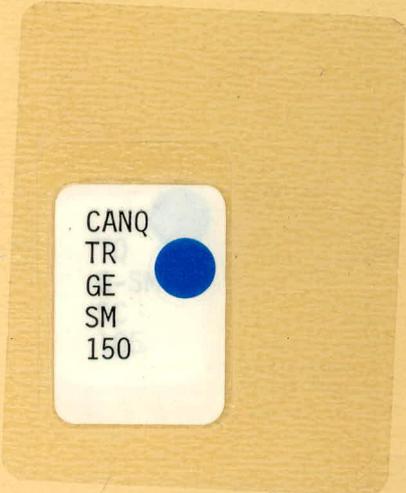




Recherche d'une nouvelle approche de
dimensionnement des chaussées flexibles
basée sur les mesures de déflexion



CANQ
TR
GE
SM
150

471 643

Division Structures de chaussées
Service des sols et chaussées
Ministère des Transports

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION



RECHERCHE D'UNE NOUVELLE APPROCHE DE DIMENSIONNEMENT

DES CHAUSSEES FLEXIBLES BASEE SUR LES MESURES DE DEFLEXION



par

Richard Gagner, stg.
Université de Sherbrooke

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

Aziz Amiri, Dr. ing.
Division Structures de chaussées

CANQ
TR
GE
SM
150

Québec, décembre 1987

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS

INTRODUCTION

I - OBJECTIFS

II - TRAVAUX SUR LE TERRAIN

- a) Localisation, caractéristiques
- b) Relevé Dynaflect
- c) Nucléodensimètre
- d) Relevé de nivellement
- e) Echantillonnage

III - PROPRIETES GEOTECHNIQUES

- a) Provenance des matériaux
- b) Résultats d'analyse en laboratoire

IV - ANALYSE DES RESULTATS

- a) Portance, DMD, SCI et bassins de déflexion
- b) Problématique
- c) Méthode d'investigation proposée

CONCLUSION

ANNEXE

AVANT-PROPOS

L'utilisation de méthodes rationnelles de dimensionnement des structures de chaussées est relativement récente aussi bien au Québec qu'à l'étranger.

La nécessité de disposer de schémas rationnels de calcul s'est imposée avec le développement de nouvelles politiques de renforcement devant remédier aux insuffisances structurelles du réseau routier, en utilisant des matériaux capables de supporter et de répartir efficacement les charges de trafic lourd.

Mentionnons que les modèles fondés sur la méthode des équivalences entre couches sont incapables de prendre en compte le mécanisme de fonctionnement de l'ensemble structural pour lequel les contraintes de flexion constituent en contrepartie le critère d'évaluation de l'efficacité dans la répartition des charges.

Ainsi, il est important de se doter d'un modèle de calcul basé sur des résultats comportant une certaine part d'empirisme et qui pourra représenter un outil indispensable pour la réalisation future de projets de reconstruction, de réhabilitation, d'élargissement et même de renforcement.

Cet ouvrage se veut donc, d'abord et avant tout, une étude résolument orientée vers la recherche d'une nouvelle approche de dimensionnement des chaussées fondée sur l'analyse empirique du comportement structural des différents matériaux formant un système multicouche, et la comparaison des valeurs calculées à des valeurs limites trouvées en laboratoire, lors d'essais sur les matériaux.

INTRODUCTION

La démarche générale du dimensionnement d'une structure en génie civil consiste à déterminer les contraintes ou déformations des matériaux et de les comparer à des contraintes ou déformations admissibles. Bien que le dimensionnement des chaussées ne soit pas très différent de cette approche, il présente de nombreuses particularités que nous essaierons d'exposer ici.

Il existe, dans la pratique, deux approches très différentes du dimensionnement des chaussées: celle qui relève de l'empirisme et celle qui relève de la théorie. L'approche empirique nous amène à observer le comportement sous trafic des chaussées réelles ou expérimentales et à établir les relations entre la durée de vie de celles-ci et les caractéristiques géométriques des structures (épaisseurs des couches) ainsi que les propriétés mécaniques des matériaux.

Cependant, pour connaître l'influence de ces paramètres, il faut un nombre considérable de sections expérimentales et le coût est très élevé. Enfin, les relations obtenues par cette voie d'analyse ne s'applique qu'aux matériaux étudiés, qu'aux conditions d'environnement de l'expérimentation, et qu'aux sols-supports rencontrés, d'où l'impossibilité de généraliser.

Malgré le développement, ces dernières années, de modèles mathématiques puissants reproduisant le fonctionnement mécanique de la structure de chaussée, il n'en demeure pas moins que la modélisation du comportement des matériaux de chaussée et du sol-support pose actuellement bien plus de problèmes, de même que celle des sollicitations mécaniques et des conditions d'environnement. De toute évidence, les méthodes que l'on qualifie de théoriques conservent une certaine part d'empirisme ou du moins nécessitent encore un ajustement par référence au comportement des chaussées réelles.

Quelle que soit la formule retenue, l'observation du comportement sous trafic de chaussées réelles construites conformément à une méthode donnée reste indispensable et c'est par un ensemble de conceptions variées (dimensionnement théorique) et d'observations in-situ, que l'on peut faire progresser les méthodes de dimensionnement.

I - OBJECTIFS

La structure de chaussée est un système multicouche servant à répartir de façon plus uniforme sur le sol naturel les charges concentriques de trafic. Ainsi, le comportement de cette structure est directement relié à la nature et aux propriétés physico-mécaniques du sol d'infrastructure, de même qu'aux conditions environnementales de l'ensemble structural (drainage, niveau de la nappe, climat, etc.). Pour dimensionner une chaussée, divers facteurs doivent être considérés tels que la catégorie de la route, sa vocation, son débit de trafic lourd, la topographie du terrain, la nature des sols en place, le niveau de la nappe, et finalement la disponibilité des matériaux.

Cette grande diversité de facteurs plus ou moins contrôlables et très variables d'un site à l'autre accroît les difficultés d'analyse et rend plus complexe la perception de l'apport structural même des composants formant le corps de la chaussée.

Cependant, en limitant l'effet de certains paramètres, soit en investiguant sur des sites faisant intervenir de façon négligeable ces facteurs, on peut arriver à établir une relation démontrant comment la performance d'une chaussée est avant tout influencée par le design structural et les conditions d'utilisation (trafic, % V.L.). Ainsi, il existe une étroite relation entre l'épaisseur, la nature et le degré de compaction des différentes couches de la structure et la capacité portante de celle-ci.

Ainsi, nous nous proposons d'établir une approche pertinente au développement de coefficients structuraux reliant directement le type de matériau à l'apport structural proprement dit. De plus, nous essaierons de développer certains concepts visant à définir la résistance structurale d'une couche qualifiée par son épaisseur, de même que la réaction structurale de celle-ci dans l'ensemble du corps de la chaussée en rapport avec sa position et le niveau de sollicitation qu'elle subit.

Mentionnons ici qu'une analyse permettant d'obtenir de pareils résultats est très complexe et nécessite d'étudier l'interaction de chaque matériau dans l'ensemble de la structure. La position du matériau sur le profil stratigraphique, la nature et l'épaisseur des couches sous-jacentes, le degré de compacité de chacune d'entre elles sont autant de paramètres qui interviennent dans l'étude d'une telle approche.

II - TRAVAUX SUR LE TERRAIN

a) Localisation, caractéristiques du site d'investigation

Le site d'investigation choisi est situé à proximité du boulevard Henri-IV, soit à l'est de celui-ci, et se retrouve aux limites de municipalité de Val-Bélair. La reconstruction partielle de l'avenue Industrielle s'est faite sur une longueur totale de 800 mètres et l'état de la construction au moment de débiter les travaux d'expérimentation nous incitèrent à délimiter deux secteurs d'investigation.

Le secteur A, d'une longueur approximative de 575 mètres, est le plus à l'ouest, tandis que le secteur B s'étend du chainage 0+000, situé aux abords de la rue Jasmin, jusqu'au chainage 0+220 à proximité de l'intersection rue Joly (cf. figure 1).

Les spécifications du devis technique précisent la stratigraphie théoriquement recherchée qui est conforme aux normes concernant la structure d'une artère routière principale, soit:

- 150 mm concassé calibre 20-0a
- 225 mm concassé calibre 56-0a
- 300 mm emprunt classe "A"

Cependant la stratigraphie générale observée fut la suivante:

- 175 mm concassé calibre 20-0a
- 230 mm concassé calibre 56-0a
- 180 mm emprunt classe "A"

A noter que cette structure repose sur un sol granulaire (classe unifiée "A"), constituant ainsi une infrastructure idéale (perméable, incompressible, non susceptible au gel, etc.) pour étudier le comportement même de la superstructure.

La circulation sur cette artère principale est assez importante et il fut nécessaire d'avoir recours à un revêtement du type D (norme 3.3.2.2, D-3304) comportant 110 kg/m² de MB-2 surmonté de 80 kg/m² de MB-5.

b) Relevé Dynaflect

Afin de connaître l'apport structural dans l'ensemble du corps de la chaussée que fournit chaque couche formant celui-ci, il fut nécessaire de suivre minutieusement l'avancement des travaux afin d'effectuer un relevé de portance sur chacune d'entre elles. Ces travaux furent réalisés seulement lorsque les exigences concernant la compacité du matériau étaient rencontrées.

Ainsi, nous avons choisi d'effectuer ces mesures à l'aide de l'appareil Dynaflect, permettant de mieux adapter les procédures d'essais aux différentes conditions en cours de réalisation du projet. Le Dynaflect offrait donc plus de facilités d'opération que la poutre Benkelman et rencontrait mieux les exigences de l'étude en raison de la possibilité que ce premier nous fournit en ce qui a trait à l'analyse des bassins de déflexion et le calcul de la portance qui en découle.

L'exécution des travaux de construction étant relativement avancée lors du début des essais, il nous fut impossible de faire un relevé de portance couvrant la longueur totale du projet sur les couches d'infrastructure et de sous-fondation.

Cependant, il semble, malgré le nombre peu important de lectures prises sur ces couches (secteur B), qu'il existe tout de même un bon parallélisme (bonne corrélation) par rapport aux courbes obtenues sur les couches supérieures (F.I. et F.S.).

Etant donné la nature granulaire et le manque de cohésion du matériau formant les couches d'infrastructure et de sous-fondation, on dû faire circuler le véhicule sur des planches de bois (augmentant ainsi la surface de contact) afin d'éviter qu'il ne s'enlise. De la même manière, la mise en station de l'appareil (descente des roues d'acier) nécessita que l'on place une plaque sous les roues évitant ainsi qu'elles ne se creusent des sillons et qu'elles décompactent la zone d'application de la charge dynamique. Cette façon de faire s'avéra très efficace et donna des résultats plus que satisfaisants.

Les figures 2,3 et 4 illustrent les résultats obtenus des essais effectués sur les couches granulaires de la superstructure soient la sous-fondation, la fondation inférieure et la fondation supérieure. La fréquence des essais sur le secteur B était de 10 mètres alors que celle sur le secteur A était de 25 mètres.

c) Nucléodensimètre

La vérification de la compacité du matériau posé fut faite préalablement avant d'effectuer le relevé Dynaflect. Nous avons utilisé un nucléodensimètre du type MC-3 et les lectures furent prises pour la plupart à une profondeur de 4 pouces sur chaque couche.

La masse volumique humide, la masse volumique sèche et la teneur en eau du matériau en place furent déterminées ainsi tandis que le degré de compacité fut calculé en rapport avec la masse volumique sèche maximum "Proctor Modifié" déterminée en laboratoire par le Service de l'assurance qualité.

L'essai Proctor fut réalisé sur des échantillons provenant du banc d'approvisionnement situé à proximité du chantier. Les valeurs de référence au calcul du degré de compaction pour les différents matériaux employés sont les suivantes:

- infra (sable uniforme) ---> 1775 kg/m³
- sous-fondation ---> 1775 kg/m³
(emprunt classe "A")
- fondation inférieure ---> 2250 kg/m³
(gravier concassé 56-0)
- fondation supérieure ---> 2082 kg/m³
(gravier concassé 20-0)

A noter que des degrés de compaction supérieurs à 100 % indiquent que le matériau en place n'est pas tout à fait de même qualité ou de provenance que l'échantillon ayant servi à déterminer la valeur Proctor en laboratoire.

d) Relevé de nivellement

De manière à connaître de façon précise l'épaisseur réelle des couches qui ont été mises en place, nous avons effectué un relevé de nivellement comportant pas moins de 50 lectures par couche couvrant ainsi la longueur totale du projet.

e) Echantillonnage

Nous avons également prélevé une vingtaine d'échantillons sur l'ensemble de la réalisation du projet de façon à pouvoir déterminer la granulométrie et refaire un essai Proctor afin d'ajuster nos données relatives au degré de compaction.

Nous prévoyons également réaliser quelques essais CBR sur des échantillons représentatifs afin de déterminer une possible relation entre la portance obtenue in-situ, le degré de compaction, l'épaisseur de la couche et la valeur CBR en laboratoire. A noter que les échantillons prélevés ont été acheminés et que les résultats devront sous peu nous être communiqués.

III - PROPRIETES GEOTECHNIQUES

a) Provenance des matériaux

Les matériaux utilisés dans l'exécution des travaux proviennent tous des environs de Val-Belair.

Tout d'abord, les matériaux qui ont servi d'enrobage et de coussin pluvial étaient puisés à même les matériaux d'excavation étant donné la nature granulaire du terrain naturel (classé SP). Le sable de sous-fondation et le gravier concassé de fondation inférieure proviennent tous deux de Val-Bélair, soient du banc Faucher et du banc 020,019 respectivement. Le gravier concassé utilisé dans la fondation supérieure provient quant à lui de Loretteville, soit du banc Bédard-Québec.

b) Résultats d'analyse en laboratoire

Les documents qui nous ont été communiqués par le Service de l'assurance qualité contenaient des résultats concernant la granulométrie, l'essai Proctor, de même que la masse volumique et la teneur en eau obtenues en chantier.

Les analyses granulométriques de chaque matériau sont conformes aux exigences spécifiées par le cahier des Charges et Devis et les résultats des essais in-situ concernant la compaction de chaque couche coïncident étroitement à nos résultats (valeurs prises avant le relevé Dynaflect).

IV - ANALYSE DES RESULTATS

A) Portance, DMD et SCI

Les tableaux 1,2 et 3 présentent les valeurs compilées des résultats obtenus et illustrés aux figures présentées précédemment. On y retrouve la stratigraphie générale observée avec les différentes épaisseurs de couches ainsi que la capacité portant moyenne calculée à l'aide des données de déflexion Dynaflect.

Pour les fins d'observation, nous concentrerons ici notre analyse sur les résultats du secteur B (direction est). A remarquer que d'une capacité portante de 8,40 tonnes sur l'infrastructure granulaire, on passe à une valeur de portance un peu plus faible sur la sous-fondation, soit 7,97 tonnes. Ceci s'explique par le fait qu'il s'agit dans les 2 cas d'une couche constituée du même matériau mais densifié de façon moins importante dans la sous-fondation. Ainsi, lors des essais de déflectométrie, l'appareil ne détecta aucun changement du milieu par lequel les ondes de propagation de la charge voyagèrent et les résultats s'exprimèrent seulement en fonction du degré de compaction.

De la même façon, on peut constater qu'une épaisseur de 230 mm de gravier concassé de calibre 56-0 reposant sur un sable de classe "A" apporte un gain de portance de 1,15 tonnes.

Toujours en analysant dans son ensemble la structure de la chaussée, on peut voir que 175 mm de gravier concassé calibre 20-0 densifié selon les normes et reposant sur une fondation inférieure d'épaisseur donnée et une couche importante de sable uniforme apporte un gain de portance de 1,08 tonnes.

Une analyse très sommaire de tout ceci nous amènerait à porter quelques observations de cette nature:

- Un gravier concassé calibre 56-0 superposé sur un sable d'emprunt classe "A" aurait une équivalence exprimée en tonne par pouce de:

$$(1.15+1.22)/2 /230 \text{ mm} = 0.00515 \text{ t/mm}$$
$$= 0.131 \text{ t/po.}$$

- Un gravier concassé calibre 20-0 superposé sur une fondation inférieure constituée de gravier 56-0 reposant sur un sol granulaire aurait une équivalence exprimée en tonne par pouce de:

$$(1.08+0.74+1.20)/3/175\text{mm} = 0.00575 \text{ t/mm}$$
$$= 0.146 \text{ t/po.}$$

- Un béton bitumineux composé d'une couche de base MB-2 (110 kg/m²) et d'une couche de surface MB-5 (80 kg/m²) représentant environ 3,2 pouces d'épaisseur de revêtement reposant sur la structure décrite précédemment aurait une équivalence structurale en tonne par pouce de:

$$(0.71+0.70)/2 /3,2 \text{ pouces} = 0.220 \text{ t/po.}$$

Ces résultats expriment bien l'importance que prend la position du matériau dans la structure de chaussée, les matériaux de meilleure qualité étant, vu les efforts plus grands près de la surface, placés dans les couches supérieures.

Par ailleurs, on peut remarquer que les paramètres de portance (déflexion maximale DMD, indice de courbure SCI) subissent également une diminution successive, et ce à mesure qu'on se rapproche de la surface de roulement (design final). Ainsi, le renforcement de la chaussée par pose de couches successivement plus résistantes peut être observé.

Il serait intéressant de noter que la différence notable de portance entre les deux directions du secteur B peut être expliquée par le fait que la circulation était plus dense en direction ouest et qu'en conséquence la compaction de cette voie était accrue. De plus, la fondation inférieure du secteur A ayant été exposée longuement au passage du trafic avant de compléter sa structure, il est alors permis de croire que ceci représente la raison d'une meilleure capacité portante.

- Bassin de déflexion

Une observation attentive de la figure 5 démontre bien l'évolution que subit l'aire de répartition des charges dans la chaussée. On remarque que plus la couche se situe près de la surface (design final) plus elle provoque une meilleure distribution des charges, l'indice d'étalement étant plus élevé (cf. tableaux I et II), et un renforcement des couches supérieures, la déformation du sol à proximité de l'axe de chargement étant moins prononcée (l'indice de courbure diminuant).

Proportionnellement parlant, on remarque qu'en tout point du bassin de déflexion, l'influence de la couche immédiate demeure pratiquement constante.

b) Problématique

L'aboutissement d'un design final structural comporte un certain nombre de particularités fondamentales, qui sont autant de difficultés, sur lesquelles nous voudrions insister maintenant.

La première particularité tient à la définition de l'objectif que l'on fixe à la chaussée que l'on veut calculer; cette définition est nécessaire pour déterminer les contraintes admissibles dans les matériaux. On pourrait, par exemple, fixer la durée de vie à atteindre d'une chaussée.

Par ailleurs, les propriétés des sols-supports et des matériaux de chaussée, de même que l'épaisseur des diverses couches sur une section donnée, sont dispersées et leurs comportements dans le temps sont difficilement prévisibles. De plus, il faut tenir en considérations la qualité des travaux et le contrôle de cette qualité. On ne peut dimensionner une chaussée que si la qualité des travaux peut être assurée; si la qualité prévue n'est pas obtenue, le dimensionnement n'est pas valable.

Une autre particularité est l'importance essentielle dans le dimensionnement, des paramètres d'environnement extérieurs de la chaussée. Ces conditions d'environnement varient constamment au cours de la durée de vie d'une chaussée, et d'une façon souvent aléatoire.

Finalement, on doit négocier avec le problème difficile de prévision du trafic lourd et de sa croissance au cours des années de vie de la chaussée ainsi que sa répartition entre les différentes charges par essieu.

Malgré toutes ces considérations, le calcul proprement dit de la structure demeure l'étape la plus complexe. Les variations des tenseurs des contraintes aux différents niveaux d'une structure multicouche, résultant du passage en surface d'une charge roulante, sont d'une grande complexité. Des simplifications et des approximations sont nécessaires. La modélisation des conditions aux limites est particulièrement difficile, surtout pour les limites entre couches successives (que sont dans la réalité les conditions de transmission des contraintes et de déformations de part et d'autre de ces interfaces).

Mais c'est surtout pour la modélisation du comportement des matériaux de chaussées que des approximations sont nécessaires. Les caractéristiques limites des matériaux de chaussées sont presque toujours déterminées par des essais en laboratoire, qui ne peuvent reproduire que de façon très approchée les sollicitations réelles dans une chaussée car les contraintes limites dépendent de la géométrie de la pièce et du mode d'application des charges.

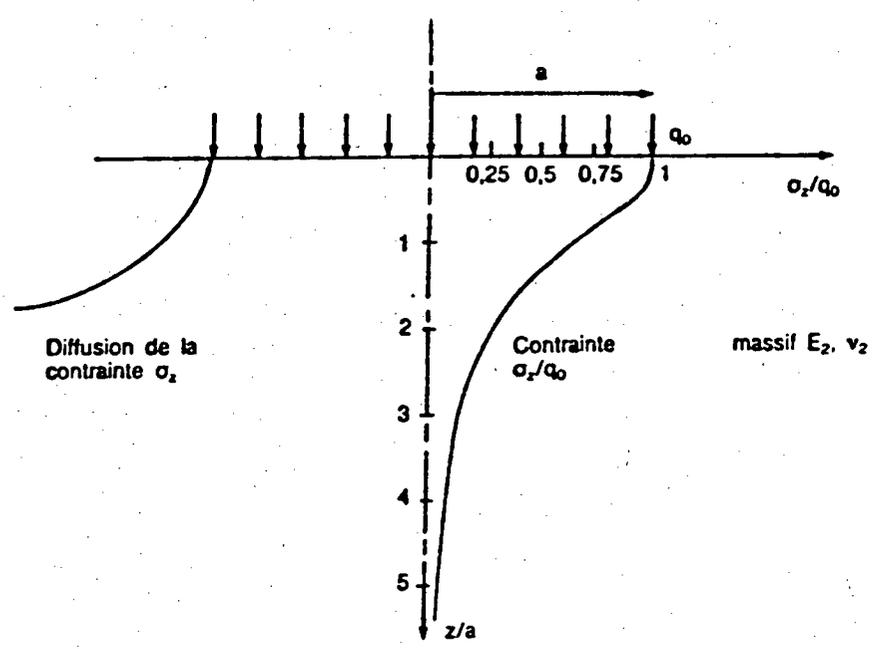
Le domaine de la mécanique des chaussées est limité à deux ambitions: comprendre le fonctionnement des divers types de structures de chaussées et définir des règles de dimensionnement. Comme pour les autres structures de génie civil, le dimensionnement consiste tout d'abord à évaluer le niveau de sollicitation de la structure. Celui-ci est évalué à l'aide de modèle; la suite des équations du modèle prétend représenter d'une façon suffisamment réaliste les interactions entre les divers paramètres qui gouvernent le fonctionnement de la structure.

Au début du présent siècle, plusieurs modèles ont été développés (systèmes bicouches et multicouches), mais nous nous contenterons ici de présenter celui qui fut à l'origine de toutes les théories avancées: le modèle de Boussinesq (1885).

La pression q_0 exercée par le pneumatique ne peut généralement pas être supportée par le sol naturel. Le rôle de la chaussée est de répartir cette pression pour l'amener à un niveau compatible avec ce qui peut être supporté par le sol-support. Si le corps de la chaussée n'est pas trop différent du terrain naturel (corps granulaire par exemple), on peut raisonnablement supposer que la pression se répartit à travers le corps de la chaussée de la même manière que dans un sol. Il s'agit dès lors de déterminer quelle épaisseur de chaussée H est nécessaire pour que la pression verticale exercée soit suffisamment diffusée pour ne pas dépasser la contrainte admissible sur le sol naturel. Encore faut-il pour réaliser ce dimensionnement, savoir précisément comment s'effectue la diffusion des pressions verticales, à l'intérieur du massif. Ce problème a été résolu par Boussinesq à la fin du siècle dernier.

La contrainte verticale σ_z est maximum à la surface de chargement. A la profondeur z , elle prend la valeur:

$$\sigma_z = q_0 \left[1 - \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \right] = q_0 \left[1 - \frac{(z/a)^3}{(1 + z^2/a^2)^{3/2}} \right].$$



Remarques:

- α_z est proportionnel à q_0 et indépendant du module E_z du massif.
- L'épaisseur H de la chaussée est proportionnelle au rayon du cercle de charge.
- Le module E_1 du corps granulaire de la chaussée étant supérieur au module E_2 du sol-support, l'épaisseur H' qu'il conviendrait de donner à la chaussée est:

$$H' = H \times f\left(\frac{E_1}{E_2}\right) \text{ où } f\left(\frac{E_1}{E_2}\right) \leq 1.$$

La détermination de la fonction f suppose que l'on dispose de modèles bicouches (modèles dits de Burmister par exemple).

Bien entendu, cette approche théorique est simpliste et fait appel à plusieurs hypothèses concernant le milieu stratifié que représente une structure de route:

- chaque couche est constituée de matériau homogène et isotrope.
- les couches supérieures sont limitées en profondeur mais non dans la direction horizontale.
- la couche la plus basse est infinie dans le sens horizontale et vers le bas.
- il y a adhérence parfaite entre les couches.
- ne s'applique qu'aux cas de sollicitation statique et ponctuelle.

c) Méthode d'investigation proposée

Comme nous l'avons mentionné antérieurement, l'analyse du comportement sous trafic de la structure de chaussée et de ses composantes nécessite un nombre considérable de sections expérimentales et une planification rigoureuse.

Compte tenu de ces considérations, il conviendrait de déterminer préalablement les différents types de chaussée et de sol-support à investiguer prioritairement. Entre autres, il y a lieu de croire que l'évolution de la portance des couches successivement posées de la structure, ne se comportera pas de la même façon dépendamment de la nature de l'infrastructure. De fait, le comportement des discontinuités apparaît ici très important. L'interface formée entre deux couches de nature distinctes, par exemple un sol de support argileux et une sous-fondation sableuse, transmettra la charge d'une manière tout à fait inconnue jusqu'à présent. De toute évidence, l'interaction entre deux couches différentes est gouvernée par l'épaisseur, la nature et la compacité du matériau sollicité directement.

Afin d'étudier efficacement les multiples combinaisons envisageables, la réalisation de planches d'essai expérimentales est essentielle. En plus de faire varier la nature du sol de support, on étudiera l'influence sur l'ensemble de la structure, de la variation des épaisseurs des couches granulaires de chaussée ainsi que leur position sur le profil stratigraphique. Mentionnons à ce sujet qu'une étude orientée sur le comportement en milieu homogène et infini (idéalisé par exemple par la structure d'un remblai de viaduc) pourrait s'avérer fort intéressante. L'agencement structural, de par les nombreuses combinaisons possibles que l'on retrouve dans les chaussées réelles, devra être étudié même s'il ne respecte pas la notion voulant que les matériaux de meilleure qualité soient placés dans les couches supérieures (ex: sandwich).

Enfin, les résultats recueillis permettront pour la réalisation future de projets de reconstruction et d'élargissement, de savoir de façon concrète si la structure nouvelle proposée rencontre ou non les exigences spécifiées, de relier les anomalies rencontrés lors de l'évaluation des chaussées à des éléments caractéristiques bien précis et même de connaître si une déficience qualitative des matériaux en cause devra être comblé par une augmentation de l'épaisseur de la couche ou encore par un renforcement fait avec un matériau de meilleure qualité.

Il importe toutefois de souligner que la validité d'essais de déflectométrie Dynaflect sur des matériaux granulaires reste à démontrer et que seul la comparaison des valeurs obtenus in-situ à des valeurs trouvées en laboratoire (CBR par exemple) pourra établir si cette approche empirique est satisfaisante.

CONCLUSION

De toute ces considérations, nous sommes d'avis que la création d'un comité, visant à élaborer une stratégie d'étude et à assurer la planification des travaux, s'impose.

Les problèmes reliés à la difficulté de réaliser un suivi constant de l'exécution des travaux de construction, nous amène à considérer l'indispensable collaboration qui devra exister entre la Direction des opérations et les responsables immédiats de l'étude. De plus, les membres du comité devront veiller à ce que les projets sélectionnés soient situés dans la région administrative de Québec afin de permettre le suivi adéquat et devront s'assurer que les travaux de recherches prévus puissent être insérés aisément dans les projets possiblement en cours.

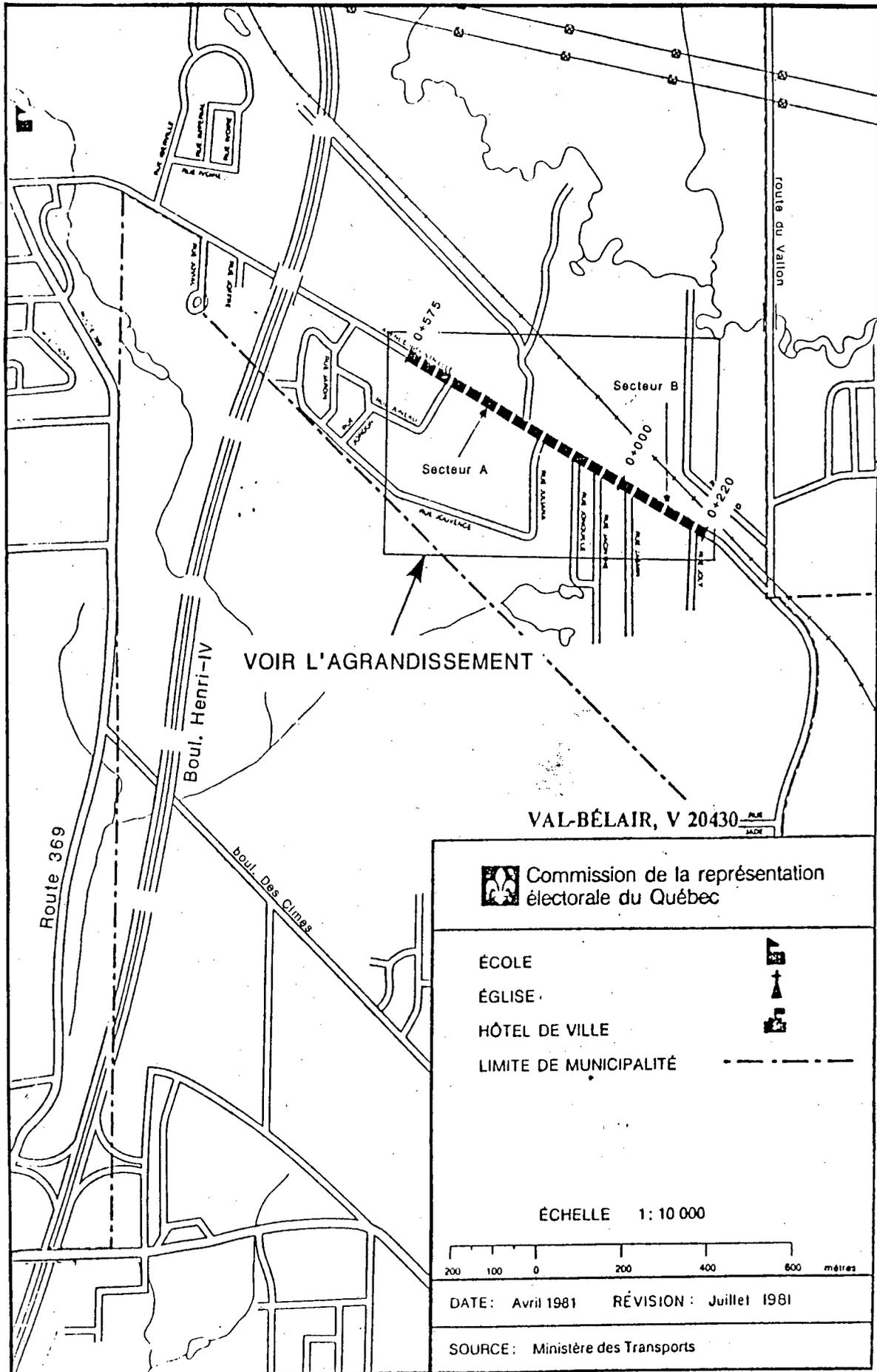
A cet égard, si la formation d'un tel comité et si la faisabilité d'une telle étude s'avèrent possibles, il est certain que l'ouvrage que représentera ces recherches deviendra un outil de référence essentiel à la vérification des valeurs limites d'épaisseurs des couches de fondation et de sous-fondation proposées actuellement.

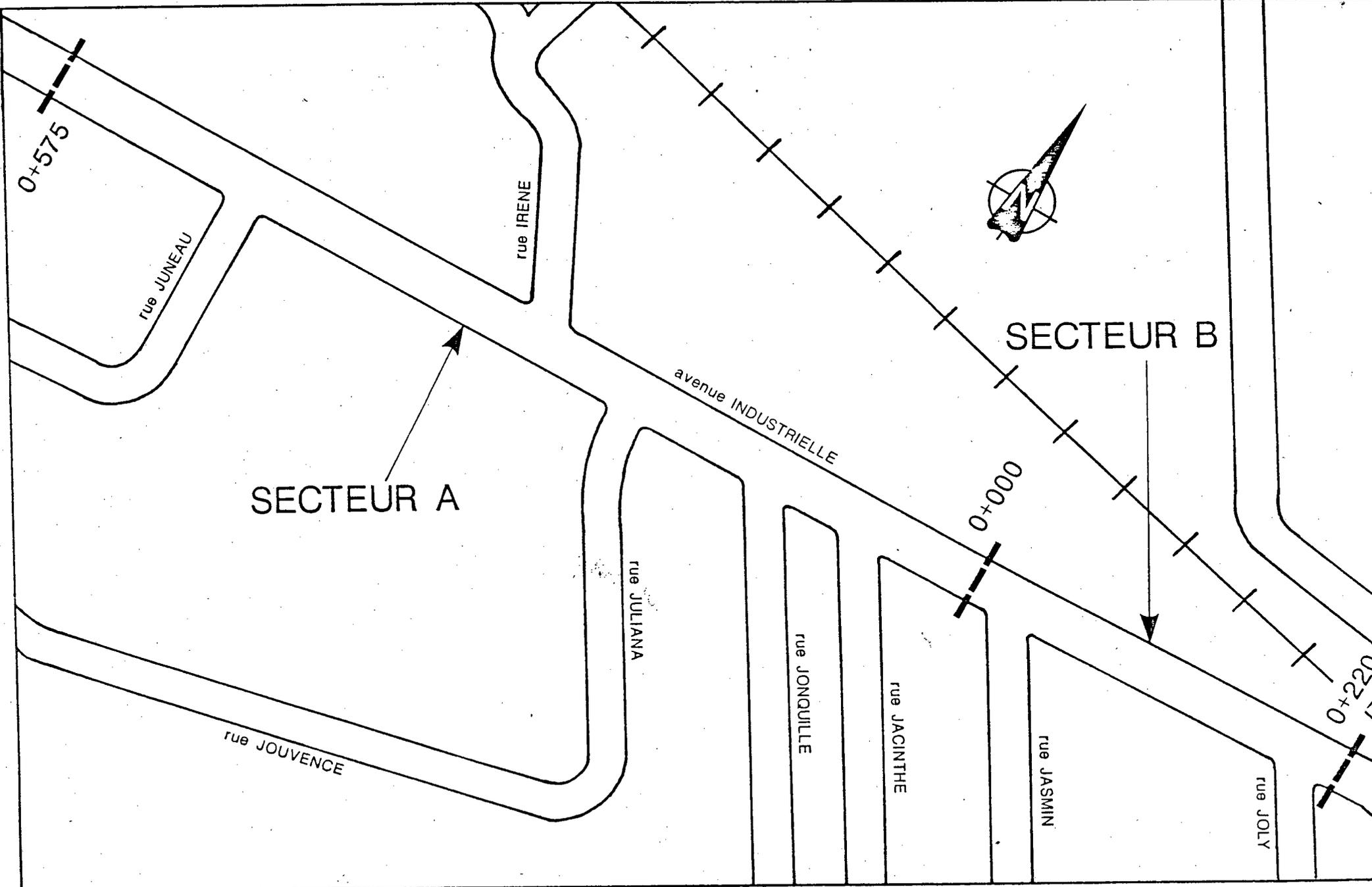
Quoi qu'il en soit, il apparaît inévitable que les concepts avancés dans ce document (équivalence structurale, résistance structurale et réaction structurale) devront un jour ou l'autre être développés si l'on veut en arriver à dimensionner de façon rationnelle les routes du Québec.

Nous n'affirmons pas que les propositions et les démarches soutenues dans cet ouvrage puissent être la seule orientation possible afin d'en arriver à de tels résultats, mais elles semblent être, d'après nous, une excellente approche compte tenu des moyens dont nous disposons.

ANNEXE

FIGURE 1 - Plan de localisation





0+575

rue JUNEAU

rue IRENE

SECTEUR A

avenue INDUSTRIELLE

rue JULIANA

rue JONQUILLE

rue JACINTHE

rue JASMIN

rue JOUVENCE

SECTEUR B



0+000

0+220

rue JOLY

FIGURE 2 - Graphique de portance (secteur B)

EVALUATION DE LA CAPACITE DE SUPPORT (DYNAFLECT)

RTE.-TR.-SEC., <u>AVENUE INDUSTRIELLE</u>		DIRECTION <u>EST</u>		DIRECTION <u>OUEST</u>	
MUNICIPALITE, <u>VAL-BELAIR</u>		$\bar{X} =$ _____		$\bar{X} =$ _____	
COMTE, <u>CHAUVEAU</u>		$S =$ _____		$S =$ _____	
DOSSIER, <u>PROJ. EXP. (VAL BEL-AIR) ICHIER, INDSECTB. 87B</u>		$\bar{X} =$ PORTANCE MOYENNE		$S =$ ECART TYPE	
SURFACE DE ROULEMENT, _____					
LONGUEUR KM(S), <u>210 metres</u> FREQUENCE DES ESSAIS, <u>10 metres</u>					
CHEF D'EQUIPE, <u>JEAN BOILY</u> DATE DES ESSAIS, <u>1987-10-06</u>					

POINTS DE REPERE

F.S. ————— 10.20 tonnes
 F.I. ————— 9.12 tonnes
 S-F. ————— 7.97 tonnes

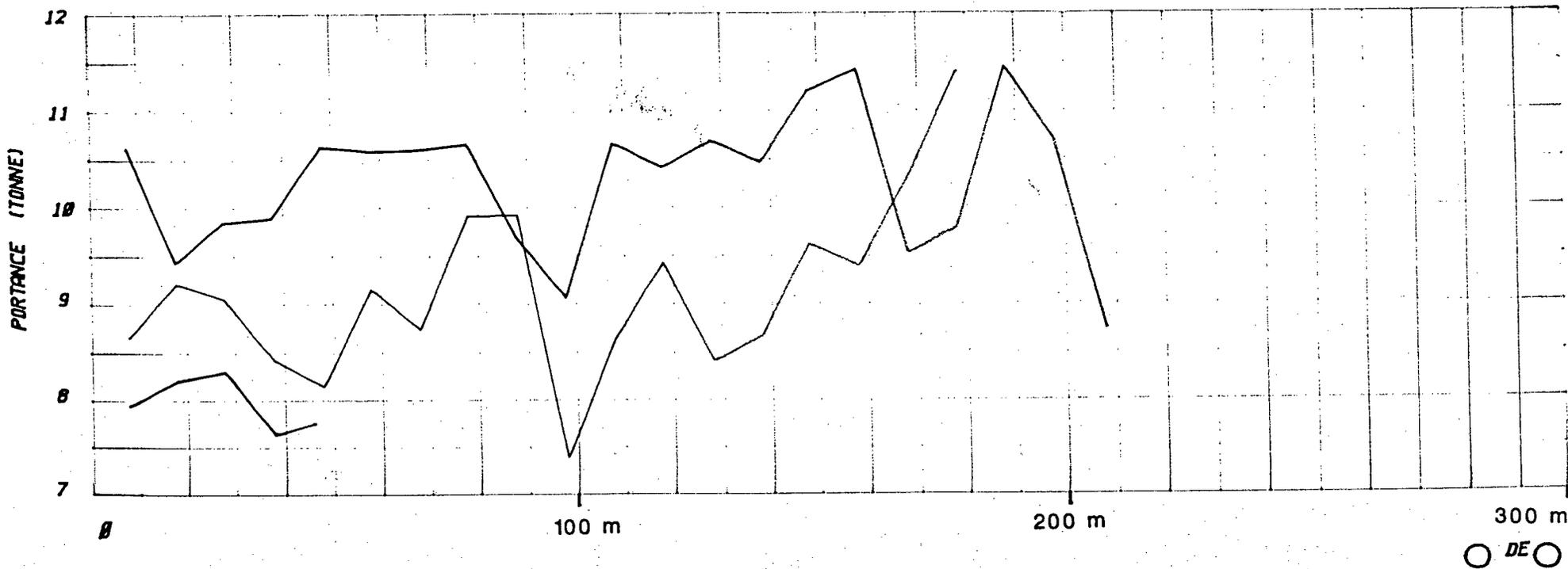


FIGURE 3 - Graphique de portance (secteur B)

EVALUATION DE LA CAPACITE DE SUPPORT (DYNAFLECT)

RTE.-TR.-SEC. : AVENUE INDUSTRIELLE
 MUNICIPALITE : VAL-BELAIR
 COMTE : CHALVERAY
 DOSSIER : PROJ. EXP. (VAL BEL-AIR) ICHIER : INDSECTB. 87B
 SURFACE DE ROULEMENT : _____
 LONGUEUR KM(S) : 210 metres FREQUENCE DES ESSAIS : 10 metres
 CHEF D'EQUIPE : JEAN BOILY DATE DES ESSAIS : 1987-10-06

DIRECTION EST DIRECTION OUEST
 \bar{X} = _____ \bar{X} = _____
 S = _____ S = _____
 \bar{X} = PORTANCE MOYENNE S = ECART TYPE

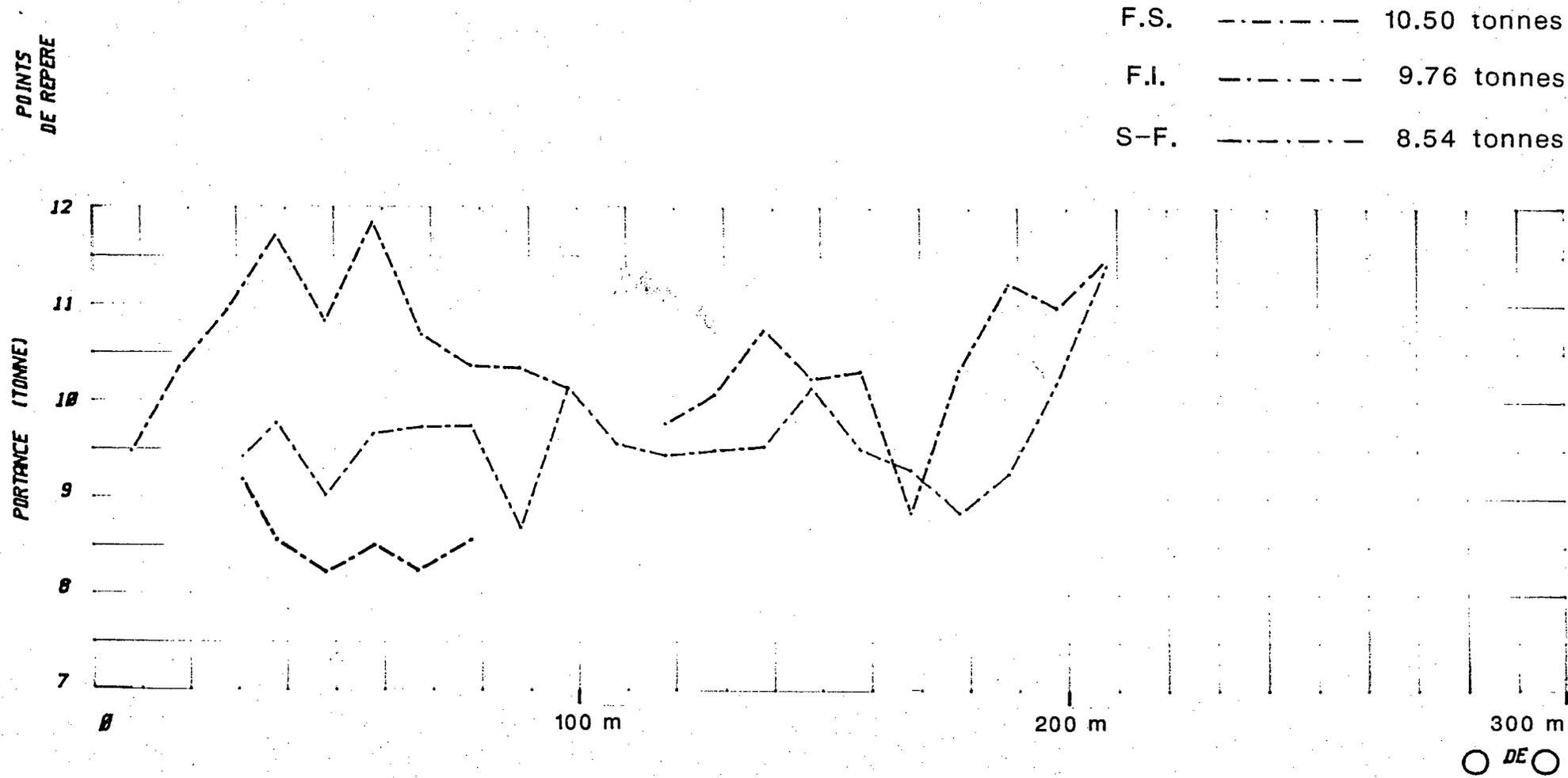


FIGURE 4 - Graphique de portance (secteur A)

EVALUATION DE LA CAPACITE DE SUPPORT (DYNAFLECT)

RTE.-TR.-SEC. : <u>AVENUE D'AVRIL</u>		DIRECTION <u>EST</u>		DIRECTION <u>OUEST</u>	
MUNICIPALITE : <u>VAL-BELAIR</u>		\bar{X} = _____		\bar{X} = _____	
COMTE : <u>CHAUVERU</u>		S = _____		S = _____	
DOSSIER : <u>PROJ. EXP. VAL-BELAIR</u>		\bar{X} = PORTANCE MOYENNE		S = ECART TYPE	
SURFACE DE ROULEMENT : _____					
LONGUEUR KM(S) : <u>525 mètres</u>		FREQUENCE DES ESSAIS : <u>25 mètres</u>			
CHEF D'EQUIPE : <u>JEAN BOILY</u>		DATE DES ESSAIS : <u>1987-08-30</u>			

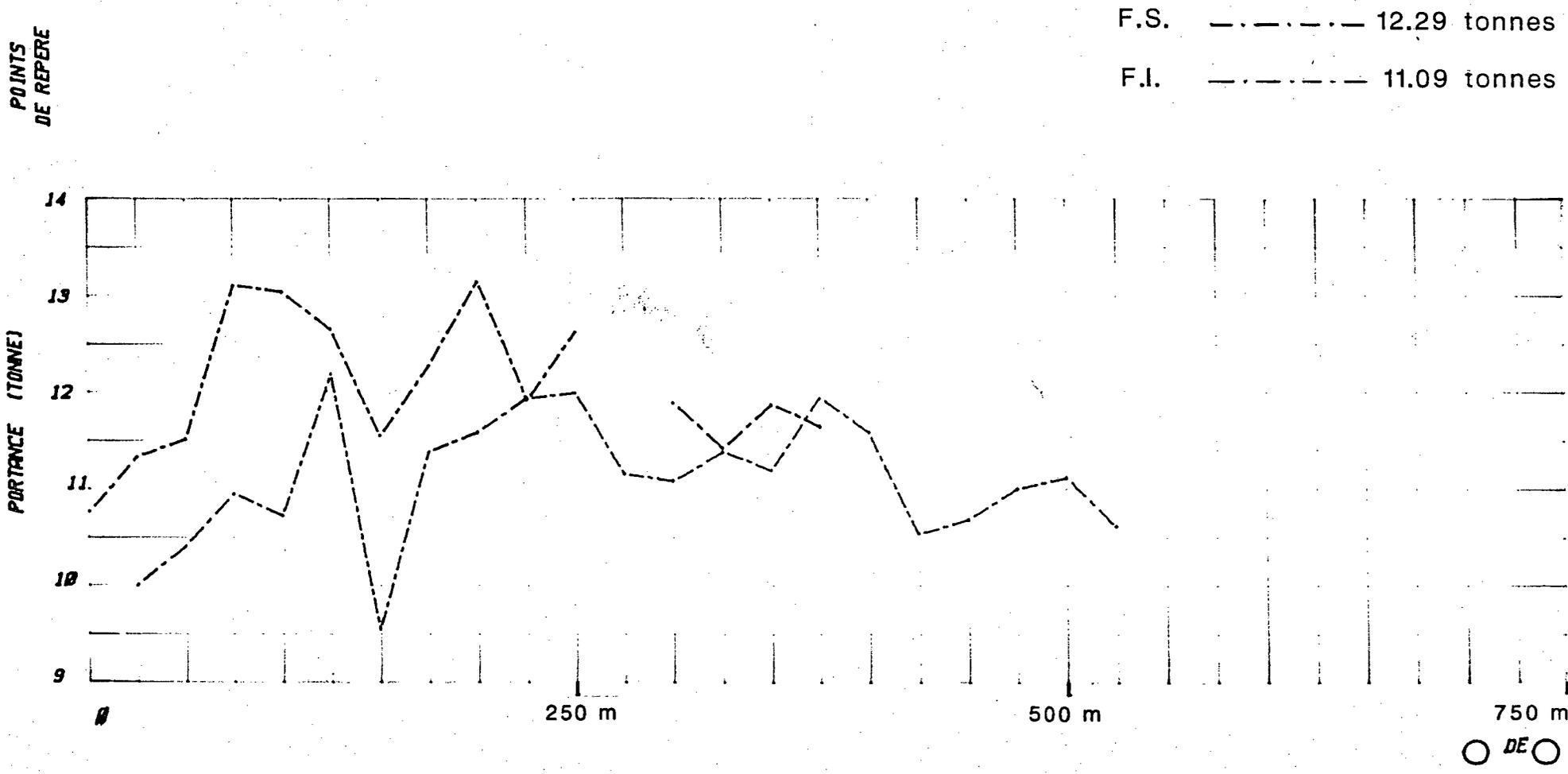


TABLEAU I - Résultats d'analyse des mesures de déflexion Dynaflect et de la compacité

Route: Avenue INDUSTRIELLE

Dossier No: PROJ.EXP(VAL-BELAIR)

Secteur: B

Direction: EST

Stratigraphie Générale	Capacité portante				Eléments de portance			Evolution		Compaction		Propriétés Géotechniques (w%, classe, etc.)
	MOY	MIN	MAX	σ	DMD	SCI	SI	Δ_{CP}	CP _{tot}	%	Densité	
0.175 BB F.S. 0.585	10.91	9.60	12.20	0.71	31	11	49	0.71	10.91	?	2172	MB2 + MB5, w% = 3.71%
0.230 F.I. 0.410	10.20	8.70	11.40	0.73	32	13	49	1.08	10.20	95.7	1993	Gravier concassé (0-3/4) w% = 2.61%
0.180 S-F 0.180	9.12	7.40	11.40	0.91	40	16	46	1.15	9.12	94.4	2124	Gravier concassé (0-2 1/2) GW w% = 2.73%
0.000 Intra 0.000	7.97	7.60	8.30	0.28	50	19	46	(0.43)	7.97	96.0	1704	Granulaire SP-SM w% = 3.05%
	8.40	7.10	10.20	0.92	47	18	48	----	8.40	99.2	1760	Granulaire SP-SM w% = 3.75%

Remarques:

Densité ----» masse volumique sèche DD
w% (teneur en eau obtenue à l'aide du nucléodensimètre)

MB2 --» 110 Kg/m² Structure type 'D'

MB5 --» 80 Kg/m²

TABLEAU II - Résultats d'analyse des mesures de déflexion Dynaflect et de la compacité

Route: Avenue INDUSTRIELLE

Dossier No: PROJ.EXP(VAL-BELAIR)

Secteur: B

Direction: OUEST

Stratigraphie Générale	Capacité portante				Eléments de portance			Evolution		Compaction		Propriétés Géotechniques (w%, classe, etc.)
	MOY	MIN	MAX	σ	DMD	SCI	SI	ΔCP	CP _{tot}	%	Densité	
0.175 BB 0.585	11.20	10.20	12.00	0.52	29	11	49	0.70	11.20			MB2 + MB5 w% = ?
0.230 F.B. 0.410	10.50	8.80	11.50	0.73	30	13	49	0.74	10.50	101.3	2109	Gravier concassé (0-3/4) w% = 2.60%
0.180 F.I. 0.180	9.76	8.80	12.70	0.90	37	14	48	1.22	9.76	95.6	2150	Gravier concassé (0-2 1/2) w% = 3.08%
0.000 S-F 0.000	8.54	8.20	9.20	0.35	44	17	46	(0.17)	8.54	99.8	1773	Granulaire SP-SM w% = 3.10%
Intra	8.71	7.40	9.70	0.91	44	17	47	----	8.71	102.8	1825	Granulaire SP-SM w% = 5.54%

Remarques:

MB2 --» 110 Kg/m²
 MB5 --» 80 Kg/m² Structure type 'D'

TABLEAU III - Résultats d'analyse des mesures de déflexion Dynaflect et de la compacité

Route: Avenue INDUSTRIELLE

Dossier No: PROJ.EXP(VAL-BELAIR)

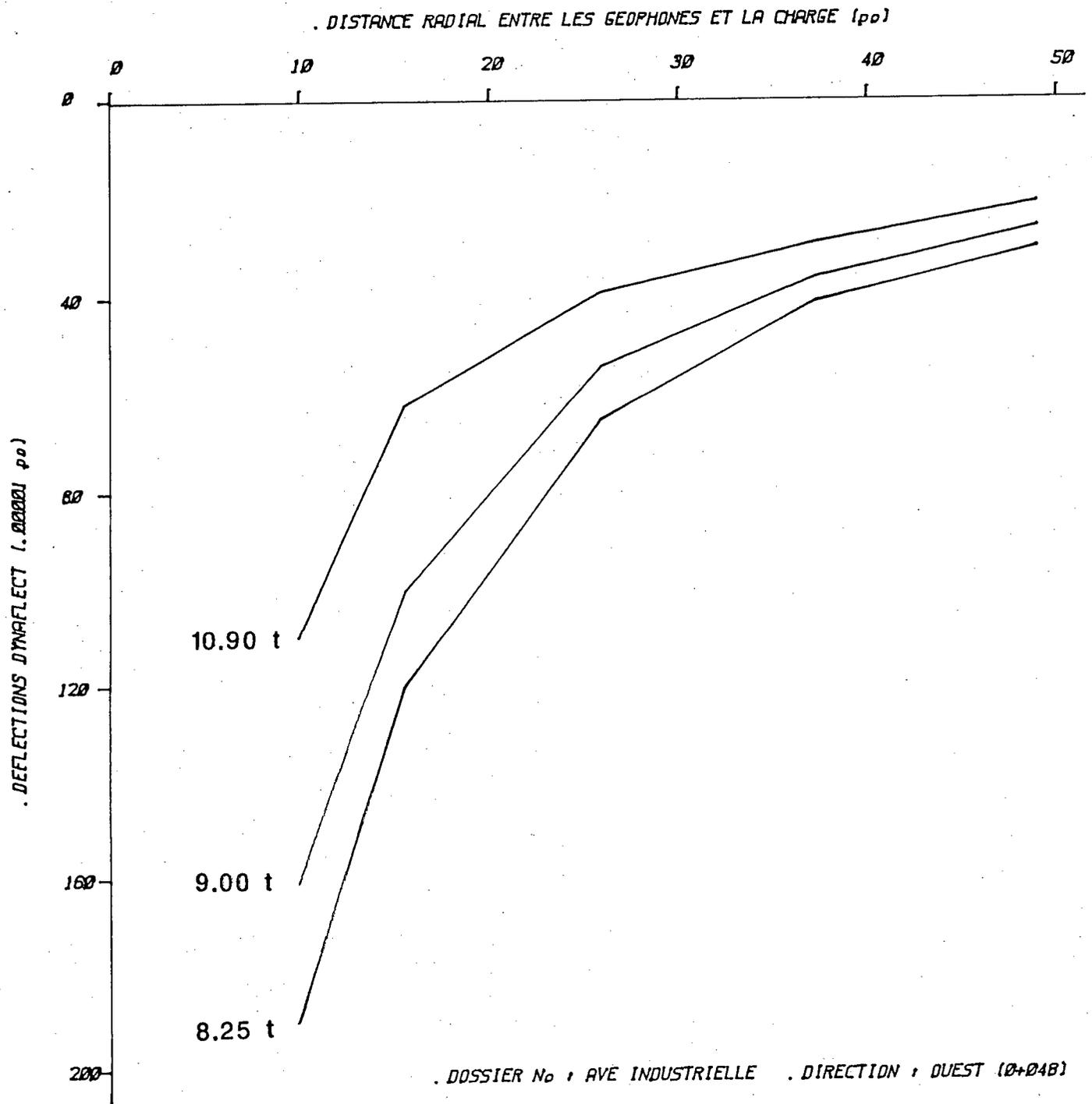
Secteur: A

Direction: OUEST

Stratigraphie Générale	Capacité portante				Eléments de portance			Evolution		Compaction		Propriétés Géotechniques (w%, classe, etc.)
	MOY	MIN	MAX	σ	DMD	SCI	SI	ΔCP	CP _{tot}	%	Densité	
BB 0.175 - 0.585	12.30	11.30	14.60	0.91	26	9	55	1.20	12.29	101.2	2107	Gravier concassé (0-3/4) w% = 3.97%
F.B. 0.230 - 0.410	11.09	9.50	12.20	0.68	32	10	53	----	11.09	98.4	2213	Gravier concassé (0-2 1/2) w% = 3.01%
F.I. 0.180 - 0.180	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	Granulaire SP-SM
B-F 0.000 - 0.000	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	Granulaire SP-SM
Infra	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	Granulaire SP-SM

Remarques:

FIGURE 5 - Bassins de déflexion des différentes couches granulaires



Fondation supérieure _____

Fondation inférieure _____

Sous-fondation _____

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 102 231