variable selon la position d'essai.

3- A (Aire du bassin de déflexion: section transversale comprise entre les géophones 1 et 5 dont la limite supérieure est d_5):

$$A = [152.5 (d_1 + 2d_2 + 2d_3 + 2d_4 + d_5) - 1220 \times d_5] / 1000 \quad (2)$$

dans laquelle A est exprimé en mm^2

- Rôle : bon indicateur de la capacité des couches supérieures;
- Variation : entre 2 (très bonne) et 20 (très faible);
- Particularité: semble peu influencé par la faiblesse de l'infrastructure.

4- D5 (Déflexion enregistré au 5e géophone):

exprimé en 10^{-3} mm

- Rôle : bon indicateur de la capacité des couches inférieures et/ou de l'infrastructure;
- Variation : entre 5 (très bonne) et 50 (très faible);
- Particularité: semble peu influencé par la résistance des couches supérieures.

Les difficultés occasionnées par l'étude simultanée de ces paramètres nous ont incité à constituer un indice qui permet d'évaluer globalement le comportement structural des chaussées rigides. Cet indice de comportement (équation 3) est en fait le résultat de la combinaison optimale pondérée de ces quatre paramètres. Les facteurs de pondération utilisés correspondent à la valeur maximale de la fourchette de variation de chaque paramètre.

5- IC (Indice de Comportement):

$$IC = \left(\frac{DMD}{100} + \frac{SCI}{20} + \frac{D5}{50} + \frac{A}{20} \right) \times 10, \text{ sans unité} \quad (3)$$

dans laquelle DMD, SCI, A et D5 sont exprimés selon leur unité conventionnelle;

- Rôle : Évalue globalement le comportement de la chaussée et identifie les secteurs propices à la fissuration;
- Variation : 5 (très bon) et 30 (très faible);
- Particularité: reflète la variation pondérée de chaque paramètre.

4.2 Critères d'évaluation sectorielle

D'après les relevés de déflexion effectués au cours de l'automne 1985 sur les trois (3) sites de l'autoroute 40, nous avons établi des critères d'évaluation (tab. 1) en considérant le degré de fissuration des dalles et la stratigraphie de la chaussée (fig. 4 à 8). Soulignons que ces critères demeurent constants pour toute route subissant un trafic lourd équivalent à 500 véhicule par jour et dont les essais sont effectués dans une même saison (même coefficient saisonnier).

Tab. 1: Critères d'évaluation sectorielle des chaussées rigides

CRITERES	CONDITION DE LA CHAUSSEE
IC > 9	Dalle fissurée ou propice à la fissuration
DMD > 21 x 10 ⁻³ mm	Chaussée faible
A > 9 mm ²	Couche supérieure faible
D5 > 13 x 10 ⁻³ mm	Infrastructure faible

a) Exemple d'étude de comportement

1- Autoroute 40

L'évaluation réalisée sur l'autoroute 40 montre des exemples dans lesquels les paramètres utilisés identifient des conditions défavorables à un bon comportement de la chaussée. Ainsi un secteur dont les dalles étaient saines en 1985 et dont l'indice de comportement caractéristique ($\bar{X} + 1 \text{ SIG}$) était de 12, présentait au printemps 1987 une fissuration fine (fig. 5, site C, dalle 23 à 26). D'autres secteurs très dégradés en 1985 présentaient le signe d'une faiblesse excessive de l'infrastructure selon D5. Notons qu'à ce niveau une argile assez sensible et une nappe phréatique élevée ont été généralement rencontrées (fig. 7, site A - dalle 112 à 145, site B - dalle 59 à 121, site C - dalle 142 à 188). Soulignons finalement qu'un autre secteur partiellement dégradé (site B, dalle 1 à 40) présentait une faiblesse des couches supérieures ($A = 10.6$) malgré une bonne infrastructure ($D5 = 8.3$).

2- Boulevard Henri IV

L'étude des paramètres sur le boulevard Henri IV montre effectivement que ce nouveau tronçon n'avait subi aucune dégradation avant sa mise en service (fig. 9, tab. 2). En éliminant les secteurs très variables (coef. de variation $CV = \text{SIG}/\text{MOY} > 40$), on constate selon IC que deux (2) secteurs seraient cependant susceptibles de se fissurer (dir. Nord - P.K.

1.65 à 2.02 km, dir. Sud - P.K. 4.38 à 4.68). Notons que selon A, les couches supérieures sont plus faible à ces endroits.

b) Conclusion

D'après ces résultats, nous pouvons conclure que l'évaluation sectorielle réalisée avec Dynaflect, est représentative du comportement structural des chaussées rigides constituées de dalles courtes goudonnées. De plus, l'utilisation des paramètres IC, A, DS et DMD apparaît comme la plus indiquée pour une telle évaluation et s'avère une approche judicieuse dans le cadre d'un entretien préventif de ces chaussées. Lorsque la fissuration est présente, ces paramètres fournissent des informations permettant d'élaborer certaines méthodes de remise en état ou de reconstruction.

4.3 - Critères d'évaluation ponctuelle du transfert de charge

Selon la littérature [4], l'utilisation du paramètre SCI mesuré en amont d'un joint de dalle ou d'une fissure transversale permet d'évaluer le transfert de charge en ces points spécifiques (exemple position géophones 1 et 2 photo 1). Les critères présentés ci-dessous (tab. 3) vérifient la qualité du transfert de charge et identifient la présence de faiblesse au niveau de la surface d'appui.

Tab. 3: CRITERES D'EVALUATION PONCTUELLE DU TRANSFERT DE CHARGE

QUALITE DU TRANSFERT DE CHARGE	VALEUR DU SCI MEASURE EN AMONT DU JOINT OU D'UNE FISSURE (10^{-3} mm)
EXCELLENT	0 ▲ 1.2
BON	1.3 ▲ 1.9
BON MAIS FAIBLESSE SOUS LE JOINT	2.0 ▲ 5.8
MAUVAIS	> 5.8

a) Exemples d'étude du transfert de charge sur l'autoroute 40

Les résultats suivants présentent l'étude du transfert de charge réalisée aux joints et aux fissures dans des secteurs types de l'autoroute 40 où les dalles affichent divers niveaux de dégradation. Ces essais ont généralement été effectués au printemps alors que les dalles travaillaient en conditions défavorables (joints et fissures ouvertes, nappe phréatique élevée, etc.).

1- Transfert de charge aux joints goujonnés

Bien que la condition du transfert de charge est particulière à chaque point d'essai, nous avons regroupé les résultats par secteur homogène en considérant le SCI caractéristique ($\bar{X} + 1 \text{ SIG}$). On constate de manière

générale, une bonne qualité du transfert de charge sur ces secteurs (tab. 4. Soulignons que les secteurs présentant une faiblesse sous les joints ne démontraient aucun signe de dégradation en surface. Mentionnons finalement que la présence de fissures longitudinales au centre de la voie peut fausser l'analyse de certains secteurs jugés mauvais (SCI est influencé par la présence environnante de fissures), et ce, bien que les essais effectués au centre de la dalle ne corroborent pas avec cette opinion.

2- Transfert de charge aux fissures transversales

Selon les critères déterminés précédemment pour la valeur de SCI, on constate que le transfert de charge est généralement bon aux niveaux des fissures transversales étudiées (tab. 5). Il semble également que SCI varie proportionnellement selon l'ouverture et l'état de la fissure (photo 1 à 6).

3- Transfert de charge aux fissures longitudinales

L'étude des fissures longitudinales in situ ne peut s'effectuer de la même manière que celle des joints et fissures transversales puisque l'orientation de ces fissures est parallèle à l'axe usuel des essais.

Cependant, nous avons tenté d'évaluer quelques fissures en positionnant l'appareil parallèlement à la fissure et en installant 2 géophones de part et d'autre perpendiculairement à la fissure (exemple position d'essai photo 8). Bien que les résultats semblent indiquer une certaine progression de la déflexion selon l'importance de la fissure (tab.6, photo 7 à 9), ils ne permettent pas de conclure sur la pertinence de ces essais ni de proposer une nouvelle approche. Soulignons seulement que cette méthode implique un changement d'axe lors des essais (déplacement du centre vers la bordure de la voie) influençant nécessairement les résultats.

b) Conclusion

Ministère des Transports
Centre de documentation
930, Chemin Ste-Foy
6e étage
Québec (Québec)
G1S 4X9

D'après les résultats de l'évaluation des fissures transversales, on conclut que le paramètre SCI est représentatif du transfert de charge aux joints et fissures. De plus, l'étude du transfert de charge aux joints montre que les goujons jouent pleinement leur rôle durant la période critique du comportement de la chaussée (printemps). Il semble également que la qualité du transfert de charge ne peut être relié à la dégradation des dalles sur ces trois sites, ni probablement à celle des dalles courtes goujonnées en général. Rappelons finalement que l'évaluation des fissures longitudinales avec Dynaflect semble peu représentative.

V- METHODES D'AUSCULTATIONS PROPOSEES

a) Evaluation sectorielle

La position du point de chargement sur les dalles courtes goudonnées (position amont, centre ou aval) n'affecte pas grandement les résultats d'essais Dynaflect lorsque ces points sont alignés dans un même axe (centre de voie, roulière droite ou bordure de voie). Cependant, la présence d'une fissure ou d'un joint entre les géophones peut influencer ces résultats. Pour bien déceler l'impact des dégradations et limiter les variations, il est important d'établir une méthode d'auscultation appropriée.

Ainsi, une évaluation sectorielle représentative du comportement structural nécessite des intervalles d'essais maximales de 25 mètres réalisés généralement dans la roulière droite de la voie étudiée. Il est recommandé de déplacer le point d'essais lorsqu'il est à proximité (moins de 0.5 mètres) d'une fissure importante (moyenne ou ouverte) ou lorsqu'un géophone chevauche une fissure ou un joint. Il faut également prendre soin d'indiquer les conditions de la chaussée lors des essais (fissuration, drainage, recouvrement B.B., température et profil de la route) afin de faciliter l'interprétation. Soulignons qu'un relevé visuel de l'ensemble des dégradations effectué au préalable permettra d'établir des fréquences d'essais particulières. Les sondages mécaniques et l'instrumentation de la chaussée (piézomètre, gélomètre, etc.) seront implantés après les relevés de déflexion dans des points stratégiques.

LE MINISTRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT
207, RUE D'ARCADE, 75
QUÉBEC, QUÉBEC
G1R 5E1

b) Evaluation du transfert de charge

L'évaluation du transfert de charge aux joints et fissures transversales se fera principalement au printemps lorsque les dalles sont encore contractées (température entre 0 et 20°C) et que les conditions sont les plus défavorables. Les essais aux joints seront réalisés principalement aux endroits où le comportement des couches supérieures est jugé faible et où les dalles sont propices à la fissuration. La décision de procéder à l'étude d'une fissure transversale se fera en regard de l'ouverture de cette fissure et des possibilités de récupérer la dalle en question.

VI - CONCLUSION

1- D'après les résultats obtenus nous sommes d'avis que l'auscultation des chaussées rigides avec l'appareil Dynaflect est un moyen pertinent permettant de suivre l'évolution du comportement structural, d'établir un programme d'intervention dans le cadre d'un entretien préventif et de proposer certaines recommandations pour la remise en état ou la reconstruction des chaussées rigides.

2- Il apparaît également que les paramètres mentionnés sont des critères valables pour l'évaluation du comportement structural de ces chaussées et du transfert de charge aux joints et fissures transversales. De plus, l'évaluation printanière réalisée sur les dalles courtes goujonnées, nous

laisse croire que les goujons assurent une interaction permanente entre les dalles.

3- Cependant, compte tenu de la complexité du sujet et du peu d'information disponible dans la littérature, nous recommandons d'étudier davantage la qualité du transfert de charge aux joints goujonnés dans des secteurs où les dalles sont saines mais jugés propices à la fissuration.

4- Nous recommandons également une évaluation précise de l'impact de certains paramètres sur la variation des résultats d'essais telle que la cambrure de la dalle, etc..

Nous suggérons finalement un suivi saisonnier de l'évolution du comportement structural de plusieurs tronçons afin de mesurer l'impact des variations saisonnières et des coefficients d'agressivités du trafic lourd sur les paramètres proposés. La poursuite des études entreprises sur le boulevard Henri IV et sur les secteurs de l'autoroute 40 (non affectés par une réfection) pourrait permettre d'approfondir ces points essentiels.

FIGURE 1 : PLAN DE LOCALISATION

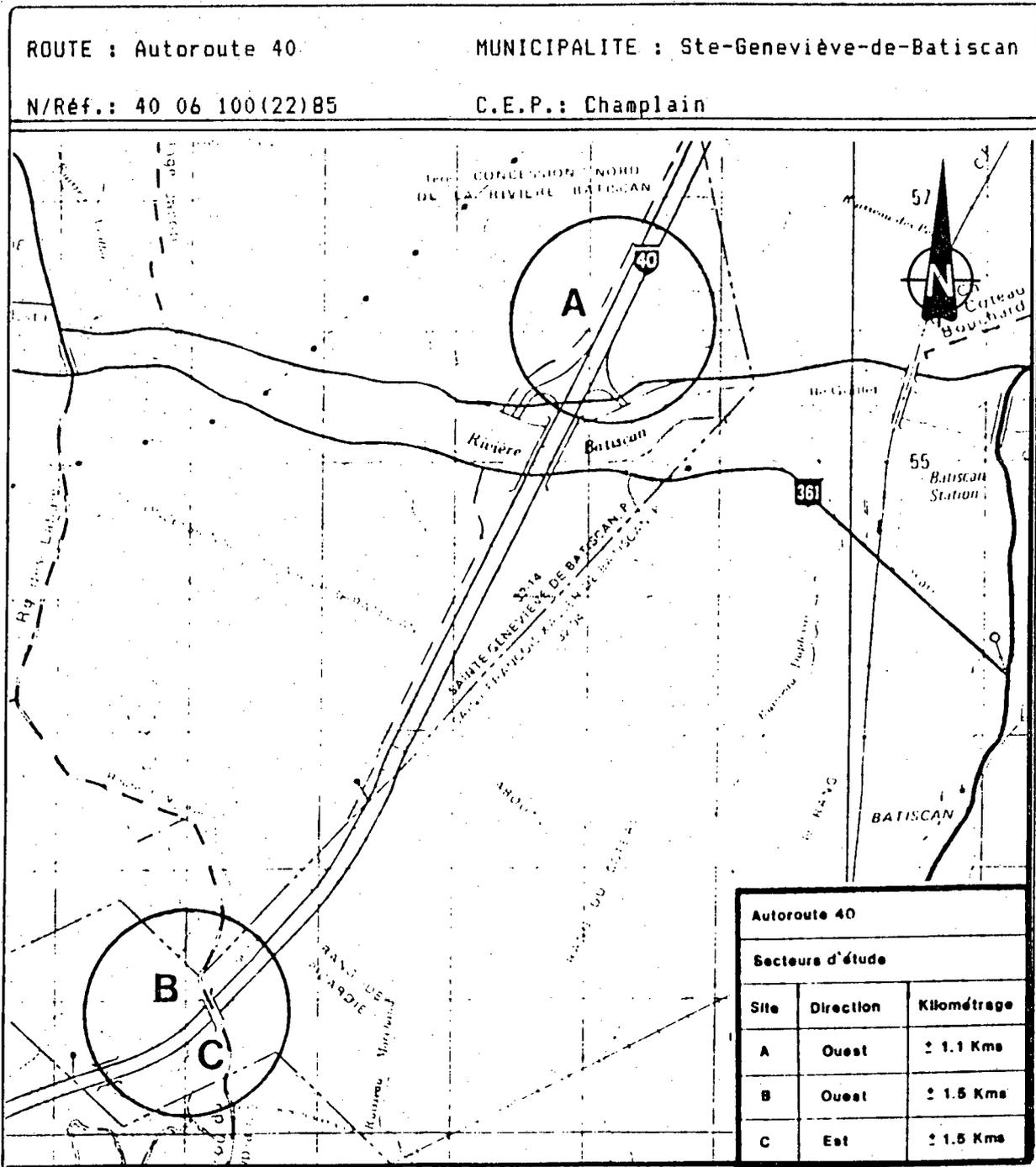
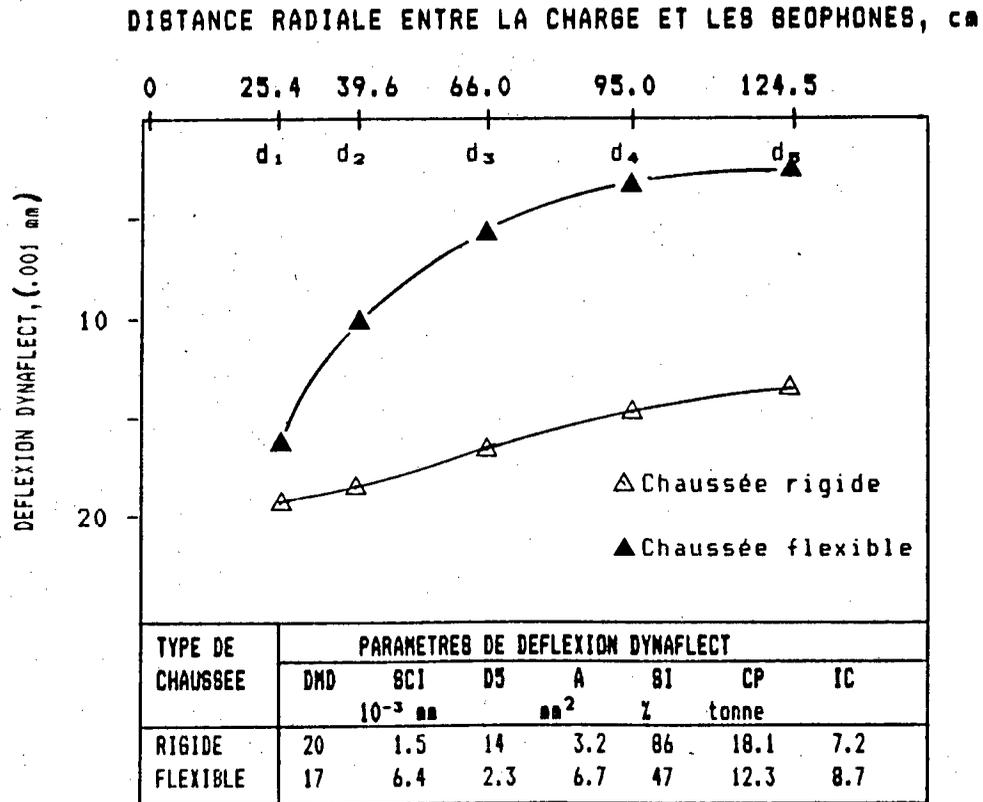
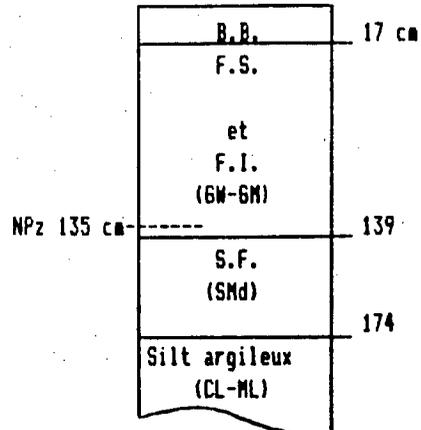
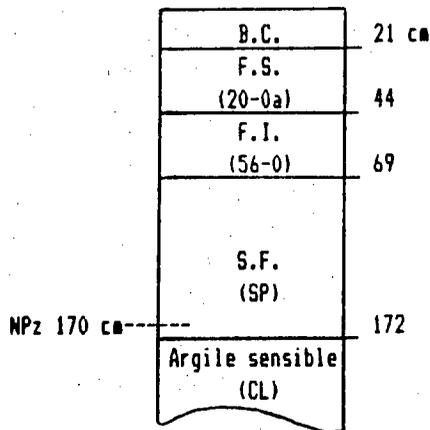


FIGURE 3: Allure d'un bassin de déflexion sur une chaussée rigide et flexible



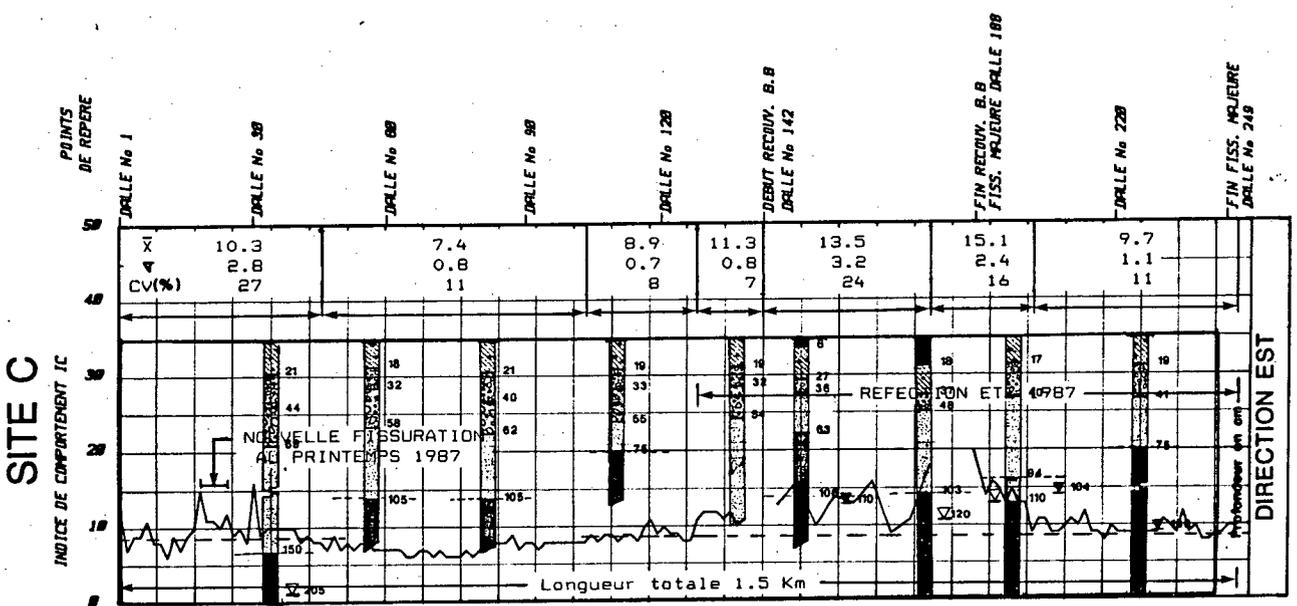
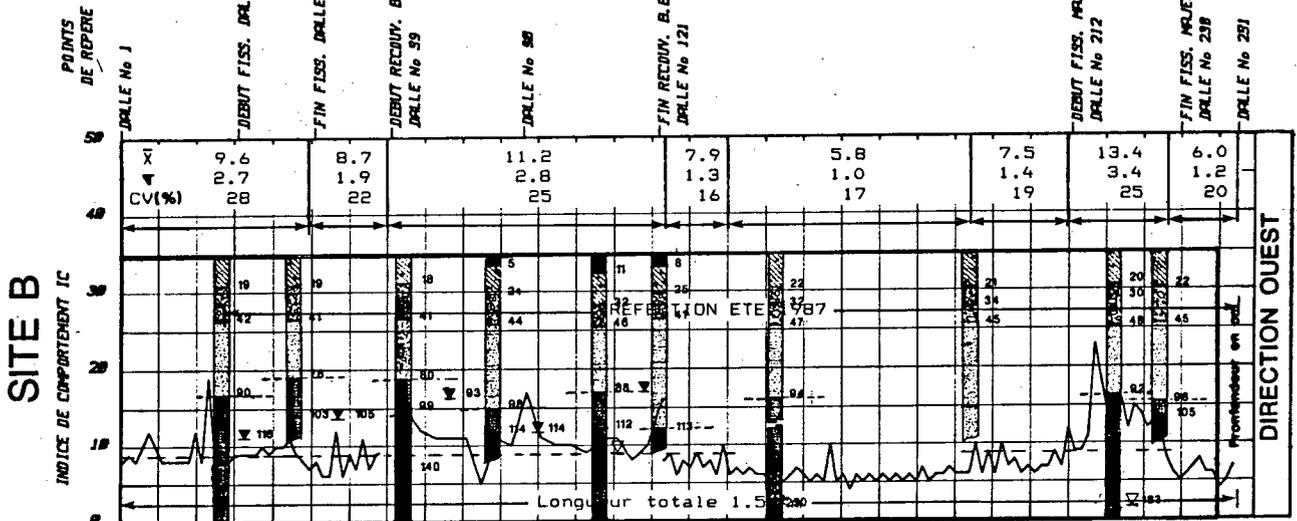
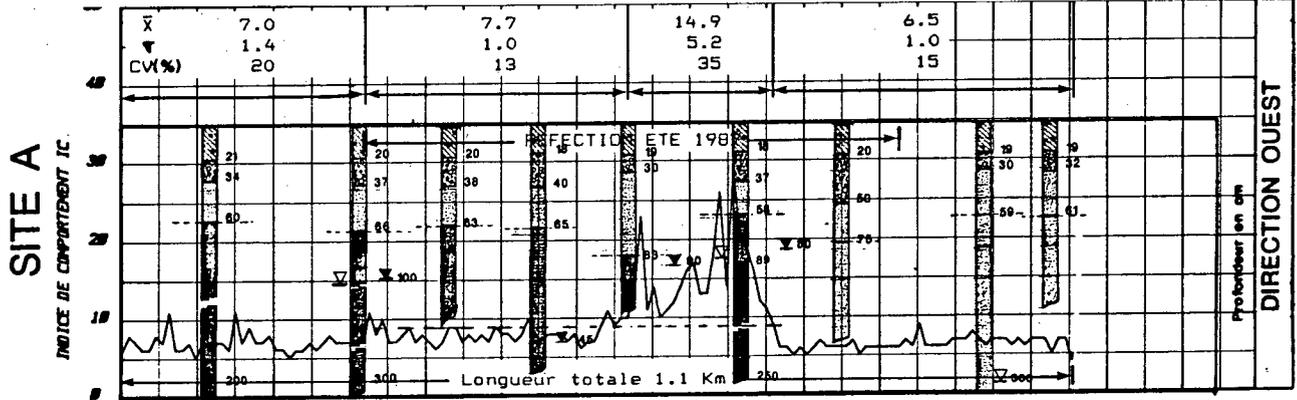
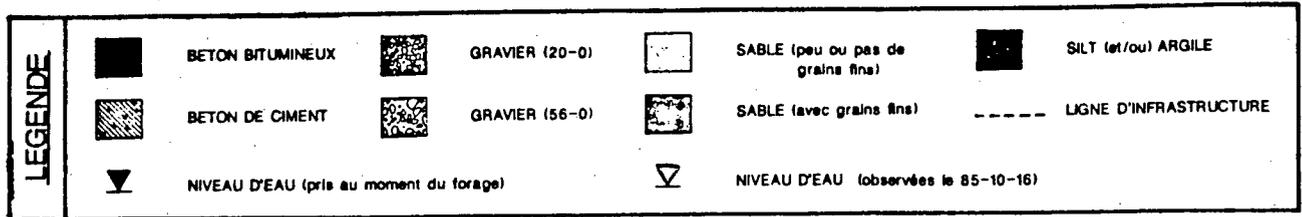
Autoroute 40 (dalle C-25)
date d'essais: 26-05-87

Autoroute 73 (Pz. 5-5)
date d'essais: 11-06-87



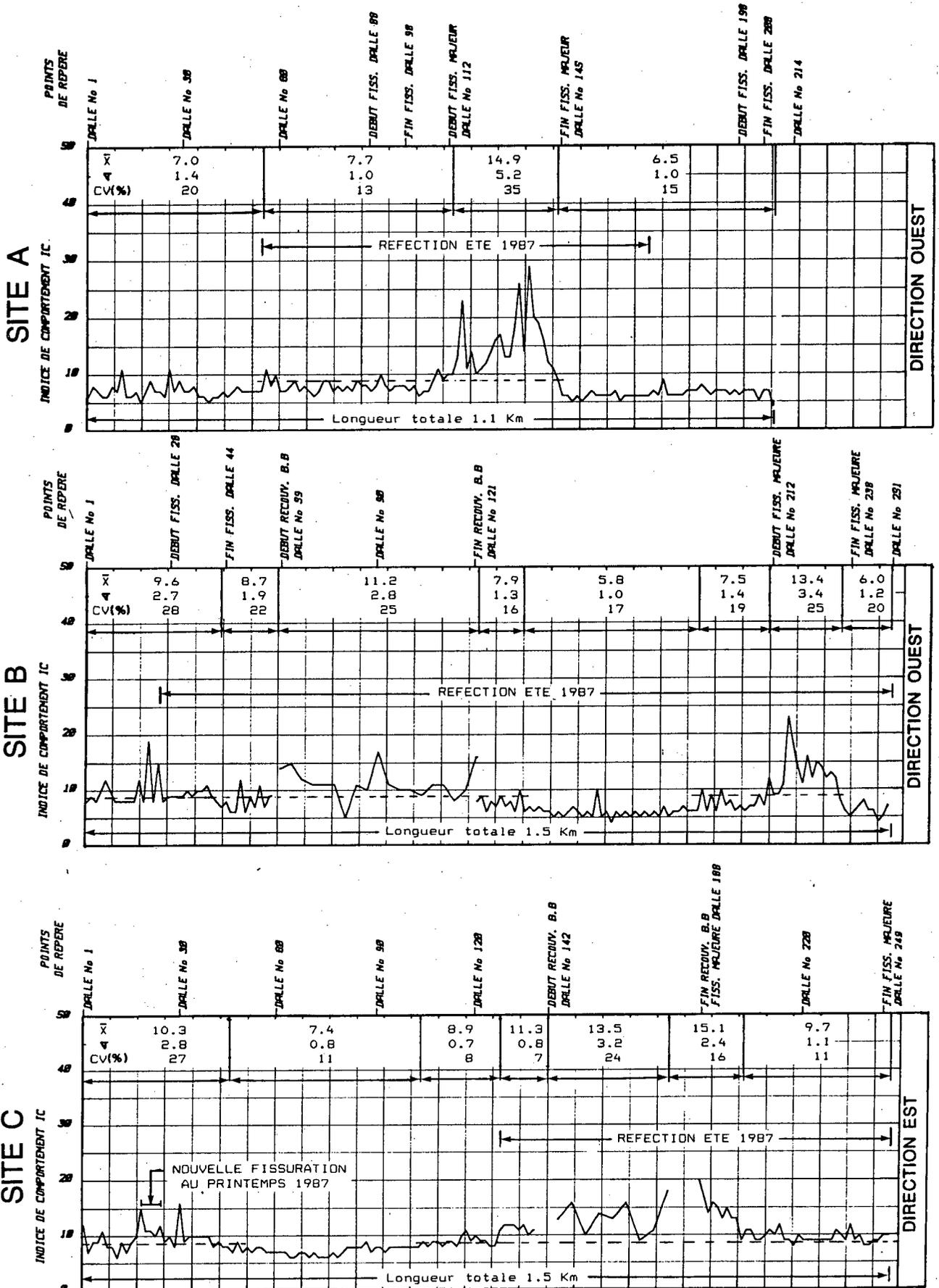
NPz: Niveau de la nappe phréatique mesuré avec piézomètre

Fig. 4: STRATIGRAPHIE ET NIVEAU DE LA NAPPE PHREATIQUE (Autoroute 40)



----- Secteur fissuré ou susceptible de se fissurer

Fig. 5: EVALUATION DU COMPORTEMENT DES CHAUSSEES RIGIDES (Dynaflect) selon l'indice de comportement IC (Autoroute 40, octobre 1985)



BBR
MTQ

Fig. 6: EVALUATION DU COMPORTEMENT DES CHAUSSEES RIGIDES (Dynalect) selon DMD (Autoroute 40, octobre 1985)

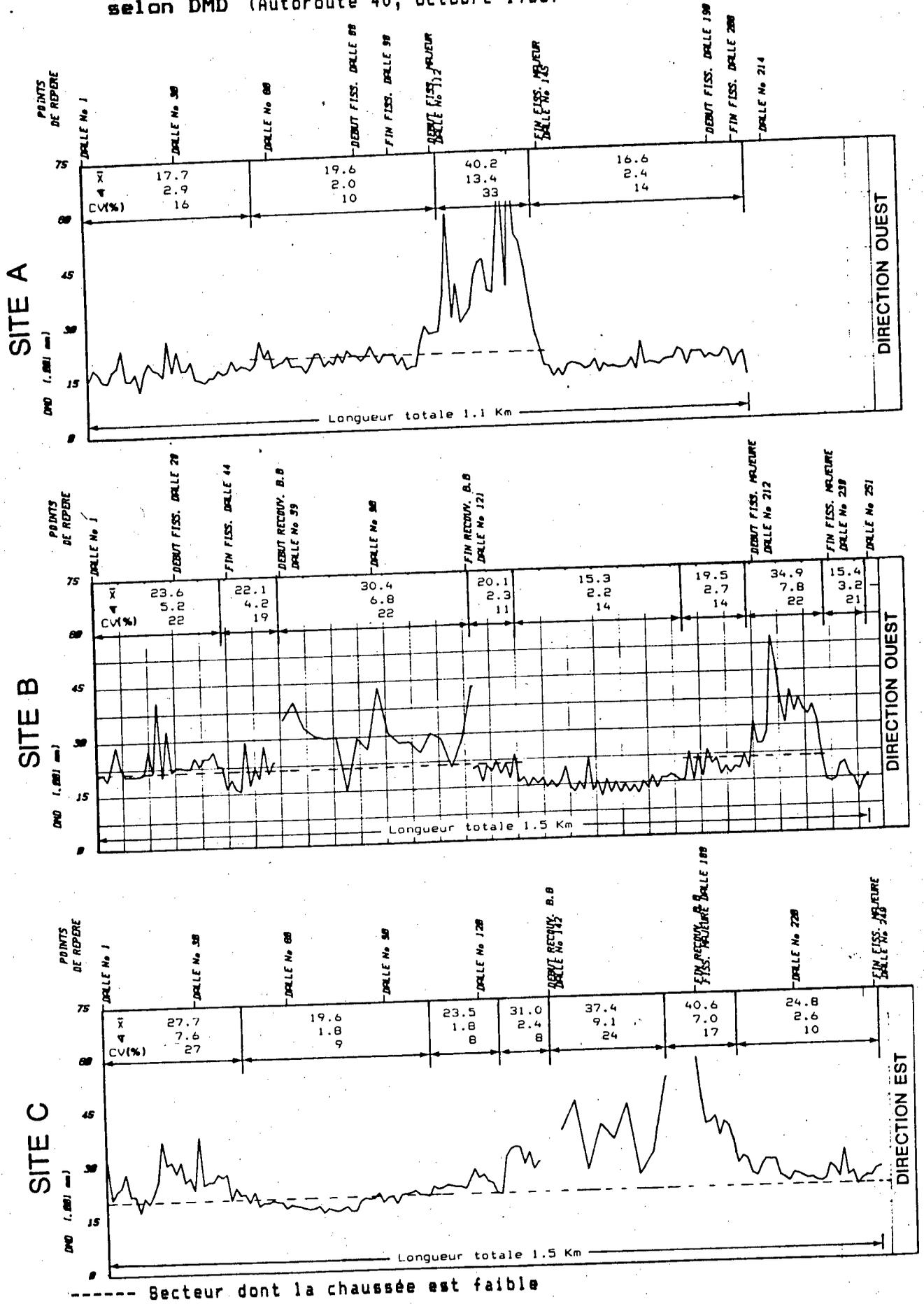
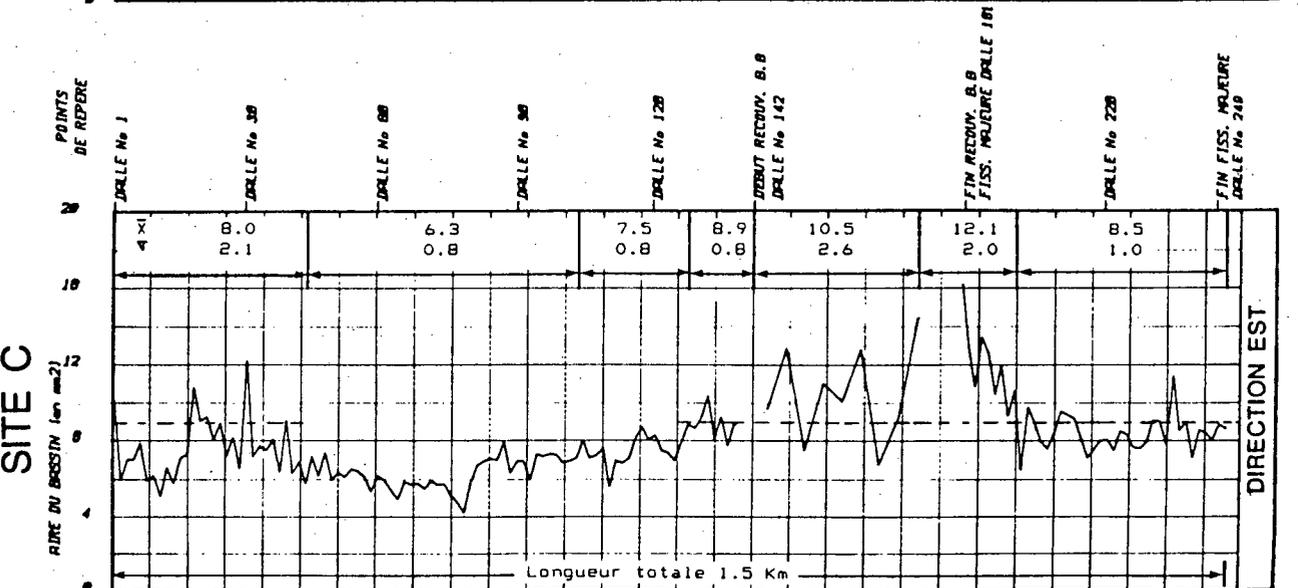
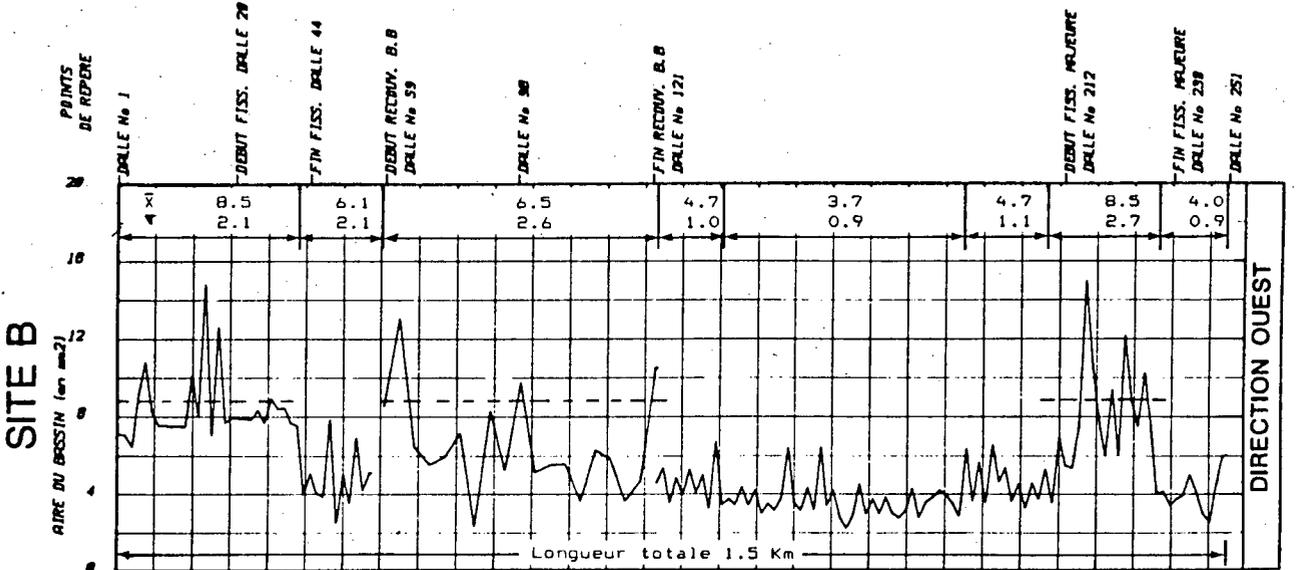
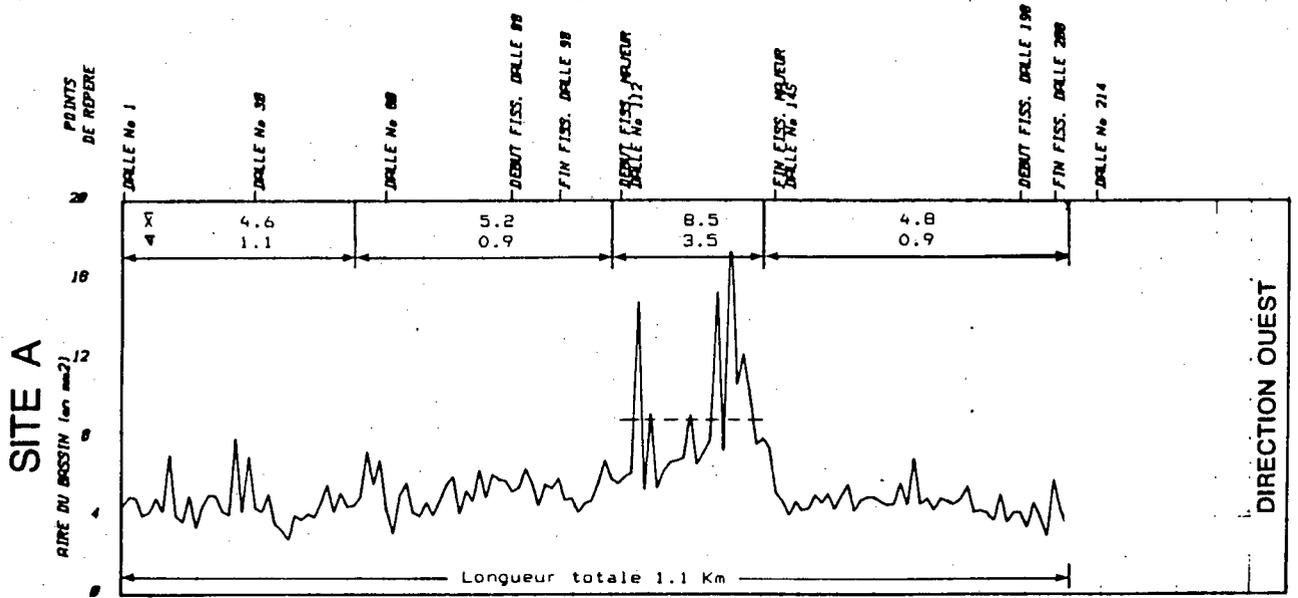


Fig. 7: EVALUATION DU COMPORTEMENT DES CHAUSSEES RIGIDES (Dynalect)
selon A (Autoroute 40, octobre 1985)



----- Secteur dont les couches supérieure sont faible

Fig. 8: EVALUATION DU COMPORTEMENT DES CHAUSSEES RIGIDES (Dynalect) selon D5 (Autoroute 40, octobre 1985)

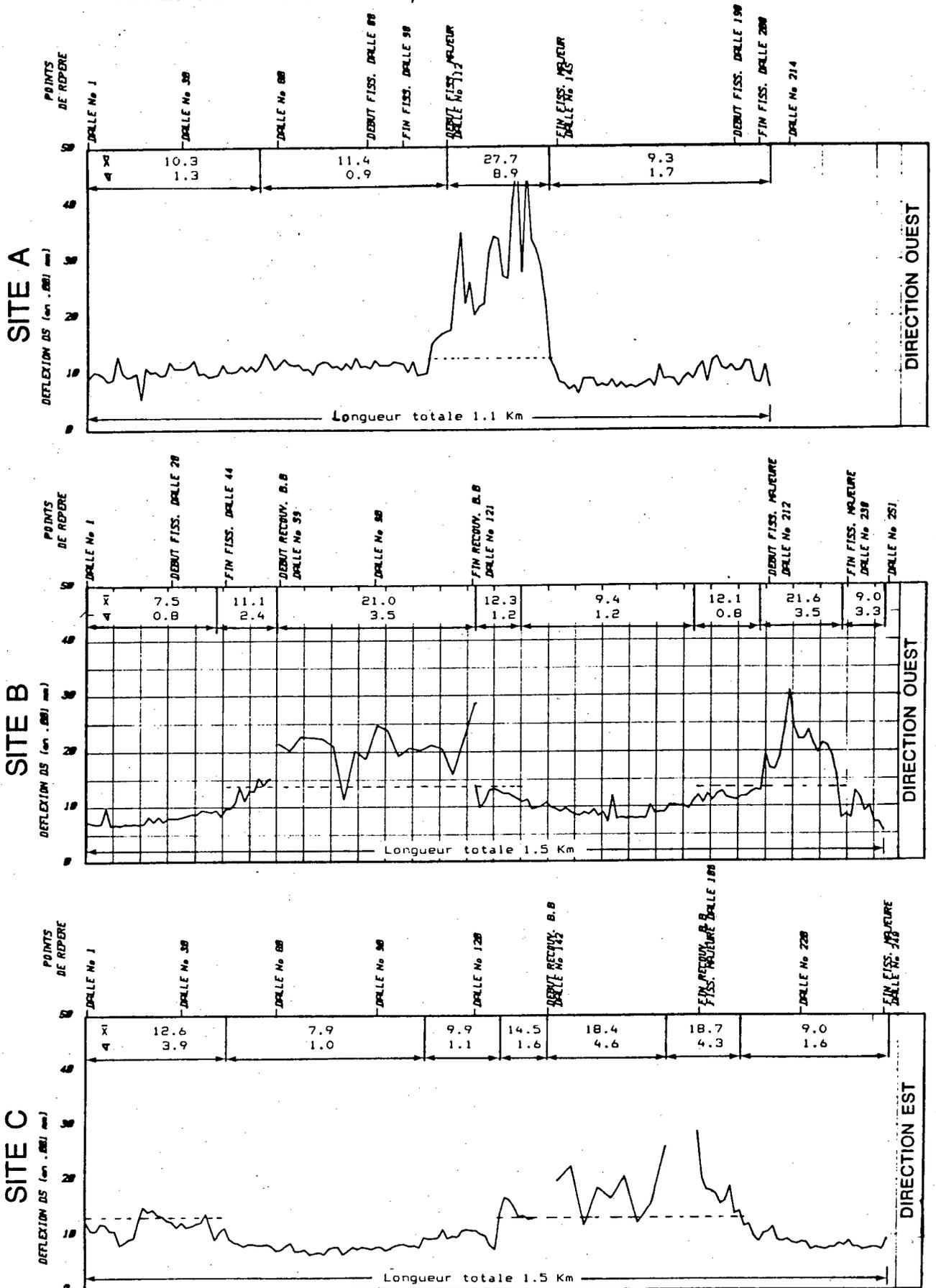


Fig. 9: EVALUATION DU COMPORTEMENT DES CHAUSSEES RIGIDES (Dynalect)
selon l'indice de comportement IC (Blv Henri IV, sept. 1987)

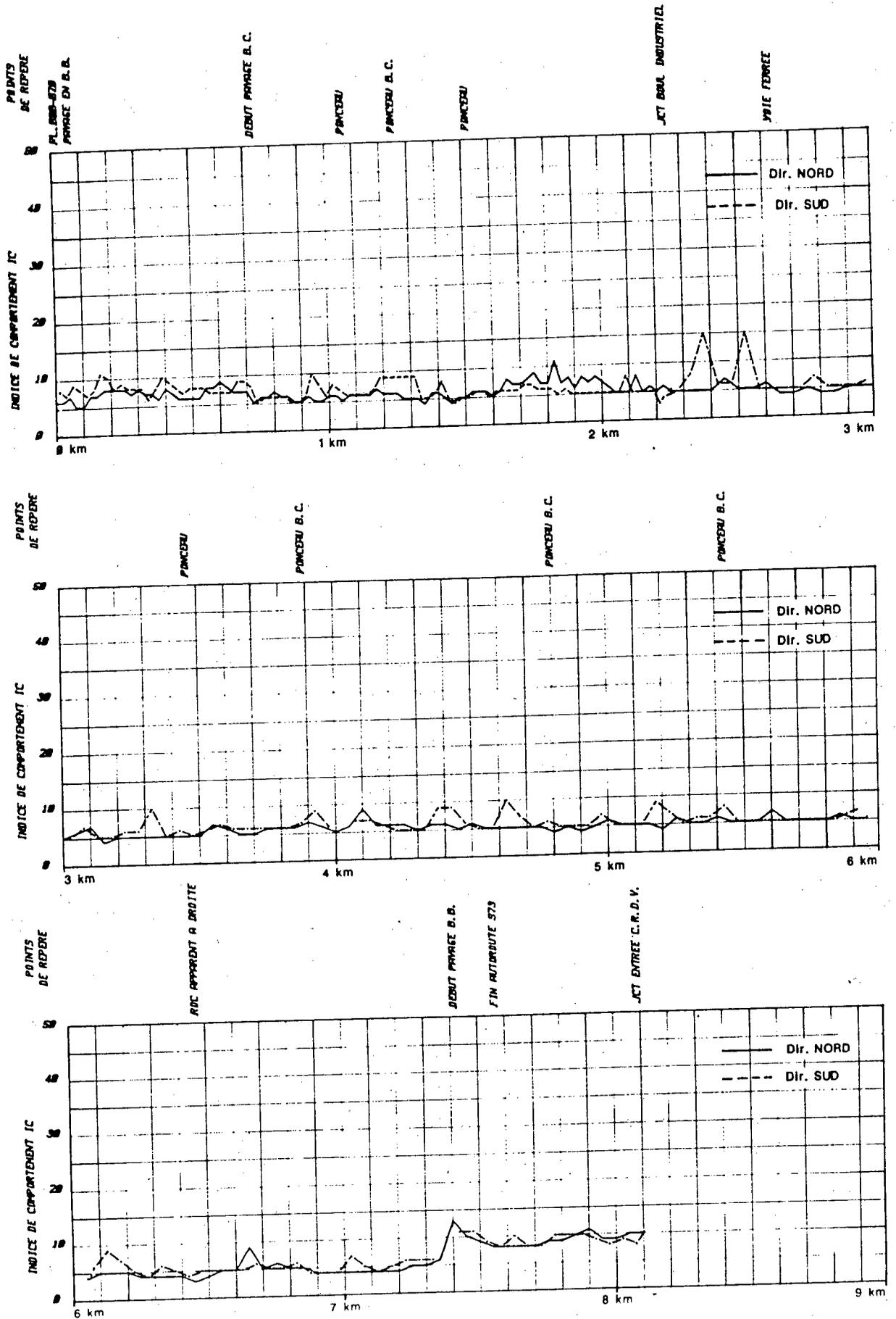


Tableau 2: Evaluation sectorielle du comportement des chaussées rigides (Boulevard Henri IV, septembre 1987)

DIRECTION NORD							
SECTEUR (km)		COUCHE SUPERIEURE			INFRASTRUCTURE	CHAUSSEE	
		SCI (10 ⁻³ mm)	A (mm ²)	SI (%)	D5 (10 ⁻³ mm)	DND (10 ⁻³ mm)	IC
0.73 - 1.25	MOY	1.1	4.8	77.2	7.5	14.7	5.9
	SIG	0.2	0.5	2.6	1.5	1.6	0.6
1.28 - 1.63	MOY	1.0	4.6	75.2	5.8	12.6	5.2
	SIG	0.2	0.5	2.6	1.3	1.5	0.6
1.65 - 2.03	MOY	1.9	6.3	71.8	7.7	18.0	7.4
	SIG	1.1	1.2	7.4	2.5	3.2	1.3
2.06 - 3.50	MOY	1.2	4.6	73.2	5.5	12.7	5.3
	SIG	0.7	0.8	3.6	0.7	1.5	0.8
3.55 - 4.05	MOY	1.3	4.8	74.6	7.1	14.8	6.0
	SIG	0.8	0.5	4.9	1.3	1.6	0.7
4.50 - 5.95	MOY	1.2	4.5	73.4	5.5	12.5	5.2
	SIG	0.6	0.7	4.3	0.8	1.3	0.7
6.00 - 6.60	MOY	1.2	4.2	66.0	2.9	9.6	4.2
	SIG	0.3	0.6	2.9	0.9	1.7	0.7
6.70 - 7.33	MOY	1.1	4.5	67.7	3.6	10.6	4.6
	SIG	0.4	0.4	5.4	1.6	1.7	0.5

Tableau 2: Evaluation sectorielle du comportement des chaussées rigides (Boulevard Henri IV, septembre 1987)

DIRECTION SUD							
SECTEUR (km)		COUCHE SUPERIEURE			INFRASTRUCTURE	CHAUSSEE	
		SCI (10 ⁻³ mm)	A (mm ²)	SI (%)	D5 (10 ⁻³ mm)	DMD (10 ⁻³ mm)	IC
0.73 - 0.93	MOY	0.8	4.6	77.2	7.9	15.0	5.8
	SIG	0.1	0.4	2.4	1.4	1.3	0.4
0.95 - 1.30	MOY	1.6	5.9	74.6	9.3	18.9	7.5
	SIG	1.2	1.2	5.6	2.1	2.9	1.3
1.35 - 2.28	MOY	1.0	4.7	76.4	6.6	13.6	5.5
	SIG	0.6	0.9	4.4	1.8	2.5	0.9
2.33 - 2.53	MOY	4.7	6.3	68.0	6.3	18.1	8.6
	SIG	5.9	1.5	13.9	0.5	6.4	4.2
2.55 - 3.53	MOY	1.6	5.1	73.2	5.5	13.3	5.8
	SIG	1.0	1.0	4.9	0.6	2.2	1.2
3.58 - 4.13	MOY	1.9	5.6	73.9	7.3	16.1	6.8
	SIG	1.1	0.7	5.8	1.4	1.6	0.8
4.15 - 4.33	MOY	0.8	4.9	78.7	7.3	14.1	5.7
	SIG	0.3	0.8	3.1	1.2	1.6	0.6
4.38 - 4.68	MOY	2.6	6.1	69.4	6.2	16.5	7.3
	SIG	1.7	1.6	7.6	0.5	3.6	2.0
4.70 - 5.95	MOY	1.4	4.8	74.0	6.1	13.5	5.7
	SIG	1.0	1.0	5.2	1.0	2.1	1.1
6.85 - 7.33	MOY	1.8	5.3	62.0	2.5	11.1	5.1
	SIG	1.2	1.3	4.6	0.8	2.5	1.3

Tableau 4: Evaluation du transfert de charge aux joints transversaux goujonnés (Autoroute 40, essai au centre voie de roulement)

SITE A						
PERIODE D'ESSAIS (1987)	DALLE No	CONDITION STRUCTURALE DE LA CHAUSSEE		VARIATION DU SCI (10^{-3} mm) SELON LA POSITION DE LA CHARGE		TRANSFERT DE CHARGE AUX JOINTS
		DALLE (état)	N.Pz #	EN AMONT DU JOINT	AU CENTRE DE LA DALLE	
PRINTEMPS	86 a 88	SAINES	---	MOY 1.5 MIN 1.0 MAX 2.3 SIG 0.6	1.8 1.5 2.0 0.2	BON MAIS FAIBLESSE SOUS LES JOINTS
PRINTEMPS	89 a 95	FISSURATION PARTIELLE	---	MOY 4.5 MIN 1.3 MAX 16.0 SIG 4.8	1.9 1.3 4.1 0.9	MAUVAIS
AUTOMNE	185 a 188	SAINES	3.13	MOY 2.2 MIN 1.5 MAX 3.1 SIG 0.6	0.5 0.5 0.5 0.0	BON MAIS FAIBLESSE SOUS LES JOINTS
SITE B						
PRINTEMPS	146 a 155	SAINES	---	MOY 1.3 MIN 0.8 MAX 2.0 SIG 0.4	1.1 0.8 1.3 0.2	BON
PRINTEMPS	231 a 235	FISSURE	1.4	MOY 1.4 MIN 0.5 MAX 2.8 SIG 0.8	0.6 -0.5 2.5 1.3	BON MAIS FAIBLESSE SOUS LES JOINTS
PRINTEMPS	237 a 240	SAINES	2.26	MOY 1.1 MIN 0.8 MAX 1.3 SIG 0.2	1.0 0.8 1.5 0.3	EXCELLENT

NPz: Niveau de la nappe phréatique mesuré avec piézomètre

Tableau 4: Evaluation du transfert de charge aux joints transversaux goujonnés (Autoroute 40, essai au centre voie de roulement)

SITE C							
PERIODE D'ESSAIS (1987)	DALLE No	CONDITION STRUCTURALE DE LA CHAUSSEE		VARIATION DU SCI (10^{-3}aa) SELON LA POSITION DE LA CHARGE			TRANSFERT DE CHARGE AUX JOINTS
		DALLE (état)	N.Pz	EN AMONT DU JOINT	AU CENTRE DE LA DALLE		
PRINTEMPS	30 a 33	SAINE	1.72	MOY 1.2 MIN 0.8 MAX 2.0 SIG 0.5	1.3 0.8 1.5 0.3	BON	
AUTOMNE	30 a 33	SAINE	1.75	MOY 0.5 MIN -0.5 MAX 1.0 SIG 0.6	0.5 0.3 0.8 0.2	EXCELLENT	
PRINTEMPS	21 a 33	SAINE	1.72	MOY 1.5 MIN 0.8 MAX 2.0 SIG 0.4	1.3 0.8 -1.8 0.3	BON	
PRINTEMPS	34 a 45	SAINE	---	MOY 1.5 MIN 1.0 MAX 2.0 SIG 0.3	1.3 1.0 1.5 0.2	BON	
PRINTEMPS	46 a 58	SAINE	---	MOY 1.5 MIN 0.8 MAX 4.1 SIG 0.8	1.2 1.0 1.8 0.2	BON	
PRINTEMPS	191 a 200	FISSURE	1.3	MOY 3.5 MIN 0.5 MAX 13.7 SIG 3.6	1.3 -0.5 2.3 0.7	MAUVAIS	

Tableau 5: Evaluation du transfert de charge aux fissures transversales (Autoroute 40, printemps 87)

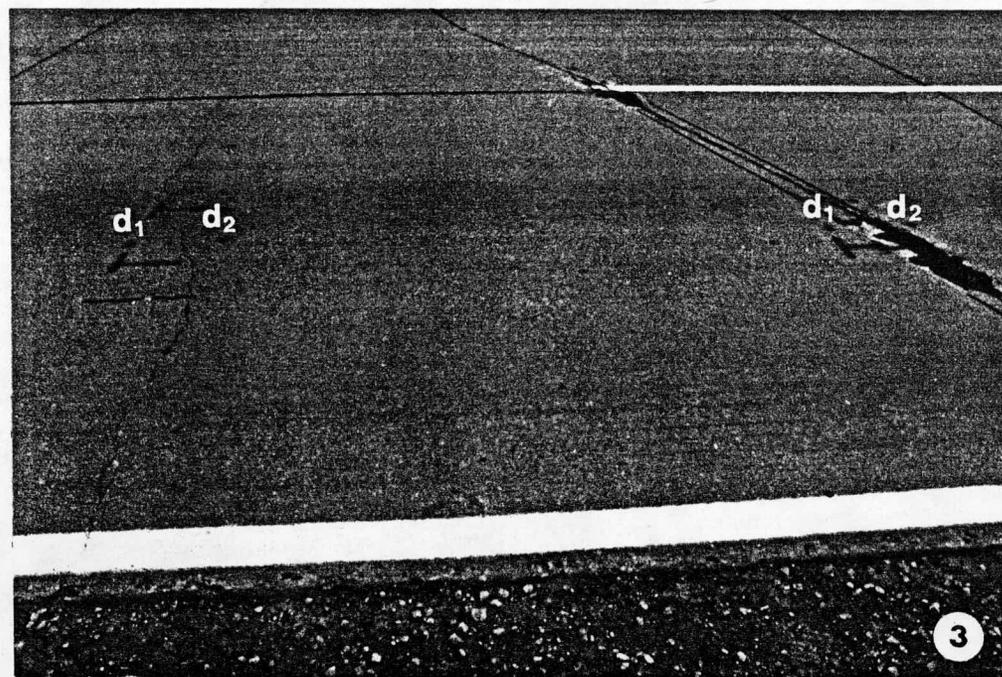
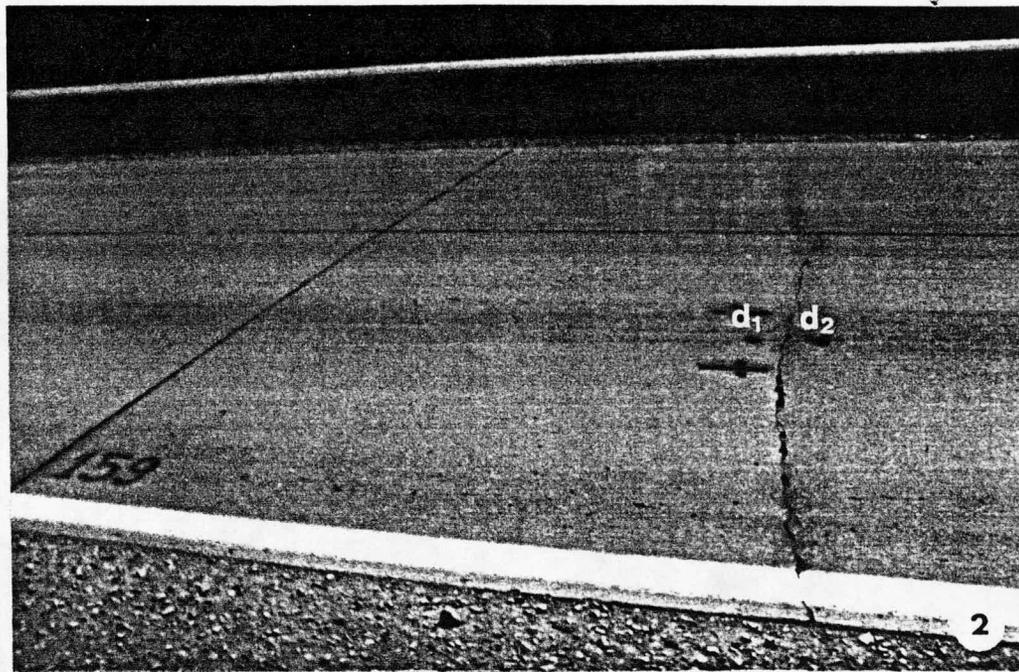
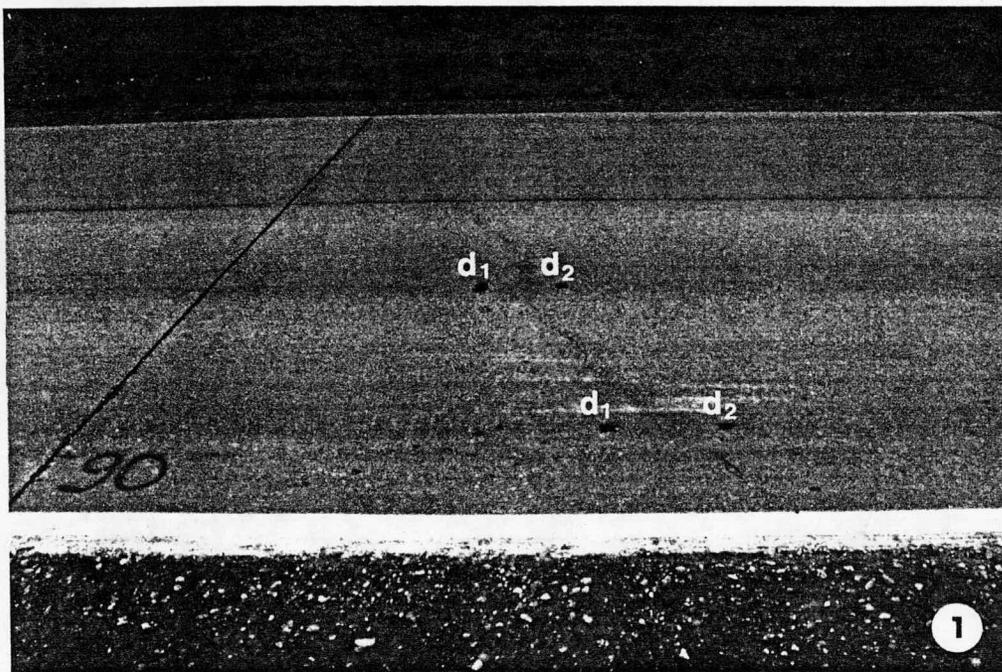
SECTEUR	DALLE No	OUVERTURE DE LA FISSURE	PHOTO No	LOCALISATION DES ESSAIS DANS LA VOIE	VALEUR DU SCI (10^{-3}) MESURE EN AMONT DE LA FISSURE	TRANSFERT DE CHARGE AUX FISSURES
C	90	TRES FINE	1	CENTRE	1.0	EXCELLANT
				BORDURE	1.6	BON
B	159	FINE	2	CENTRE	1.0	EXCELLANT
A	148		3		2.0	BON
B	151		4		1.3	BON
B	152	FINE REPARÉE	5	CENTRE	1.5	BON
A	57		6	CENTRE	1.8	BON
A	57		6	BORDURE	2.3	BON MAIS FAIBLESSE SOUS LA FISSURE
A	148	MOYENNE REPARÉE	3	CENTRE	2.5	BON MAIS FAIBLESSE SOUS LA FISSURE

Tableau 6: Evaluation du transfert de charge aux fissures longitudinales (Autoroute 40, site A, printemps 87)

DALLE No	OUVERTURE DE LA FISSURE	LOCALISATION DES ESSAIS			VALEUR DE DMD ET SCI (10^{-3} mm) SELON LA POSITION DE LA CHARGE			
		PHOTO No	POSITION DE LA CHARGE *	DISTANCE (cm) CHARGE/FISSURE	A GAUCHE DE LA FISSURE		A DROITE DE LA FISSURE	
					DMD	SCI **	DMD	SCI **
90	TRES FINE	7	1	40	25.1	11.4	----	----
			2	40	----	----	25.0	14.3
			3	130	16.8	7.9	----	----
90	FINE	7	4	40	36.8	22.1	----	----
			5	40	----	----	37.8	24.8
			6	130	24.4	14.7	----	----
96	MOYENNE	8	1	40	26.9	13.9	----	----
			2	40	----	----	22.6	12.2
			3	130	----	----	23.3	16.7
138	LARGE REPAREE	9	1	40	82.6	50.3	----	----
			2	40	----	----	74.4	46.7
			3	130	----	----	83.3	62.7

* Position de la charge: Le numéro indique la position du géophone 1 (d_1) et du géophone variable (d_v)

** N.B. : SCI = $d_1 - d_v$

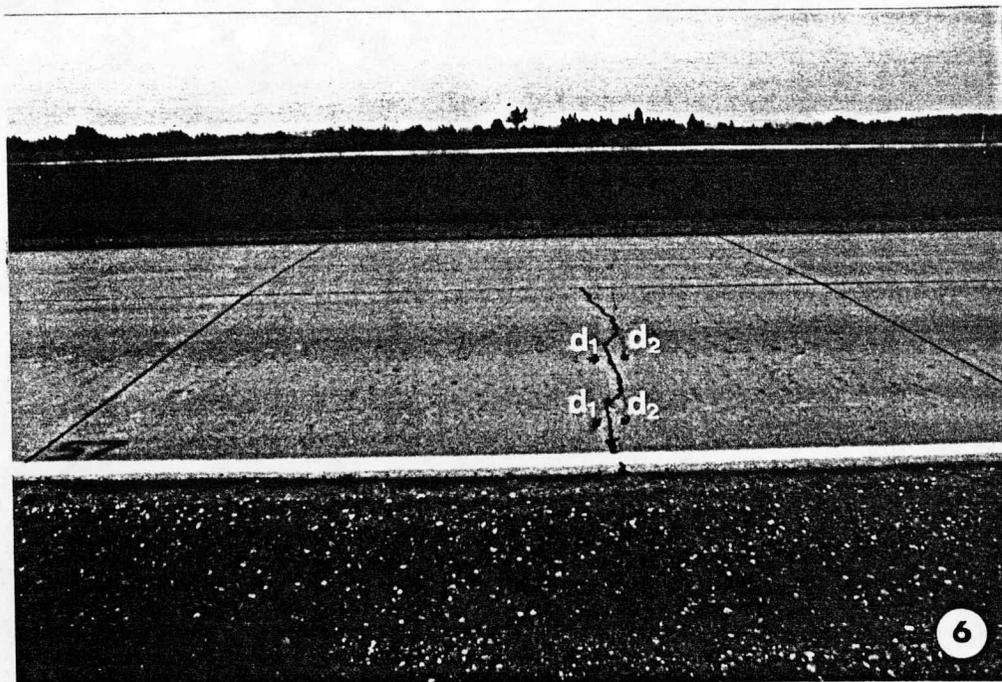
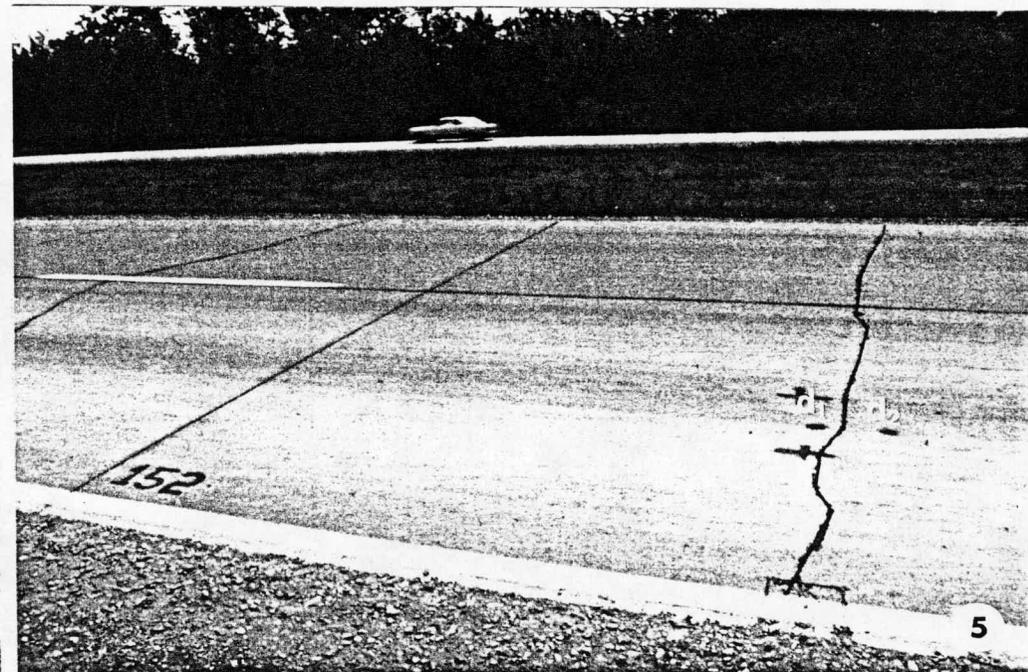
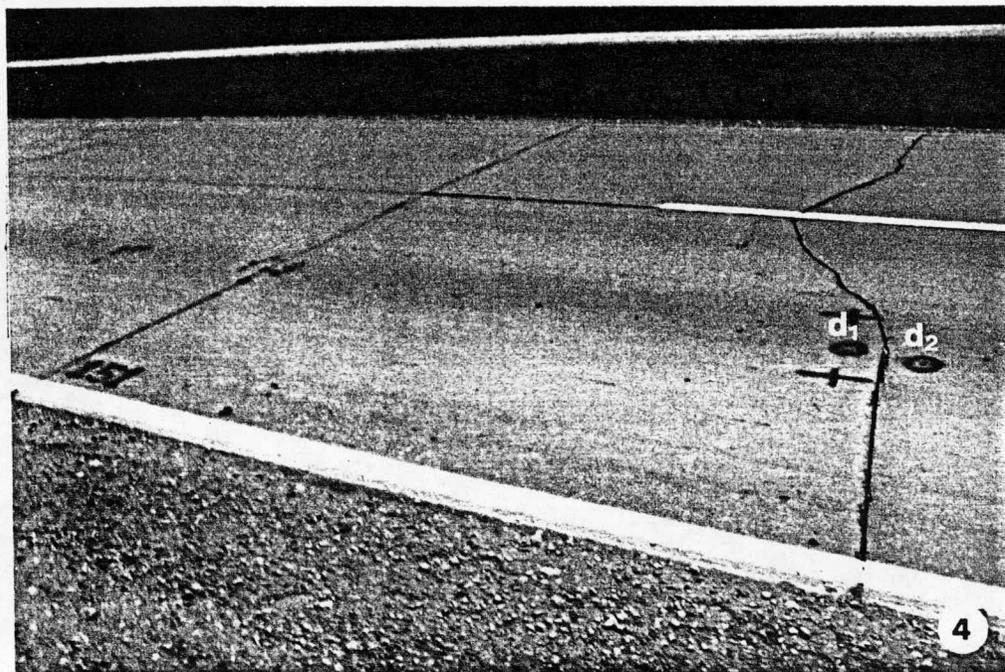


SGR
MTQ

EVALUATION DU TRANSFERT DE CHARGE AUX FISSURES
TRANSVERSALES (essais en amont des fissures)

PHOTO	DESCRIPTION
1	- fissure très fine (site C - dalle 90) - essai au centre et en bordure de la voie
2	- fissure fine (site B - dalle 159)
3	- à gauche, fissure fine (site A - dalle 148) - à droite, fissure moyenne réparée

N.B. : d_1 et d_2 indique la position des géophones 1 et 2

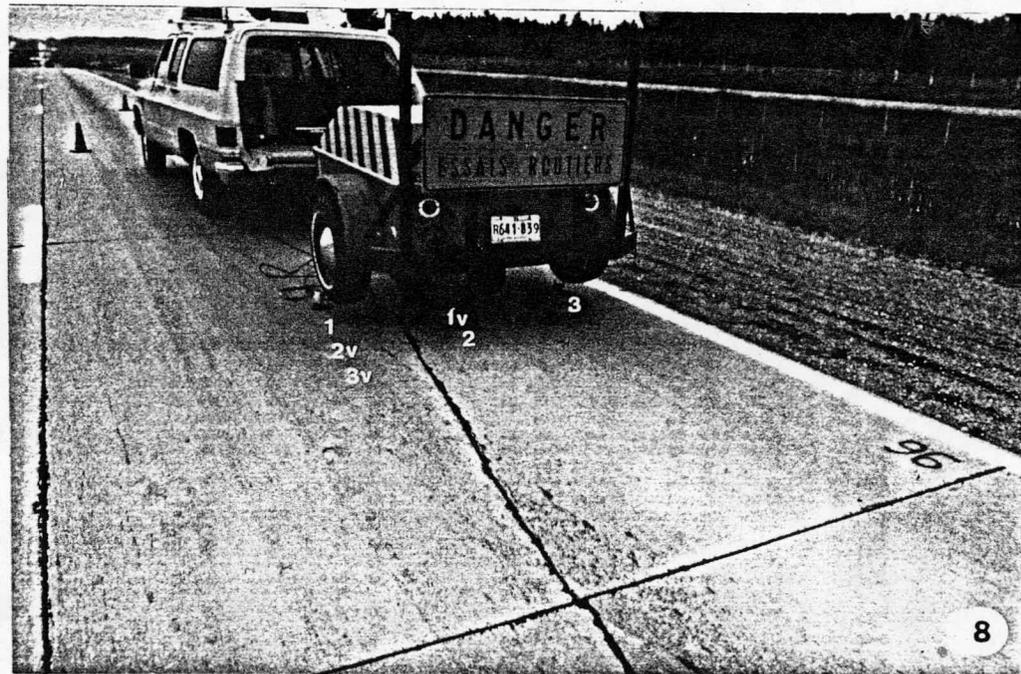


SGR
MTQ

EVALUATION DU TRANSFERT DE CHARGE AUX FISSURES
TRANSVERSALES (essais en amont des fissures)

PHOTO	DESCRIPTION
4	- fissure fine réparée (site B - dalle 151)
5	- fissure fine réparée (site B - dalle 152)
6	- fissure fine réparée (site A - dalle 57) - essai au centre et en bordure de la voie

N.B. : d_1 et d_2 indique la position des géophones 1 et 2



SGR
MTQ

EVALUATION DU TRANSFERT DE CHARGE
AUX FISSURES LONGITUDINALES
(essais de part et d'autres des fissures)

PHOTO	DESCRIPTION
7	- fissure très fine au centre de la dalle (site A - dalle 90) - fissure fine en bordure du joint
8	- fissure moyenne réparée (site A - dalle 96) - ex. position du géophone 1 (2*) et du géophone variable situé à gauche de la fissure (2v*)
9	- fissure large réparée (site A - dalle 138)

* N.B. : numéro 1 à 6 indique la position du géophone 1
numéro 1v à 6v celle du géophone variable

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE:

- 1- Gilles Laroche, Gaston Larose

Etude du comportement structural de l'autoroute 40, (rapport interne)
N./réf. 0040-06-100(22)85, Service des Sols et chaussées MTQ, août 1986.

- 2- Pierre Desrochers, Aziz Amiri, Pierre De Montigny, J.-P. Leroux

Guide d'interprétation et traitement des valeurs Dynaflect, (rapport interne) Service des Sols et chaussées MTQ, octobre 1985.

- 3- J-P. Christory

Méthodologie d'auscultation des chaussées en béton, Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, France, septembre 1978.

- 4- Kamran Majidzadeh, V. Kumar

Manual of operation and use of Dynaflect for pavement evaluation, Resource international inc. et the Ohio Department of transportation, octobre 1983.

- 5- T.M. Jermyn

The Dynaflect pavement strength measurement system and its applications
The national Institute for physical planning & construction research,
Ireland, mars 1983.

- 6- J-C. Gramsammer

Auscultation des chaussées en béton au moyen de charges vibrantes, Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, France, septembre 1978.

- 7- Eduardo A. Ricci

Fallingweight deflectometer for nondestructive evaluation of rigid pavement, Texas state departement of highway an public transportation FHWA, novembre 1985.

- 8- J. Larralde, W-F. Chen, M. Asce

Estimation of mechanical deterioration of highway rigid pavement, Journal of transportation Engineering, vol. 113, No.2, mars 1987.

ANNEXES

ANNEXE 1: DEFINITION DES PARAMETRES DE DEFLEXION :

Paramètres servant à l'évaluation des chaussées rigides et/ou flexibles:

PARAMETRE	DEFINITION ET ROLE	UNITEE
d_1	Déflexion enregistrée au 1 ^{er} géophone	10^{-3} mm
DMD	= d_1 Déflexion maximale Dynaflect. Bon indicateur de la capacité relative de la chaussée.	10^{-3} mm
SCI	= $d_1 - d_2$ Indice de courbure des couches supérieures de la chaussée. Bon indicateur de la capacité relative des couches supérieures des chaussées flexibles ainsi que du transfert de charge aux joints et fissures des dalles rigides. Une valeur faible indique une bonne capacité ou un bon transfert de charge.	10^{-3} mm
D5	Déflexion enregistrée au 5 ^e géophone. Bon indicateur de la capacité des couches inférieures et/ou de l'infrastructure.	10^{-3} mm
A	= $[152.5 (d_1 + 2d_2 + 2d_3 + 2d_4 + d_5) - 1220 \times d_5] / 1000$ Aire du bassin de déflexion. Permet d'identifier certains comportements particuliers tel les chaussées faibles travaillant en poinçonnement (valeur élevée de A) ou contrairement, celles présentant des bassins étalés (valeur faible de A).	mm ²
SI	= $\frac{(d^1 + d^2 + d^3 + d^4 + d^5)}{5d^1} \times 100$ Indice d'étalement du bassin de déflexion. Indique la capacité des couches supérieures à supporter et distribuer la charge dans la chaussée. Une valeur élevée reflète une bonne distribution.	%

ANNEXE 1: DEFINITION DES PARAMETRES DE DEFLEXION:

PARAMETRE	DEFINITION ET ROLE	UNITEE
CP	$= 54.57 \times (DTL)^{-0.072} \times [(0.25 \times DMD \times SCI)^{0.5}]^{-0.4}$ <p>Capacité portante de la chaussée. CP est le critère de renforcement des chaussées flexibles (CP < 11 tonnes indique une faiblesse de la chaussée). DTL est le nombre de véhicules lourds par jour par direction (min. 28 v/j), exprimé en proportion du nombre d'essieux équivalent de 8.16 tonnes.</p>	TONNE
IC	$= \left[\frac{(DMD)}{100} + \frac{(SCI)}{20} + \frac{(DS)}{50} + \frac{(A)}{20} \right] \times 10$ <p>Indice de comportement de la chaussée. Bon indicateur de la portance. Permet d'évaluer les secteurs susceptibles de fissurer sur les chaussées rigides. Une valeur faible indique un bon comportement.</p>	SANS UNITEE

ANNEXE 2: PARTICULARITES DU COMPORTEMENT DES CHAUSSEES RIGIDES

Le transfert et la distribution des charges sont parmi les principales particularités affectant l'auscultation des chaussées rigides par Dynaflect. Ils dépendent en grande partie de la dimension des dalles, de l'utilisation de goujon, de la condition de la surface d'appui (dalle-sol de support), etc.. De plus, l'évaluation de la dégradation qui constitue le principal objet de l'auscultation, diffère des autres types de revêtement. Le mécanisme de dégradation ainsi que le patron de son développement dans le temps peuvent aussi affecter les résultats de l'auscultation. Ces dégradations et leurs causes principales sont, par ordre de gravité décroissante, les suivantes [3]:

- La fracturation d'une dalle (plus de deux fissures) est le stade ultime du comportement lorsque les conditions d'appui sont devenues très mauvaises. A ce stade, une évolution des dégradations devient très vite dangereuse pour l'usager (décalage ou autres bris majeurs réduisant considérablement la qualité de roulement).
- La fissuration longitudinale indique soit une fatigue excessive de la fondation, soit un tassement différentiel de petite longueur d'onde du sol de support (cas de remblais notamment) ou encore un gonflement de matériaux gélifs. Ces phénomènes peuvent aussi occasionner une ouverture et un décalage du joint longitudinal. Certaines configurations de fissures longitudinales peuvent être le signal d'un grave défaut d'épaisseur ou de qualité du béton.
- La fissure en coin indique généralement une surface de contact médiocre entre la fondation et la dalle de béton.
- La fissuration transversale à mi-dalle est assez caractéristique des dalles soumises à des gradients thermiques prononcés en même temps qu'à un trafic lourd intense. Elle est accélérée lorsque les dalles présentent un léger sous-dimensionnement ou lorsque la fondation est de mauvaise qualité.

1
7



MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 102 230