

CONCEPTION D'UN ESSAI :
CARACTÉRISATION DE LA VISCOSITÉ
DES MÉLANGES BITUMINEUX

Rapport présenté au
Laboratoire central
Ministère des transport
A/s Pierre Langlois ing.
Chef section expertise

Serge Larouche

Serge Larouche, stag.génie civil

Ministère des Transports
Centre de documentation
330, Chemin Ste-Foy
3e étage
Québec (Québec)
G1S 4X9

Ministère des Transports
Laboratoire Central
Division Sols et Granulats
Section expertise en mélange bitumineux
2700 Rue Einstein, Ste-foy, Québec

PROJET NO. 926 320

REÇU
CENTRE DE DOCUMENTATION
13 JUIN 2003
TRANSPORTS QUÉBEC

CANQ
TR
GE
SM
177
AOUT 1989

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier sincèrement Messieurs Pierre Langlois, qui m'a donné la chance de faire une telle étude tout en m'aidant à m'orienter.

Ma reconnaissance va également à Messieurs Jean-Claude Moreux, pour tout son support technique, Serge Charron, Jacques Samson, Pierre Pagé, Denis Proteau, Francis Brisson et Robert Maguire pour leurs conseils et leurs supports moral.

J'exprime enfin ma gratitude à Messieurs Paul-yvon Huot et Jean-Marie Langlois pour la construction de l'appareillage, ainsi qu'à Eddy Simard pour sa patience et son équipement.

CANQ
TR
GE
SM
177

TABLE DES MATIERES

	pages
INTRODUCTION	1
CONCEPTION DE L'APPAREIL	2
CONCEPTION DES ESSAIS	4
a) essai à charge constante.....	4
b) essai de tension indirecte.....	9
c) mode d'acquisition.....	14
ETUDES	15
a) première étude: différents types de bitumes .	15
b) deuxième étude: différents mélanges (validité de l'appareil)	18
CONCLUSION	29
ANNEXE A CONSTANTS FOR EQUATIONS FOR CALCULATING TENSILE PROPERTIES FROM BRAZIL TESTS	31
ANNEXE B LISTING PROGRAMME D'ACQUISITION ESSAI A CHARGE CONSTANTE	33
ANNEXE C LISTING PROGRAMME D'ACQUISITION ESSAI DE TENSION INDIRECTE	39
ANNEXE D COMPOSITION MELANGE MB-16	47
BIBLIOGRAPHIE	50
TABLEAU I RESULTATS PREMIERE ÉTUDE, DIFFÉRENTS TYPES DE BITUMES, COEFFICIENT DE VISCOSITÉ	20
TABLEAU II RESULTATS DEUXIEME ÉTUDE, DIFFÉRENTS MÉLANGES, COEFFICIENT DE VISCISITE (GPa * s)	20
TABLEAU III RESULTATS DE L'ESSAI DE TENSION INDIRECTE	23

LISTES DES FIGURES

		pages
FIG.1	Photo essai à charge constante	5
FIG.2	Photo lecteur de déplacement	5
FIG.3	Graphique déformation latérale vs temps	8
FIG.4	Photo essai de tension indirecte	10
FIG.5	Photo cellule de charge	10
FIG.6	Graphique charge vs déformation latérale	12
FIG.7	Graphique déformation verticale vs déformation latérale	13
FIG.8	Photo système d'acquisition	14
FIG.9	Graphique coefficient de viscosité pour différents mélanges.....	21
FIG.10	Graphique force de tension pour différents mélanges	24
FIG.11	Graphique "tensile strain" pour différents mélanges	25
FIG.12	Graphique "compressive strain" pour différents mélanges	26
FIG.13	Graphique du coefficient de poisson pour différents mélanges	27
FIG.14	Graphique du module élastique pour différents mélanges	28

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années des problèmes majeures sont apparus sur nos routes. Le comportement du béton bitumineux laisse de plus en plus perplexe les responsables de la bonne marche de notre réseau routier.

Avec la connaissance de ces problèmes, plusieurs études ont été entreprises. Ces études visent à déterminer le comportement du béton bitumineux lorsque soumis à diverses situations.

Ce document présente les grandes lignes d'une étude consistant à l'élaboration d'un essai permettant de caractériser la viscosité des mélanges bitumineux. Les essais retenus consistent en un essai à charge constante ainsi qu'un essai de tension indirecte.

Les étapes de la conception de l'appareil ainsi que des essais choisis sont exposées dans ce document. De plus, une brève étude a été réalisée afin de vérifier le comportement de différents mélanges soumis à ces deux essais.

CONCEPTION DE L'APPAREIL

Pour effectuer les essais choisis, il fallait être en mesure de déterminer la force exercée sur une briquette échantillon et ce tout en mesurant le déplacement vertical et latéral causé par cette force.

Le montage a été effectué en utilisant les notions existantes et utilisées en béton de ciment, soit l'essai brésilien. Afin d'adapter l'essai aux mélanges bitumineux, nous avons utilisé une mâchoire permettant de transmettre la force à la briquette. Le design de cette mâchoire a été effectué afin de recevoir des briquettes de 101.6 mm de diamètre et de 63.5 mm d'épaisseur. Soit les dimensions des échantillons standards utilisés pour les essais existants. L'appareil comprend également un système permettant de mesurer le déplacement latéral de la briquette lors de l'essai. Quant au déplacement vertical, il sera déterminé d'après la vitesse et le temps d'exécution de l'essai. Evitant ainsi d'ajouter un système supplémentaire de lecture à l'appareil.

Les essais exécutés exigeant une certaine précision et une homogénéité dans l'exécution, les briquettes soumises à

l'essai devront demeurer à température constante tout au long de l'essai. Pour ce faire, l'essai devra prévoir un moyen de conserver la température constante.

Pour les essais effectués à température ambiante cela ne cause aucun problème. Par contre, pour les essais à haute ou à basse température, nous devons trouver un moyen de conserver la température de la briquette constante. Le moyen retenu fut un bain d'eau dans lequel l'essai serait effectué. Cette méthode a été adoptée étant donné la facilité de conserver l'eau à température constante à l'aide de procédés assez simples.

Ce nouveau mode d'exécution des essais apporte une nouvelle spécification à l'appareil. En effet, puisque l'essai peut être effectué dans l'eau, nous devons concevoir l'appareil à l'aide d'un matériau évitant la corrosion. Etant donné sa légèreté et sa maniabilité, l'aluminium a été choisi comme matériau de construction.

De plus, l'eau amène un nouveau problème. En effet, le système permettant de prendre le déplacement latéral de la briquette devra garder les lecteurs de déplacements (LVDT) à l'extérieur de l'eau. Pour palier à ce problème nous avons opté pour un système de pivot permettant de lire le déplacement latéral tout en laissant les LVDT au-dessus de l'eau.

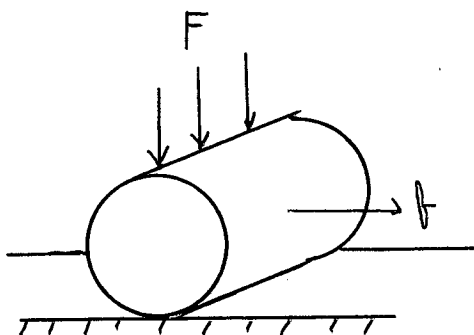
CONCEPTION DES ESSAIS

Ce document comprend deux essais, soit l'essai à charge constante et l'essai de tension indirecte. Chacun de ces essais sera brièvement expliqué dans ce qui suit. Nous exposerons une brève théorie et nous démontrerons comment obtenir les résultats désirés.

a) L'essai à charge contante

L'essai à charge constante nous permettra de définir la viscosité des mélanges bitumineux. L'essai consiste à écraser une briquette échantillon à l'aide d'une charge constante et de mesurer le déplacement latéral de la briquette en fonction du temps à l'aide de lecteurs (figure 1 et 2).

Principe de mesure de la viscosité



La contrainte appliquée est proportionnelle à la vitesse de déformation (corps élastique). Le facteur de proportionnalité est le coefficient de viscosité.

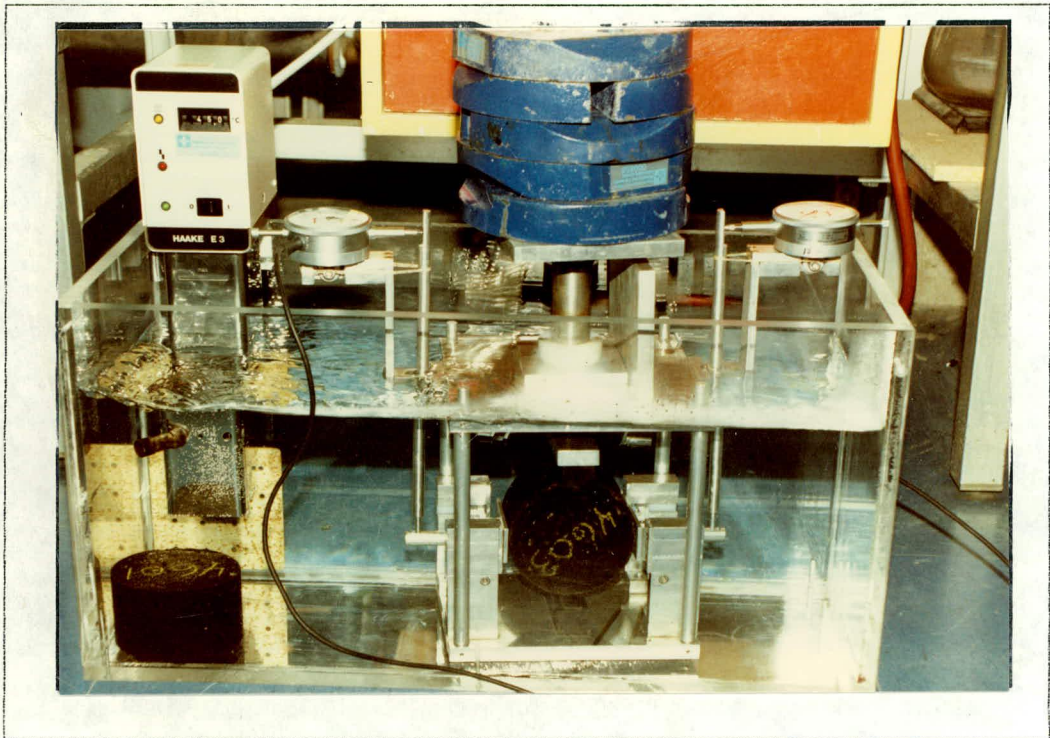


Figure 1: Photo essai a charge constante

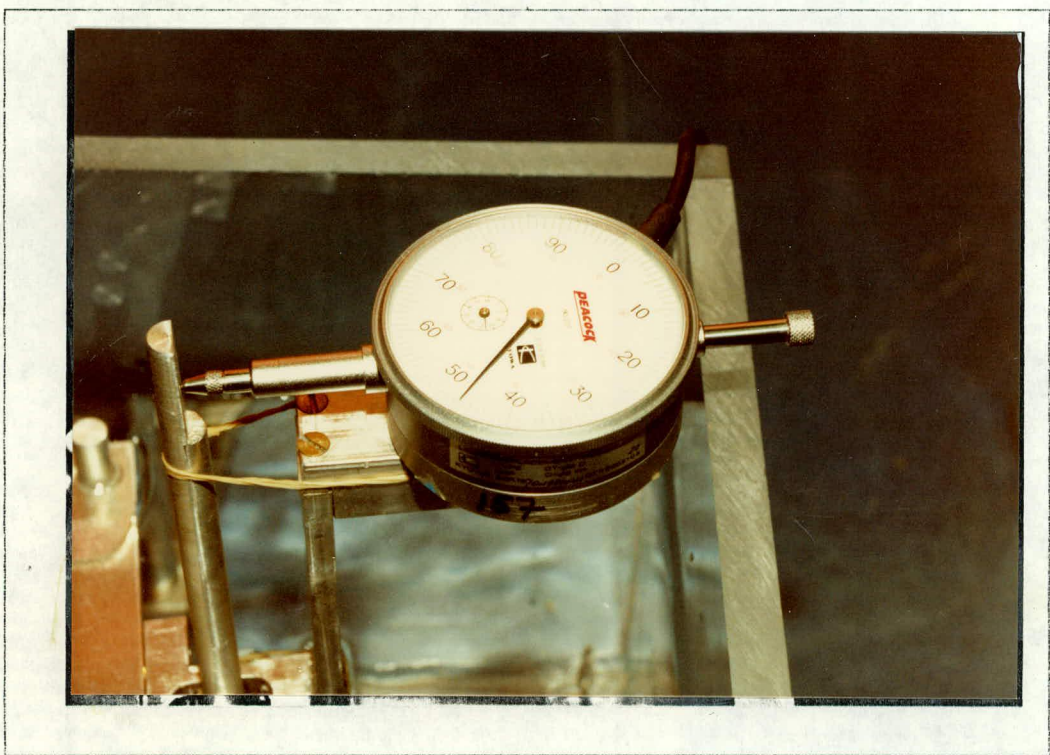


Figure 2: Photo lecteur de deplacement

$$\sigma = n * (d\epsilon / dt)$$

σ = contrainte

n = coefficient de viscosité

$d\epsilon / dt$ = vitesse de déformation

Par définition:

$$\sigma = F / (D * e)$$

F = force appliquée

D = diamètre de la briquette

e = épaisseur de la briquette

La contrainte est la pression exercée par la force sur la section de la briquette.

ϵ est la déformation relative i.e la déformation mesurée sur le diamètre de la briquette:

$$\epsilon = f / D$$

f = déformation latérale totale

$$(d\epsilon / dt) = f / (D * t)$$

t = temps d'observation de la déformation

Donc

$$F / (D * e) = (f / (D * t)) * n$$

$$n = (F * t * D) / (D * e * f) = (F * t) / (e * f)$$

F = force de tension

$$(N * s) / (m * m) = Pa * s$$

t = temps en secondes

e = épaisseur en m

f = déformation en m

Grâce à l'essai nous disposons de tous les paramètres nécessaire au calcul du coefficient de viscosité. Nous disposons de la charge F ainsi que de l'épaisseur de la briquette avant l'essai. Il ne nous manque plus que le rapport de t/f pour compléter la formule.

Avec l'essai à charge constante, nous obtenons un graphique de la déformation latérale en fonction du temps, et ce pour une charge et une température donnée (figure 3). Une fois ce graphique obtenu, nous pouvons calculer le rapport t/f qu'il nous manque. Pour ce faire, il suffit de calculer la pente de notre graphique (partie linéaire). Cette pente est le rapport f/t . Il ne reste donc qu'à inverser ce rapport et à l'introduire dans nos formules et nous disposons ainsi du coefficient de viscosité de notre mélange pour les conditions d'expérimentation. Tous ces calculs sont évidemment fait par l'ordinateur avec l'aide du technicien responsable de l'essai.

Avec le coefficient de viscosité nous pouvons prévoir quel type de mélange est plus susceptible de se déformer sous une charge à une température donnée. Un mélange ayant un coefficient de viscosité plus faible sera plus facilement déformable qu'un mélange ayant un coefficient plus fort. Ce mélange sera donc faible. Cette caractéristique nous aidera dans la recherche d'un mélange plus résistant au phénomène d'orniérage.

DEFORMATION / TEMPS

ESSAI NO : A150
CHARGE : +245.924 NEWTONS
TEMPERATURE: +52.000 CELCIUS
EPAISSEUR: +60.000 mm

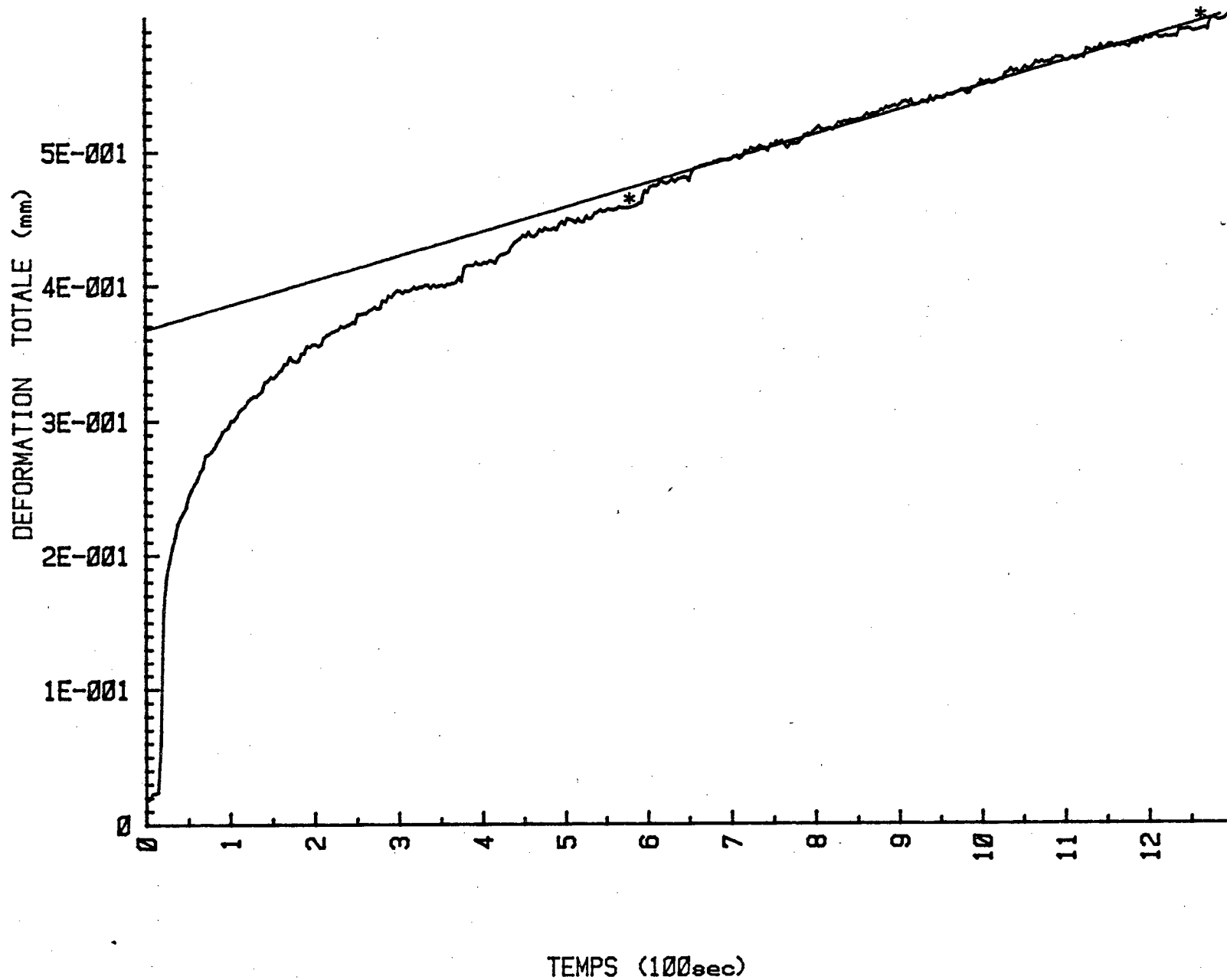


FIG. 3 : Graphique de deformation laterale vs temps

b) Essai de tension indirecte

L'essai de tension indirecte permet de calculer quelques paramètres intéressants tels que le module élastique, la force de tension indirecte, le coefficient de poisson, l'effort de tension et l'effort de compression.

L'essai consiste à écraser une briquette à vitesse constante et ce jusqu'à la rupture. Tout au long de l'essai, le déplacement vertical et latéral ainsi que la charge est soit mesurée soit calculée (figure 4 et 5).

L'essai fournit un graphique du déplacement latéral en fonction de la charge appliquée (figure 6). A l'aide de ce graphique, il nous est possible de calculer le module élastique de notre échantillon à l'aide d'équations déjà élaborées.

NU = coefficient de poisson

ME = (SH/e) * (A3-NU*A4) A3 et A4 = constantes

(annexe C)

SH = pente de la droite de
régression du graphique

e = épaisseur de
l'échantillon

De plus, l'essai nous fournit un graphique de la déformation latérale en fonction de la déformation verticale

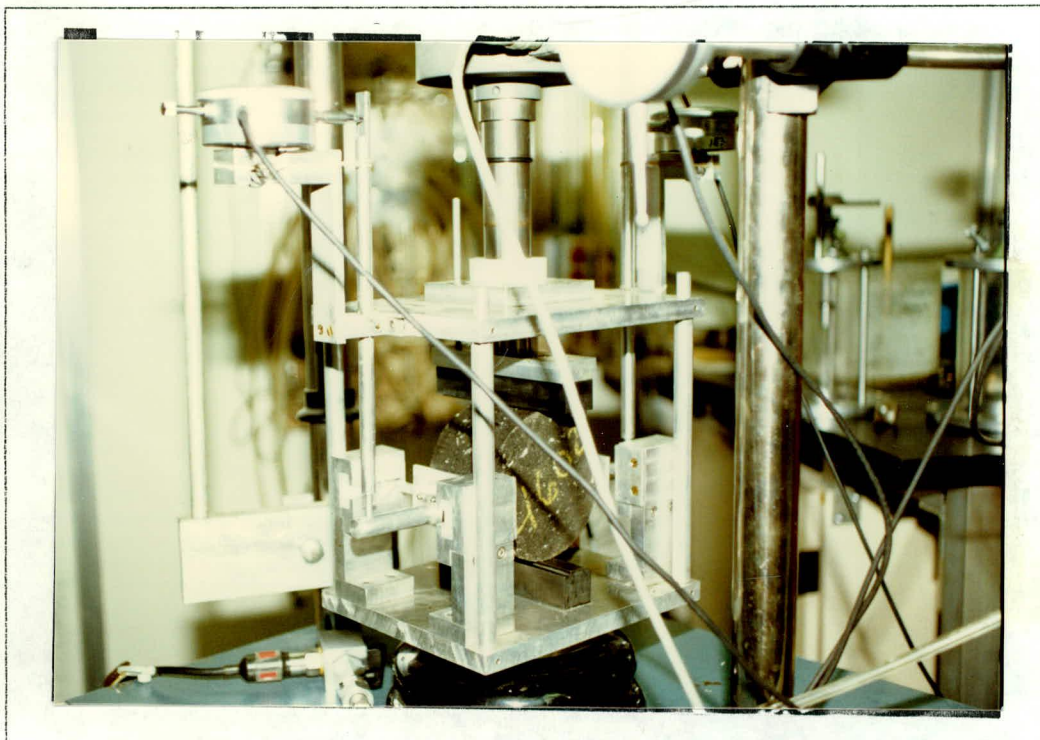


Figure 4: Photo essai de tension indirecte

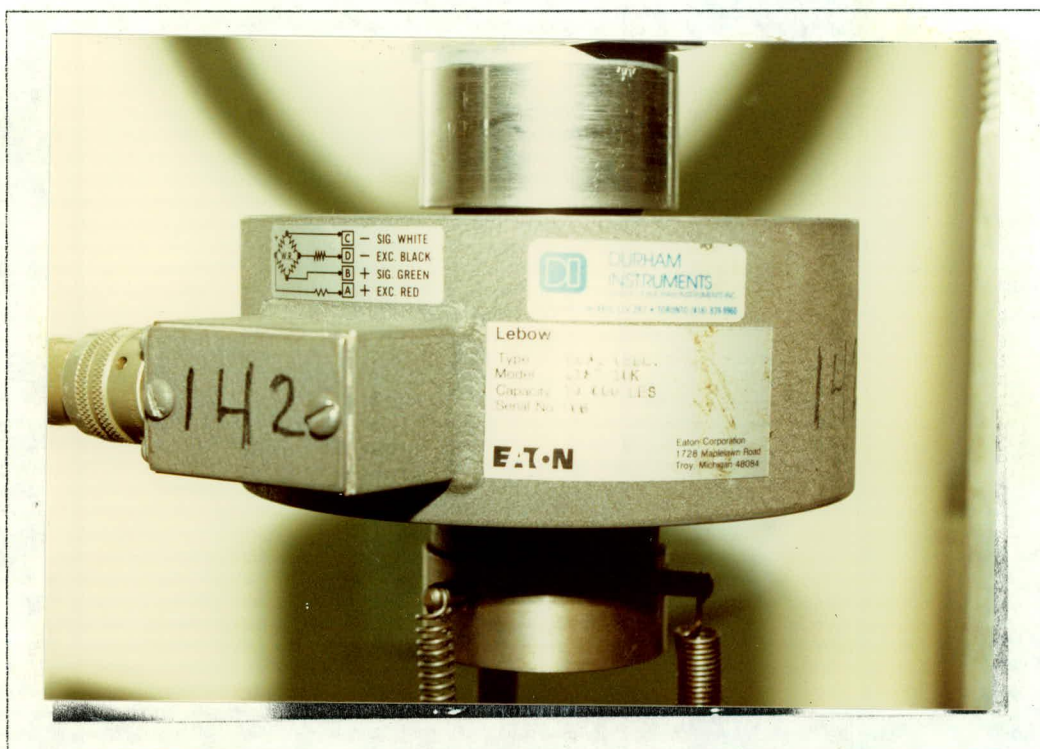


Figure 5: Photo cellule de charge

(figure 7). Grâce à ce graphique, nous pouvons calculer le coefficient de poisson de notre mélange. En effet, le coefficient de poisson est le rapport des déformations latérales et verticales. Ce rapport est calculé au point de rupture de l'échantillon.

$$\begin{aligned}
 \text{NU} &= \text{Xt/Yt} & \text{NU} &= \text{coefficient de poisson} \\
 & & \text{Xt} &= \text{déf. latérale à la rupture} \\
 & & \text{Yt} &= \text{déf. verticale à la rupture}
 \end{aligned}$$

Ce coefficient de poisson nous est utile pour calculer le module élastique précédent.

De plus, l'essai nous procure tous les éléments nécessaires au calcul de la force de tension.

$$\begin{aligned}
 \text{FT} &= (\text{P/h}) * \text{A0} & \text{FT} &= \text{force de tension} \\
 & & \text{P} &= \text{charge à la rupture} \\
 & & \text{h} &= \text{hauteur du spécimen} \\
 & & \text{A0} &= \text{constante (annexe A)}
 \end{aligned}$$

Grâce à d'autres équations il nous est possible de calculer d'autres données intéressantes tels que :

$$\begin{aligned}
 \text{tensile strain} & \quad \epsilon_T = \text{Xt} * [(\text{A5} - \text{NU} * \text{A6}) / (\text{A1} - \text{NU} * \text{A2})] \\
 \text{compressive strain} & \quad \epsilon_C = \text{Yt} * [(\text{B3} - \text{NU} * \text{B4}) / (\text{B1} - \text{NU} * \text{B2})]
 \end{aligned}$$

Avec ces résultats nous pourrons compléter les études faites précédemment tel que l'essai de stabilité Marshall.

CHARGE / DEFORMATION LATÉRALE

07/26/1989

ESSAI NO: G106

VITESSE PRESSE : 4.97 mm/min

TEMPERATURE : 45 CELCIUS

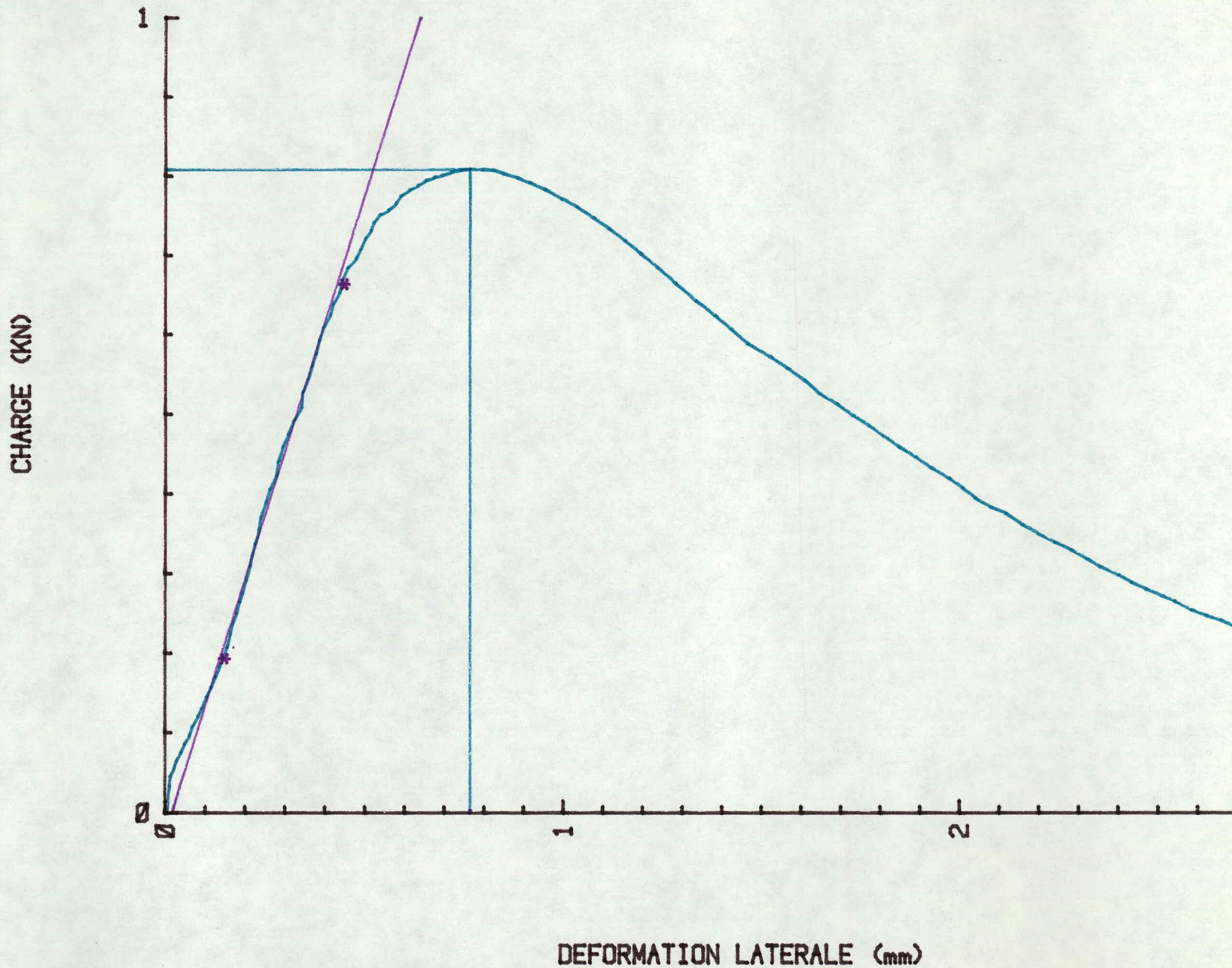


FIG. 6 : Graphique charge vs deformation latérale

DEFORMATION VERTICALE/ DEFORMATION LATÉRALE

07/26/1989

ESSAI NO: G106

VITESSE PRESSE : 4.97 mm/min

TEMPERATURE : 45 celcius

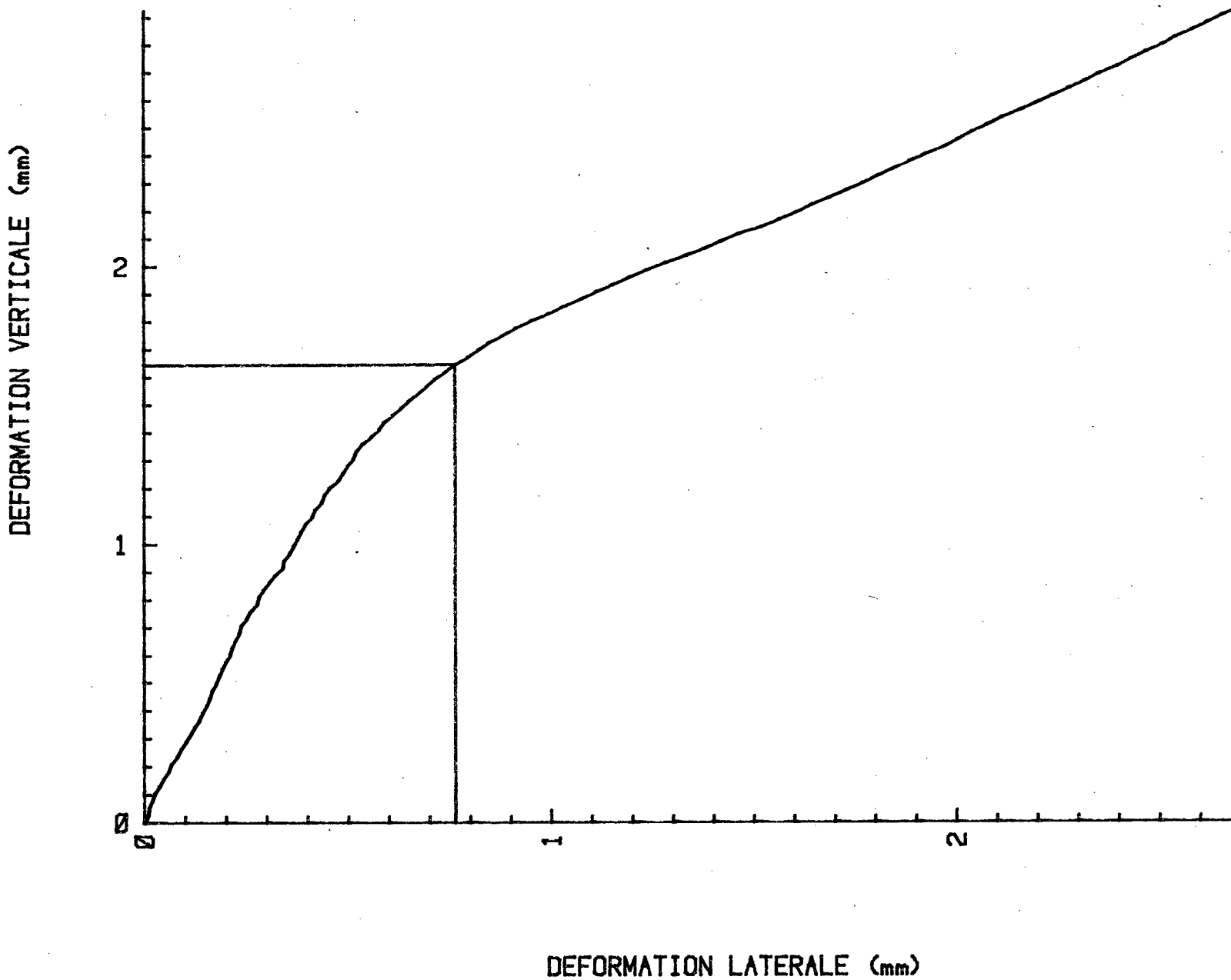


FIG. 7 : Graphique de déformation verticale vs déformation latérale.

c) mode d'acquisition

Pour la prise des données, nous disposons d'un système d'acquisition assez perfectionné, soit un Hewlett Packard 85 jumelé à un multimètre 3457 A (figure 8). Ce système permet d'utiliser jusqu'à 9 lecteurs, ce qui est amplement suffisant pour les besoins des essais effectués. Les essais sont donc entièrement informatisés, éliminant ainsi les calculs laborieux et évitant les erreurs simplistes.

Tout autre système peut être utilisé pour effectuer les essais pourvu qu'il dispose d'au moins 3 canaux de lecture et que l'acquisition soit suffisamment rapide afin de permettre une bonne résolution (# de lectures).

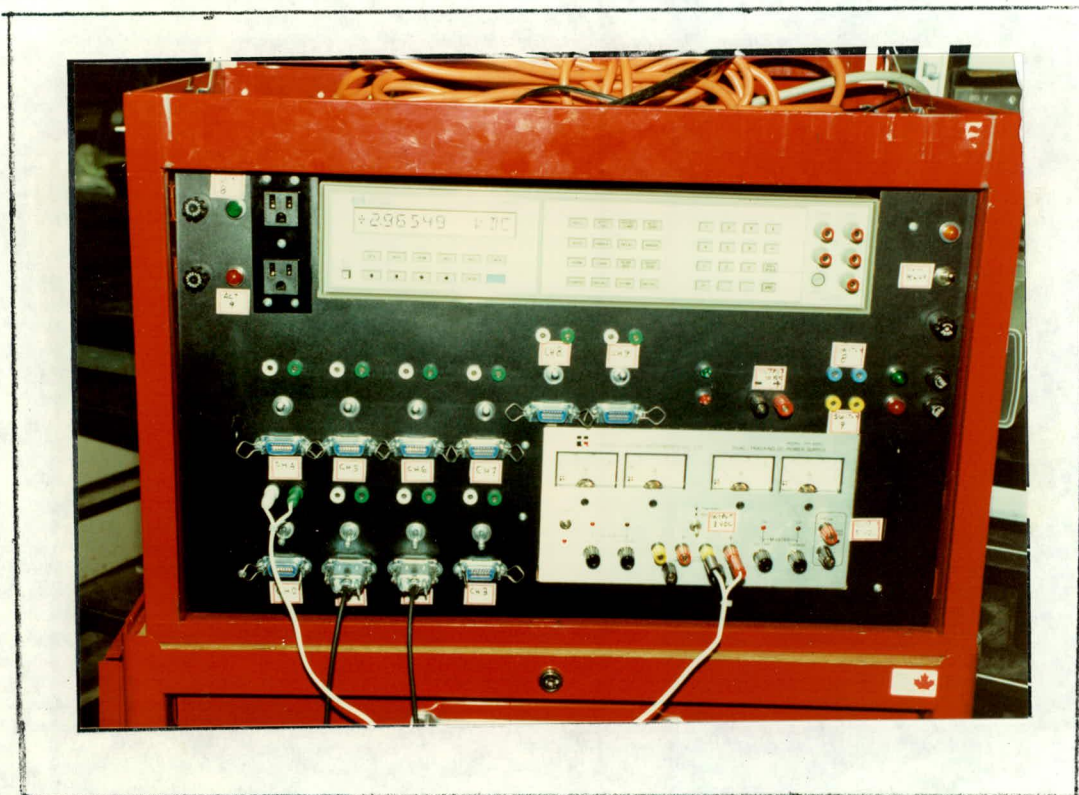


FIG.8: Photo système d'acquisition

ÉTUDES

Deux études ont été mené afin de déterminer s'il existait des différences entre des mélanges de composition différente.

La première étude consistait à vérifier les différences entre des mélanges constitués de bitumes différents au niveau de la viscosité. La seconde fut réalisée dans le but de voir au bon fonctionnement de l'appareil en utilisant des mélanges composés de différents granulats, grades et types de bitumes.

a) première étude : différents types de bitumes

Pour la première étude, nous avons voulu déterminer le coefficient de viscosité de mélanges composés de cinq (5) types de bitumes différents. Tout les mélanges étaient du type MB-4, seul le type de bitume variait d'un échantillon à l'autre.

Les types de bitumes utilisés sont les suivants :

- A bitume ordinairement employé
- B bitume styreff SBS greffé chimiquement au bitume
- C latex + bitume
- D latex (autre) + bitume
- E SBS + bitume SBS non-greffé chimiquement au bitume

L'essai à charge constante fut utilisé afin de déterminer le coefficient de viscosité. Les essais ont été effectués à 40°C mais n'ont pas été prolongés jusqu'à la rupture afin de pouvoir les utiliser à nouveau à 60°C.

Grâce à l'essai nous obtenons une courbe de la déformation latérale totale en fonction du temps comme nous l'avons vu précédemment dans la théorie (figure 3). Nous pouvons remarquer que la courbe type d'un essai comporte deux parties différentes. Une première partie est associée au comportement élastique de la briquette (partie en courbe au début de l'essai). Après un certain temps, sous une charge constante, la briquette entre dans une phase visco-élastique (partie linéaire). C'est cette partie que nous utilisons pour les calculs. Si nous chargeons suffisamment longtemps nous observons une augmentation sans cesse croissante du taux de déformation. La briquette est alors fracturée, elle n'offre plus de résistance.

Tel que le montre les résultats (tableau I), nous remarquons qu'il y a effectivement une différence entre les mélanges utilisés. Certains bitume sont plus résistant que d'autres lorsque soumis à une même charge. En se souvenant qu'un coefficient de viscosité plus élevé est attribuable à un mélange plus résistant (moins déformable), on remarque qu'il peut être très avantageux de considérer certain bitumes si l'on désire améliorer la résistance à l'orniérage. Pour les bitumes étudiés, nous notons que le bitume de type E serait très résistant à l'orniérage comparativement au bitume ordinairement employé.

Avec les différences obtenues nous constatons donc que le type de bitume influence de beaucoup le comportement visqueux des mélanges. Ce résultat était bien entendu souhaitable et attendu puisque c'est le bitume qui joue le rôle de liant dans un mélange bitumineux. L'essai a donc confirmé ce que l'on attendait. Nous disposons maintenant d'un essai permettant de caractériser la viscosité des mélanges et non seulement du bitume. Car la composition du mélange peut influencer elle aussi la viscosité mais à un niveau moindre.

b) deuxième étude: différents mélanges (validité de l'appareil)

Pour la deuxième étude, il fallait vérifier s'il était possible d'observer des différences entre des mélanges de composition différentes, mais toujours en gardant le même type de mélange. Le mélange choisit fut du type MB-16, et les briquettes échantillons furent conquet en laboratoire.

composition des briquettes

- Gravier naturel concassé—bitume 85-100 — polymere— G8S
- ordinaire— G80
- bitume 150-200— ordinaire— G10
- Pierre concassé —bitume 85-100 — polymère— P8S
- ordinaire— P80
- bitume 150-200— ordinaire— P10

Six (6) échantillons furent conquet pour chaque classe. Soit trois (3) pour l'essai à charge constante et trois (3) pour l'essai de tension indirecte. Les briquettes ont été fabriquées selon la norme BNQ 2300-020. Les caractéristiques

de ces briquettes ont été mesurées d'après les normes BND en vigueur.

Deux essais ont été effectués, soit l'essai à charge constante et celui de tension indirecte. Chaque essai a été répété sur trois (3) briquettes identiques pour chaque classe afin de vérifier la répétition de l'essai. Tous les essais ont été effectués à la même température, soit 45°C.

Analyse des résultats essai à charge constante

Comme on peut le voir dans le tableau II et sur la figure 9, un bitume de grade 150-200 amène une légère diminution du coefficient de viscosité, donc un mélange contenant un tel bitume provoque une plus grande susceptibilité à la déformation sous une charge. Ce résultat était prévisible puisque le bitume 150-200 est plus visqueux que le bitume 85-100 comme l'indique son grade.

A l'aide des résultats obtenus, nous remarquons également qu'un mélange composé d'un bitume polymère (styreff) est beaucoup plus résistant qu'un mélange ordinaire. Ce résultat était également prévisible puisque le styreff est lui-même un bitume plus résistant. Les résultats nous indiquent qu'il n'y a pas de différences marquées entre les mélanges composés de pierre et ceux constitués de gravier.

TABLEAU I : resultats premiere etude, differents types de bitume,
coefficient de viscosite

TEMPERATURE 40 CELCIUS CHARGE 268 NEWTONS		TEMPERATURE 60 CELCIUS CHARGE 201 NEWTONS	
type de melange	coeff. (mpa*s)	type de melange	coeff. (mpa*s)
A	68887	A	1993
B	67942	B	1952
C	165206	C	10692
D	71249	D	4710
E	139011	E	53903

TABLEAU II : resultats deuxieme etude, differents melanges,
coefficient de viscosite (Pa*s)

	echantillon #1	echantillon #2	echantillon #3	moyenne
P80	11.51	3.93	9.47	0
P10	103.24	* 1.11	27.36	* 1.11
P85	121.82	143	105.34	123.39
G80	2.77	2.86	4.75	3.46
G10	1.17	7.62	5.02	4.6
G85	113.93	96.61	138.4	116.31

* seul resultat plausible parmi les echantillons

COEFFICIENT DE VISCOSITE

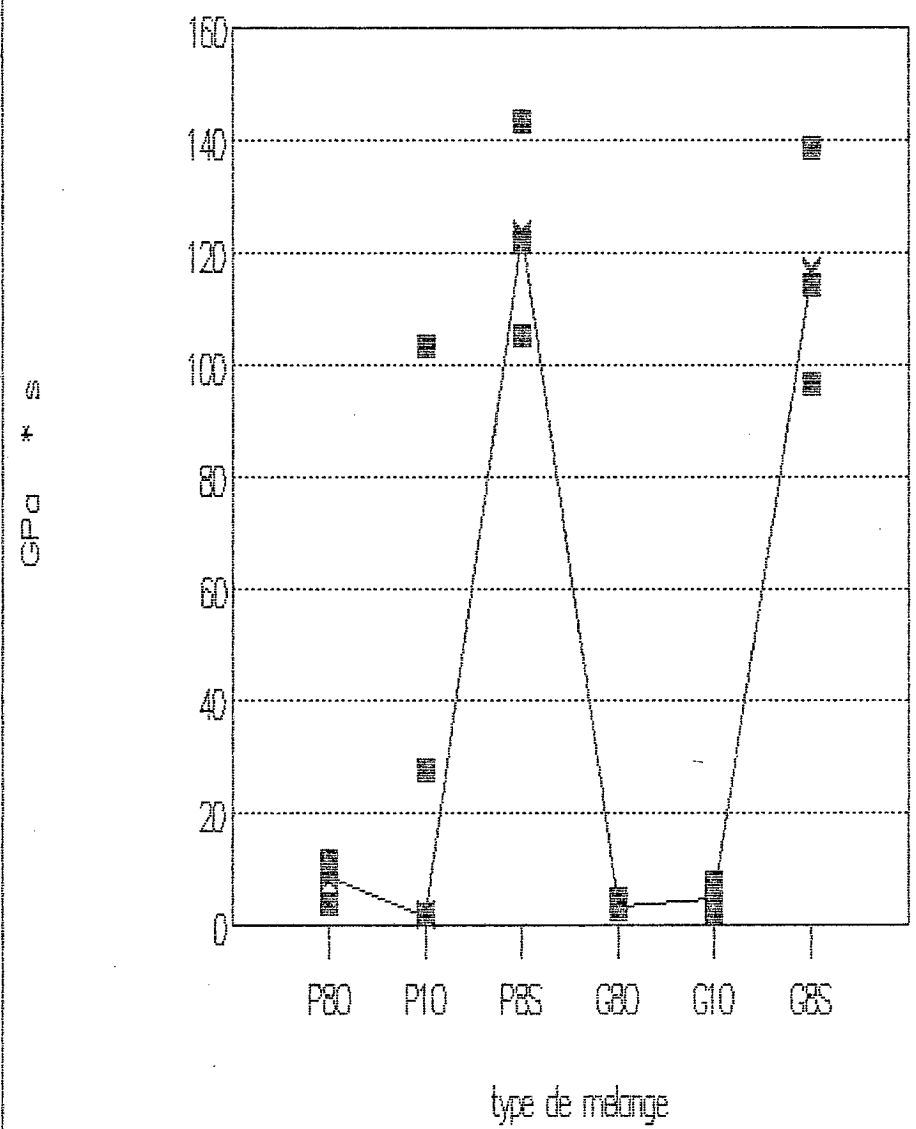


FIG.9 Graphique coefficient de viscosite pour differents melanges.

Analyse des résultats essai de tension indirecte

Mise à part le module d'élasticité et le coefficient de poisson, nous remarquons toujours la même tendance en ce qui a trait à la force de tension, le "tensile strain" et le "compressive strain". En effet, le fait d'utiliser un bitume de grade supérieur provoque une diminution des performances. De plus, un bitume polymère augmente de façon significative les performances du mélange. En ce qui concerne les mélanges constitués de pierre par rapport à ceux en gravier, on ne remarque pas de différences appréciables (tableau III et figures 10 à 12).

Les résultats obtenus des coefficients de poisson et du module d'élasticité ne montrent pas de tendance appréciable, nous ne pouvons pas conclure de résultats sur ces deux données (tableau III et figures 13 et 14).

TABLEAU III : Resultats de l'essai de tension indirecte

*****ESSAI TENSION INDIRECTE *****

	FORCE TENSION (kPa)	MODULE ELASTI. (mPa)	COEFFI. POISSON	TENSILE STRAIN (*100)	COMPRES. STRAIN (*100)

P804	90	25	0.5	1.02	1.18
P805	109	42	0.5	0.79	1.01
P806	112	33	0.5	0.77	1.00
MOYENNE	104	33	0.5	0.86	1.06

P104	72	25	0.5	0.83	0.99
P105	69	19	0.6	0.64	0.89
P106	74	29	0.4	0.76	0.82
MOYENNE	72	24	0.5	0.74	0.90

P8S4	139	29	0.4	1.85	1.36
P8S5	121	28	0.4	2.13	1.54
P8S6	119	26	0.4	2.20	1.76
MOYENNE	126	26	0.4	2.06	1.55

G804	99	25	0.5	1.58	1.00
G805	100	34	0.4	1.10	0.90
G806	96	20	0.4	1.53	1.08
MOYENNE	98	26	0.4	1.40	0.99

G104	71	20	0.4	1.18	0.92
G105	67	24	0.5	1.16	0.77
G106	81	19	0.5	1.54	1.00
MOYENNE	73	21	0.5	1.29	0.90

G8S4	105	23	0.4	1.91	1.36
G8S5	98	18	0.5	2.07	1.30
G8S6	113	30	0.5	2.06	1.18
MOYENNE	105	24	0.5	2.01	1.28

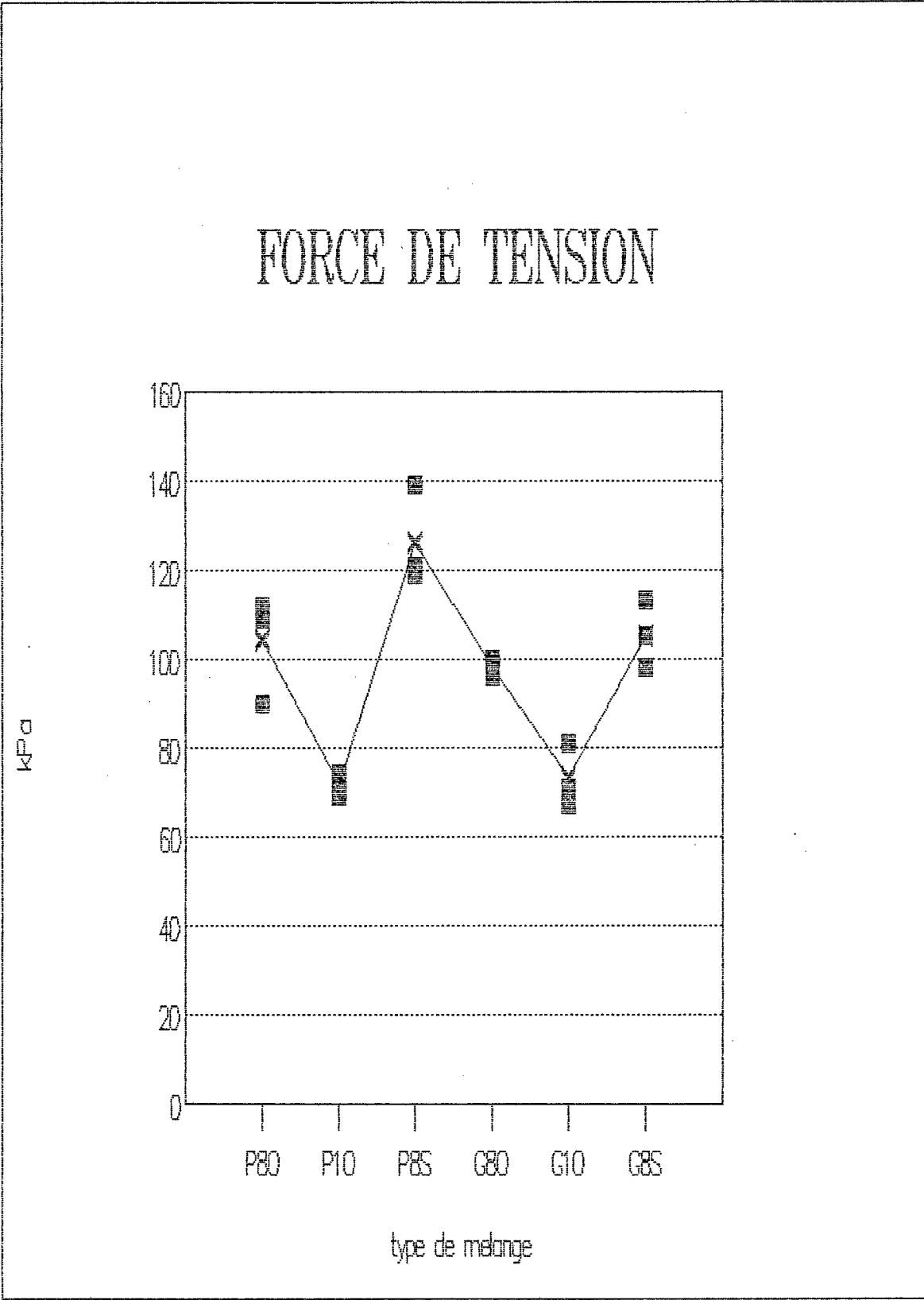


FIG.10 Graphique force de tension pour differents melanges

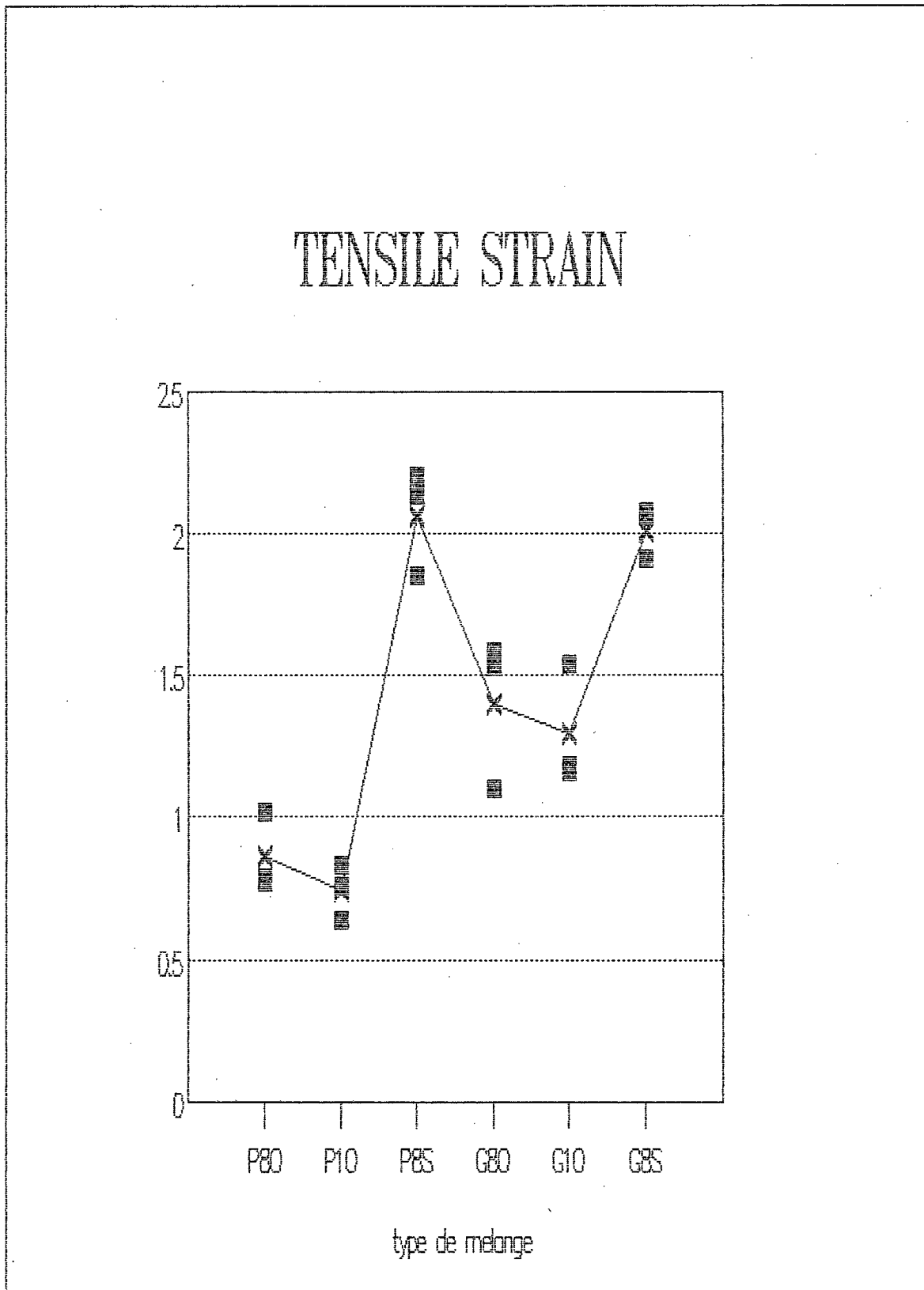


FIG.11 Graphique "tensile strain" pour differents melanges

COMPRESSIVE STRAIN

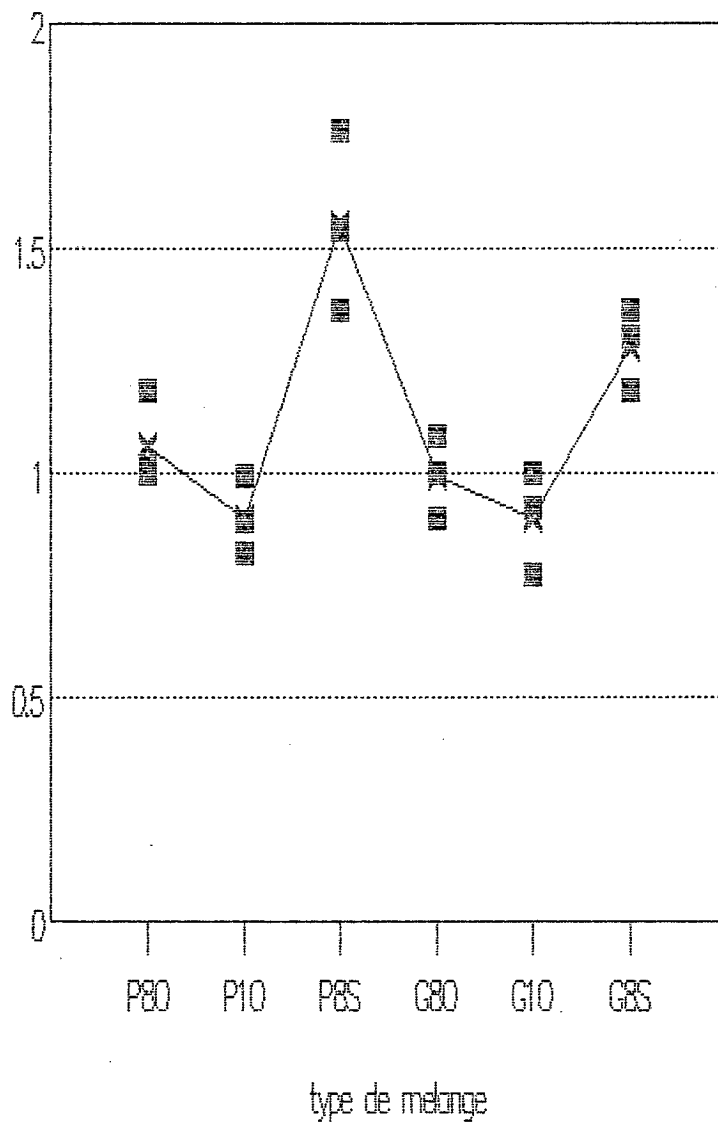


FIG.12 Graphique "compressive strain" pour differents melanges

COEFFICIENT DE POISSON

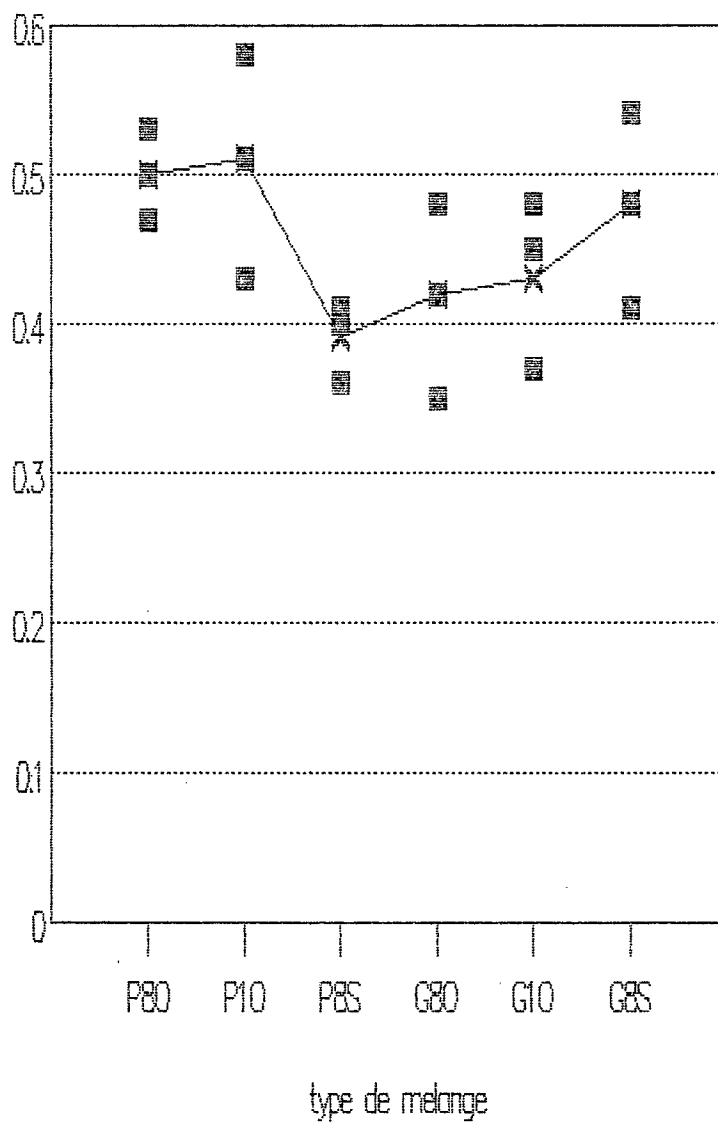


FIG.13 Graphique du coefficient de poisson pour différents mélanges

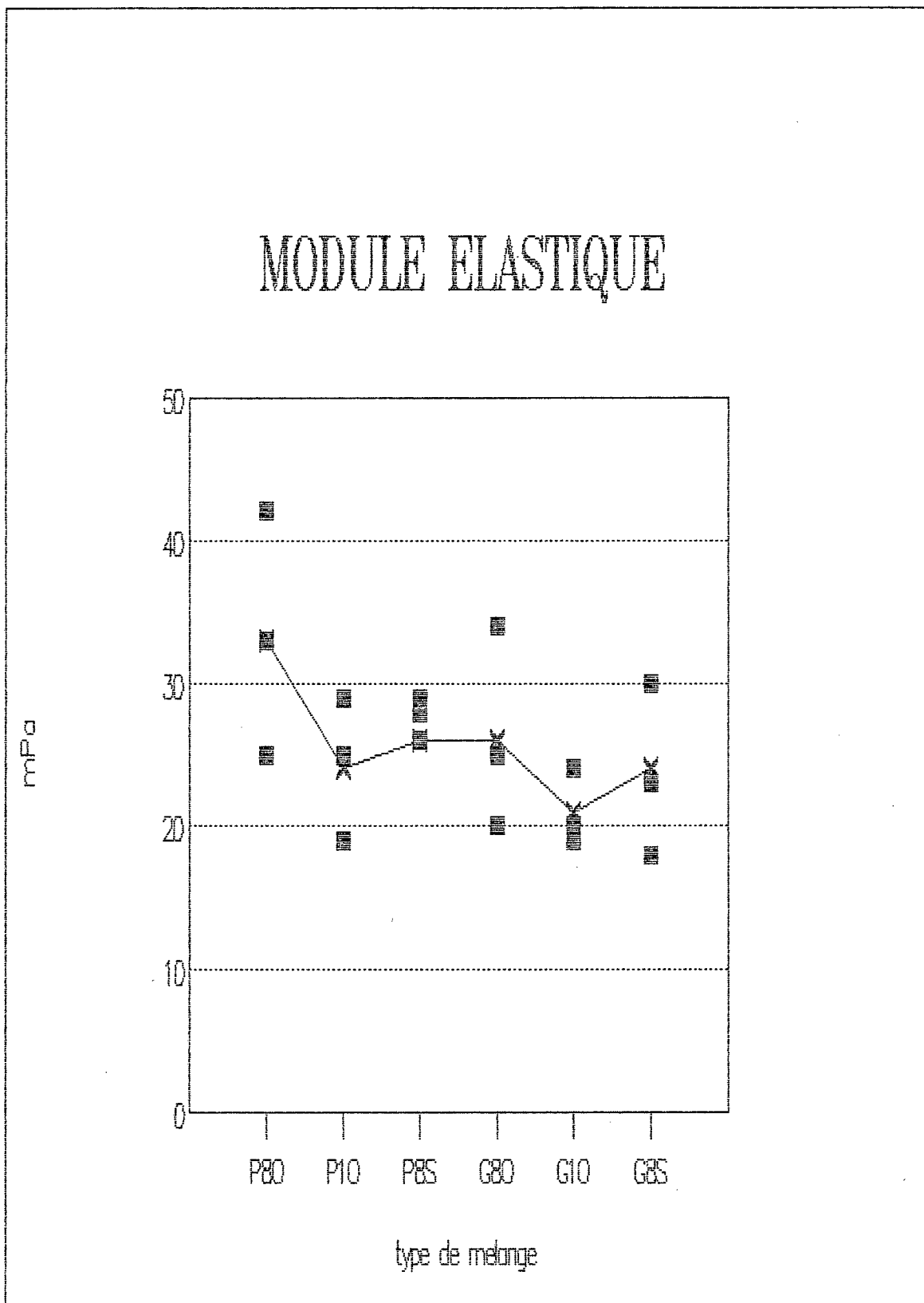


FIG.14 Graphique du module elastique pour differents melanges

CONCLUSION

Suite aux résultats obtenus, nous pouvons donc considérer que l'essai à charge constante ainsi que celui en tension indirecte, peuvent devenir deux outils supplémentaire afin de caractériser les mélanges bitumineux.

En effet, comme l'a démontré les résultats obtenus à partir des brèves études, les essais peuvent nous aider à caractériser les différents mélanges. Ces essais pourront également nous aider à déceler les différences entre différents bitumes.

Les essais élaborés sont relativement simples et ne requiert pas de calcul puisqu'ils sont entièrement informatisés. Seul les caractéristiques de l'échantillon sont nécessaire (diamètre, épaisseur)

Il serait tout de même suggéré d'entamer une étude plus complète avec un nombre suffisant d'échantillons afin d'établir une corrélation entre les résultats.

Les études ont clairement démontré qu'il existe des différences entre les mélanges de nature différentes. Ces résultats indiquent bien que l'appareil est suffisamment sensible et efficace afin d'enregistrer ces différences. Nous pouvons donc considérer que ces deux nouveaux essais s'intégreront aux essais déjà existant et voir même adhérer un jour aux normes en vigueur.

ANNEXE A

CONSTANTS FOR EQUATIONS FOR CALCULATING TENSILE
PROPERTIES FROM BRAZIL TESTS

Table B2. Constants for Equations for Calculating Tensile Properties¹⁰ from Brazil Tests.

Diameter, Inches	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
3.5	.177	.0766	-.2847	.2680	-.9966	.05056	-.1545	-.9765	-.0204	-.1545	.05056
3.6	.172	.0745	-.2769	.2683	-.9968	.04786	-.1461	-.9590	-.0193	-.1461	.04786
3.7	.168	.0726	-.2694	.2685	-.9970	.04537	-.1384	-.9422	-.0183	-.1384	.04537
3.8	.164	.0707	-.2624	.2688	-.9971	.04307	-.1312	-.9260	-.0173	-.1312	.04307
3.9	.160	.0690	-.2557	.2690	-.9973	.04094	-.1246	-.9104	-.0165	-.1247	.04094
4.0	.156	.0673	-.2494	.2692	-.9974	.03896	-.1185	-.8954	-.0156	-.1185	.03896
4.1	.152	.0657	-.2433	.2694	-.9975	.03712	-.1129	-.8810	-.0149	-.1129	.03712
4.2	.149	.0642	-.2375	.2696	-.9976	.03541	-.1076	-.8671	-.0142	-.1076	.03541
4.3	.145	.0627	-.2320	.2698	-.9977	.03381	-.1027	-.8537	-.0136	-.1027	.03381
4.4	.142	.0613	-.2268	.2699	-.9978	.03232	-.0981	-.8407	-.0130	-.0981	.03232
4.5	.139	.0600	-.2218	.2701	-.9979	.03092	-.0938	-.8282	-.0124	-.0938	.03092
4.6	.136	.0587	-.2170	.2702	-.9980	.02961	-.0898	-.8161	-.0118	-.0898	.02961
4.7	.133	.0575	-.2124	.2703	-.9981	.02838	-.0860	-.8043	-.0114	-.0860	.02839
4.8	.131	.0563	-.2080	.2704	-.9982	.02723	-.0825	-.7930	-.0109	-.0825	.02723
4.9	.128	.0552	-.2037	.2706	-.9983	.02615	-.0792	-.7820	-.0105	-.0792	.02615
5.0	.126	.0541	-.1997	.2707	-.9983	.02512	-.0760	-.7714	-.0100	-.0761	.02513
5.1	.123	.0531	-.1958	.2708	-.9984	.02416	-.0731	-.7610	-.0097	-.0731	.02416
5.2	.121	.0521	-.1920	.2709	-.9985	.02325	-.0703	-.7510	-.0093	-.0703	.02325
5.3	.119	.0511	-.1884	.2709	-.9985	.02239	-.0677	-.7413	-.0090	-.0677	.02240
5.4	.116	.0502	-.1849	.2710	-.9986	.02158	-.0652	-.7319	-.0086	-.0652	.02158
5.5	.114	.0493	-.1816	.2711	-.9986	.02081	-.0629	-.7227	-.0083	-.0629	.02081
5.6	.112	.0484	-.1783	.2712	-.9987	.02008	-.0607	-.7138	-.0080	-.0607	.02008
5.7	.110	.0476	-.1752	.2713	-.9987	.01939	-.0586	-.7051	-.0078	-.0586	.01939
5.8	.109	.0468	-.1722	.2713	-.9988	.01874	-.0566	-.6967	-.0075	-.0566	.01874
5.9	.107	.0460	-.1693	.2714	-.9988	.01811	-.0547	-.6884	-.0072	-.0547	.01811
6.0	.105	.0452	-.1665	.2714	-.9988	.01752	-.0529	-.6804	-.0070	-.0529	.01752
6.1	.103	.0445	-.1638	.2715	-.9989	.01695	-.0512	-.6727	-.0068	-.0512	.01696
6.2	.102	.0438	-.1611	.2716	-.9989	.01642	-.0495	-.6651	-.0066	-.0495	.01642
6.3	.100	.0431	-.1586	.2716	-.9989	.01590	-.0480	-.6577	-.0064	-.0480	.01591
6.4	.099	.0424	-.1561	.2717	-.9990	.01542	-.0465	-.6504	-.0062	-.0465	.01542
6.5	.097	.0418	-.1537	.2717	-.9990	.01495	-.0451	-.6434	-.0060	-.0451	.01495

Strip width a = 0.5 in.

ANNEXE B

LISTING PROGRAMME D'ACQUISITION
ESSAI A CHARGE CONSTANTE

```

1 DISP "LECTEUR #19 SUR CANAL #1"
2 DISP "LECTEUR #20 SUR CANAL #1"
3 DISP "ALIMENTATION 3V SUR CANAL #1"
4 DISP "BRANCHER LE COFFRE (CABLE GRIS)"
5 DISP "REJOINDRE L'ORDINATEUR AU COFFRE"
6 DISP @ DISP @ DISP
7 DISP "FAIRE 'CONT' POUR COMMENCER"
8 PAUSE
28 ! LOAD "VISCO"
29 PRINTER IS 2
30 DIM U6(101),Y3(101),X5(101)
35 DIM D1(15),D2(12),U4(101)
40 DIM W1(101),W2(101),T1(101)
45 DIM U5(101),U2(101),U1(101)
50 MAT W1=(0)
60 MAT W2=(0)
80 MAT U1=(0)
90 MAT U2=(0)
120 MAT U5=(0)
130 MAT T1=(0)
140 DIM X1(101),X2(101),X6(101)
145 DIM Z2(101),Z1(101),Y1(101)
148 DIM Y2(101)
150 MAT Y3=(0)
160 MAT U6=(0)
170 MAT X5=(0)
180 MAT X6=(0)
190 CLEAR @ DISP "NO. DE L'ESSAI"
200 INPUT N$
210 CLEAR
220 DISP "DATE DU JOUR [JJMMAA]"
230 INPUT J$
240 E=1
250 IF LEN(J$)<>6 THEN 1510
260 DISP @ DISP
270 I$=J$[3,4]&"/"&J$[1,2]&"/19"&J$[5,6]
280 ON ERROR GOTO 1510
290 W5=MDY(I$)
300 DISP "ENTRER L'HEURE [HHMMSS]"
310 INPUT F$
320 E=0
330 IF LEN(F$)<>6 THEN 1510
340 H$=F$[1,2]&":"&F$[3,4]&":"&F$[5,6]
350 DISP @ DISP
360 ON ERROR GOTO 1510
370 N4=1
380 A1=HMS(H$) @ SETTIME A1,W5
390 OFF ERROR
400 CLEAR
410 DISP "EPAISSEUR DE LA BRIQUETTE EN MM ?"
420 INPUT P7
430 CLEAR
440 DISP "TEMPERATURE DE LA BRIQUETTE ?"
450 INPUT P8
460 CLEAR @ DISP "ENTRER LA CHARGE APPLIQUEE EN LBS "
470 INPUT L9
480 C3=L9/2.2*9.806+22.75
490 C1=1
500 C2=2
510 K1=.098750946

```

```

520 K2=.097514283
550 CLEAR @ DISP "FAIRE 'CONT' POUR LECTURES ZERO"
560 PAUSE
570 OUTPUT 722 ;"CHAN 1"
571 OUTPUT 722 ;"DCV 3,.1"
572 ENTER 722 ; V1
573 OUTPUT 722 ;"CHAN 2"
574 OUTPUT 722 ;"DCV 3,.1"
575 ENTER 722 ; V2
610 CLEAR
620 DISP "FAIRE 'CONT' PUIS METTRE LA CHARGE"
630 PAUSE
631 OUTPUT 722 ;"PRESET"
632 OUTPUT 722 ;"TERM REAR"
633 OUTPUT 722 ;"DCV 3,.1"
634 OUTPUT 722 ;"CHAN 0"
635 ENTER 722 ; S1
640 CLEAR @ DISP "POUR ARRETER FAIRE PAUSE"
650 DISP "TAPEZ 'CONT 1570' POUR AVOIR LES RESULTATS"
660 A=TIME
670 FOR I=1 TO 100
680 FOR J=1 TO 12
690 OUTPUT 722 ;"CHAN 1"
691 ! OUTPUT 722 ;"DCV 3,.1"
700 ENTER 722 ; D1(J)
710 OUTPUT 722 ;"CHAN 2"
711 ! OUTPUT 722 ;"DCV 3,.1"
720 ENTER 722 ; D2(J)
721 WAIT 1000
730 NEXT J
740 T1(I)=TIME-A
750 W1(I)=(D1(1)+D1(2)+D1(3)+D1(4)+D1(5)+D1(6)+D1(7)+D1(8)+D1(9)+D1(10)+D1(
11)+D1(12))/12
760 W2(I)=(D2(1)+D2(2)+D2(3)+D2(4)+D2(5)+D2(6)+D2(7)+D2(8)+D2(9)+D2(10)+D2(
11)+D2(12))/12
770 WAIT 2000
780 NEXT J
790 GOTO 1570
800 CLEAR
810 PRINT TAB(7);"=====
===== "
820 PRINT TAB(7);"ESSAI DE VISCOSITEE"
830 PRINT TAB(7);"=====
===== "
840 PRINT
850 PRINT USING 1670 ; C3
860 A=TIME
870 PRINT HMS$(A)
880 PRINT I$
890 PRINT "NUMERO :";N$
900 PRINT USING 2470 ; P7
910 PRINT "          DEFORMATION (mm)"
920 PRINT
930 PRINT "  I      TEMPS          SOMME"
940 PRINT "-----"
"
950 FOR I=1 TO N
960 U1(I)=-((W1(I)-V1)/K1/S1*10^2
970 U2(I)=-((W2(I)-V2)/K2/S1*10^3
980 U4(I)=(U1(I)+U2(I))/2

```

```

990 U5(I)=U1(I)+U2(I)
1000 U6(I)=U5(I)/1000
1010 NEXT I
1020 FOR I=1 TO N
1030 PRINT USING 1560 ; I,T1(I),U5(I)
1040 NEXT I
1050 PRINT
1060 L1=T1(N)
1070 L2=U4(N)
1080 L3=U5(N)
1090 PRINT "FIN DES LECTURES"
1120 CLEAR
1130 DISP "VOULEZ-VOUS UN GRAPHIQUE DEFORMATION/TEMPS SUR LE PLOTTEUR ?"
1140 DISP "O/N"
1150 INPUT Z$
1160 IF Z$="N" THEN 1650 ELSE 1730
1510 BEEP 20,250
1520 IF E=0 THEN 1521 ELSE 1530
1521 CLEAR @ DISP "LE FORMAT DE L'HEURE N'EST PAS VALIDE, RECOMMENCEZ"
1522 DISP @ GOTO 310
1530 CLEAR @ DISP "LE FORMAT DE LA DATE N'EST PAS VALIDE, RECOMMENCER!"
1531 DISP @ GOTO 230
1560 IMAGE DDD,4X,SDDZ.DDD,4X,SDDZ.DDDDD
1570 FOR K=1 TO 3
1580 BEEP 100,250
1590 NEXT K
1640 N=N-1 @ GOTO 800
1650 GOTO 4000
1655 DISP "FIN DE L'ESSAI"
1660 END
1670 IMAGE "CHARGE :",2X,SDDZ.DDDD,2X,"NEWTONS"
1680 IMAGE SDDDDDDZ.DDD,5X,SDDZ.DDDDD,3X,SDDZ.DDDDD,3X,SDDZ.DDDDD
1730 CLEAR @ DISP "METTRE UNE FEUILLE ET FAIRE 'CONT'"
1740 PAUSE
1750 PLOTTER IS 705
1760 LIMIT 5,270,5,200
1770 FRAME
1780 GOTO 2290
1960 CLEAR @ DISP "CHANGER LA COULEUR DU CRAYON PUIS FAIRE 'CONT'"
1970 PAUSE
1980 LOCATE 15,110,15,85
1990 SCALE 0,L1,0,L3
2000 IF L3>1 THEN 2020
2010 LAXES 200,.01,0,0,1,10 @ GOTO 2030
2020 LAXES 200,.05,0,0,1,2
2030 MOVE 0,0
2040 CLEAR @ DISP "CHANGER LA COULEUR DU CRAYON PUIS FAIRE 'CONT'"
2050 PAUSE
2060 FOR I=1 TO N
2070 PLOT T1(I),U5(I)
2080 NEXT I
2090 DISP "VOULEZ-VOUS UNE REGRESSION LINEAIRE?"
2100 INPUT O$
2110 IF O$="O" THEN 2480
2120 GOTO 1130
2290 MOVE 50,2
2300 LABEL "TEMPS (sec)"
2310 MOVE 90,97
2320 LABEL "ESSAI NO :";N$
2330 MOVE 90,94

```



```

2340 LABEL USING 2450 ; C3
2350 MOVE 90,91
2360 LABEL USING 2460 ; P8
2370 MOVE 90,88
2380 LABEL USING 2470 ; P7
2390 MOVE 18,95
2400 LABEL "DEFORMATION / TEMPS"
2410 MOVE 3,40
2420 DEG @ LDIR 90
2430 LABEL "DEFORMATION TOTALE (mm)"
2440 GOTO 1960
2450 IMAGE "CHARGE :",SDDDDZ.D,2X,"NEWTONS"
2460 IMAGE "TEMPERATURE:",SDDDDZ.D,2X,"CELCIUS"
2470 IMAGE "EPAISSEUR:",SDDZ.DD,2X,"mm"
2480 MAT X1=(0)
2490 MAT X2=(0)
2500 MAT Y1=(0)
2510 MAT Y2=(0)
2520 MAT X6=(0)
2530 MAT Z1=(0)
2540 MAT Z2=(0)
2550 MAT Y3=(0)
2560 MAT X5=(0)
2570 CLEAR @ DISP "QUEL EST LE DEBUT DE L'INTERVAL CIBLE (# DE LA DONNEE)?"

2580 INPUT D1
2590 DISP "QUEL EST LA FIN DE L'INTERVAL?"
2600 INPUT F1
2610 CLEAR @ DISP @ DISP @ DISP @ DISP @ DISP
2620 DISP TAB(5);"PATIENCE JE CALCUL"
2630 FOR I=D1 TO F1
2640 Y1(I)=U5(I)
2650 Y2(I)=U5(I)*U5(I)
2660 X1(I)=T1(I)
2670 X2(I)=T1(I)*T1(I)
2680 X6(I)=U5(I)*T1(I)
2690 Y3(I)=U6(I)
2700 X5(I)=U6(I)*T1(I)
2710 NEXT I
2720 N3=F1-D1+1
2730 O1=(SUM(Y1)*SUM(X2)-SUM(X1)*SUM(X6))/(N3*SUM(X2)-SUM(X1)^2)
2740 M1=(N3*SUM(X6)-SUM(X1)*SUM(Y1))/(N3*SUM(X2)-SUM(X1)^2)
2750 M2=(N3*SUM(X5)-SUM(X1)*SUM(Y3))/(N3*SUM(X2)-SUM(X1)^2)
2760 C8=SUM(X6)/SQR(SUM(X2)*SUM(Y2))
2770 D9=M2
2775 N9=C3/(P7/1000)/D9/1000000000
2780 FOR I=1 TO N
2790 Z2(I)=T1(I)
2800 Z1(I)=O1+M1*Z2(I)
2810 NEXT I
2820 MOVE 0,01
2830 FOR I=1 TO N
2840 PLOT Z2(I),Z1(I)
2850 NEXT I
2860 CLEAR
2870 MOVE T1(D1),U5(D1)
2880 LABEL "*"
2890 MOVE T1(F1),U5(F1)
2900 LABEL "*"
2990 PRINT @ PRINT

```

```
3000 PRINT "COEFFICIENT DE VISCOSITEE=";N9;"GPa * s"  
3010 PRINT "COEFFICIENT DE CORRELATION:";C8  
3011 IF N4=1 THEN 3015 ELSE 3019  
3015 N7=N9  
3016 C7=C8  
3019 N4=N4+1  
3020 GOTO 2090  
3033 I  
3120 IMAGE "COEFF. VISCOSITE:",SDDDDZ.DDD,2X,"GPa * s"  
3130 IMAGE "COEFF. CORRELATION:",SDDDDZ.DDD  
4000 IF N4=3 THEN 5000  
4010 GCLEAR  
4015 PLOTTER IS 705  
4020 LIMIT 5,270,5,200  
4030 LOCATE 15,110,15,85  
4040 MOVE 0,0  
4050 MOVE 75,30  
4060 LABEL USING 3120 ; N7  
4070 MOVE 75,27  
4080 LABEL USING 3130 ; C7  
4090 GOTO 1655  
5000 GCLEAR  
5005 PLOTTER IS 705  
5010 LIMIT 5,270,5,200  
5020 LOCATE 15,110,15,85  
5030 MOVE 0,0  
5040 MOVE 75,30  
5060 LABEL USING 3120 ; N7  
5070 MOVE 75,27  
5080 LABEL USING 3130 ; C7  
5085 DISP "CHANGER LA COULEUR PUIS FAIRE 'CONT'"  
5086 PAUSE  
5090 MOVE 75,24  
6000 LABEL USING 3120 ; N9  
6010 MOVE 75,21  
6020 LABEL USING 3130 ; C8  
6030 GOTO 1655
```

ANNEXE C

LISTING PROGRAMME D'ACQUISITION
ESSAI DE TENSION INDIRECTE

```

1 CLEAR @ DISP "BRANCHER LE COFFRE SUR LE 110V (arriere du coffre)"
2 DISP "BRANCHER L'ACTUATEUR #Y SUR LE 110V (arriere du coffre)"
3 DISP "BRANCHER LA PRESSE SUR L'ACTUATEUR #Y (avant du coffre)"
4 DISP "RELIER LA CELLULE DE CHARGE AU CANAL #1"
5 DISP "RELIER LE LECTEUR #19 AU CANAL #2"
6 DISP "RELIER LE LECTEUR #20 AU CANAL #3"
7 DISP @ DISP "FAIRE CONT POUR CONTINUER"
8 PAUSE
9 CLEAR @ DISP "RELIER LE VOLTAGE D'ALIMENTATION DE 10V AU CANAL #4"
10 DISP "RELIER LE VOLTAGE D'ALIMENTATION DE 3V AU CANAL #0"
11 DISP "RELIER LE CABLE DE L'ORDINATEUR A CELUI DU COFFRE"
12 DISP @ DISP
13 DISP "FAIRE CONT POUR COMMENCER"
14 PAUSE
19 PRINTER IS 2
20 DIM X1(201),X2(201),X3(201)
50 DIM Y(201),X4(201)
60 DIM P1(201)
90 DIM W1(201),W2(201),W3(201)
110 MAT X1=(0)
120 MAT X2=(0) @ MAT X4=(0)
130 MAT X3=(0)
200 MAT Y=(0)
240 MAT P1=(0)
320 MAT W1=(0)
330 MAT W2=(0)
340 MAT W3=(0)
350 CLEAR @ DISP "# DE L'ESSAI"
360 INPUT N$
370 CLEAR @ DISP "DATE DU JOUR [JJMMAA]"
380 INPUT J$
390 E=1
400 IF LEN(J$)<>6 THEN 3930
410 DISP @ DISP
420 I$=J$[3,4]&"/"&J$[1,2]&"/19"&J$[5,6]
430 ON ERROR GOTO 3930
440 W5=MDY(I$)
450 DISP "ENTRER L'HEURE [HHMMSS]"
460 INPUT F$
470 E=0
480 IF LEN(F$)<>6 THEN 3930
490 H$=F$[1,2]&": "&F$[3,4]&": "&F$[5,6]
500 DISP @ DISP
510 ON ERROR GOTO 3930
520 A1=HMS(H$) @ SETTIME A1,W5
530 OFF ERROR
540 CLEAR
550 CLEAR @ DISP "DIAMETRE DE LA BRIQUETTE? (EN MM)"
560 INPUT D1
570 CLEAR @ DISP "EPAISSEUR DE LA BRIQUETTE EN MM"
580 INPUT E9
590 CLEAR @ DISP "TEMPERATURE DE L'ESSAI EN CELCIUS"
600 INPUT T9
610 E8=E9/25.4
620 H=D1/25.4
630 H1=D1/1000
640 CLEAR @ DISP "VITESSE DE LA PRESSE ?"
641 INPUT V
670 K1=.069692288
680 OUTPUT 722 ;"RESET"

```

```

700 OUTPUT 722 ; "TERM REAR"
710 OUTPUT 722 ; "CHAN 1"
720 ENTER 722 ; S2
730 OUTPUT 722 ; "CHAN 4"
740 ENTER 722 ; S1
750 S3=S2
760 K2=.098750946
770 K3=.097414283
780 CLEAR @ DISP "FAIRE 'CONT' POUR LECTURES ZERO"
790 PAUSE
800 OUTPUT 722 ; "CHAN 1"
810 ENTER 722 ; V1
820 OUTPUT 722 ; "CHAN 2"
830 ENTER 722 ; V2
840 OUTPUT 722 ; "CHAN 3"
850 ENTER 722 ; V3
860 CLEAR
865 OUTPUT 722 ; "OPEN 9"
866 ON KEY# 4 GOTO 991
870 DISP "AJUSTER LA PRESSE ET FAIRE 'CONT' POUR PARTIR L'ESSAI"
871 DISP "POUR ARRETER L'ESSAI FAIRE K4"
880 PAUSE
885 OUTPUT 722 ; "PRESET"
890 OUTPUT 722 ; "CLOSE 9"
900 A=TIME
920 OUTPUT 722 ; "TERM REAR"
925 OUTPUT 722 ; "SADV AUTO"
930 OUTPUT 722 ; "SLIST 1,2,3"
935 Q1=TIME
940 FOR I=1 TO 200
950 ENTER 722 ; W1(I),W2(I),W3(I)
990 NEXT I
991 Q2=TIME
995 OUTPUT 722 ; "OPEN 9"
1000 N1=I-1
1011 T8=(Q2-Q1)/N1
1020 CLEAR @ DISP @ DISP @ DISP @ DISP @ DISP @ DISP @ DISP
1030 DISP "          PATIENCE JE CALCULE"
1040 Y(0)=0
1050 FOR J=1 TO N1
1060 Y(J)=Y(J-1)+T8*V/60
1070 NEXT J
1080 FOR I=1 TO N1
1090 P1(I)=(W1(I)-V1)/K1/S1*10^3
1091 IF P1(I)<0 THEN P1(I)=0
1100 X1(I)=-((W3(I)-V3)/K3/S3*10^3)
1110 X2(I)=-((W2(I)-V2)/K2/S2*10^3)
1120 X4(I)=X1(I)+X2(I)
1121 IF X4(I)<0 THEN X4(I)=0
1122 X3(I)=(X1(I)+X2(I))/2
1130 NEXT I
1140 S=.042 @ I=3
1150 IF P1(I)>S THEN 1850 ELSE 1840
1840 J=J+1 @ GOTO 1150
1850 F2=P1(I)-S @ F3=S-P1(I-1)
1860 IF F2>F3 THEN GOTO 1880
1870 S=1 @ GOTO 1890
1880 S=I-1
1890 B=Y(S) @ P1(S)=0
1900 FOR I=S TO N1

```

```

1910 Y(I)=Y(I)-B
1920 NEXT I
1930 ! SORTIE A L'IMPRIMANTE
1940 PRINT "===== "
1950 PRINT "          ESSAI BRESILIE"
1960 PRINT "===== "
1970 PRINT I$
1980 PRINT "NUMERO:";N$
1990 PRINT "          DEPLACEMENT"
2000 PRINT " # CHARGE          LATERAL  VERTICAL"
2010 PRINT "-----"
2020 FOR I=S TO N1 STEP 4
2030 PRINT USING 5000 ; I,P1(I),X4(I),Y(I)
2040 NEXT I
2050 PRINT "-----"
2060 M=AMAX(P1)
2061 I=AMAXROW
2062 I1=I
2063 D3=X4(I)
2064 V8=Y(I)
2065 D4=X3(I)
2066 L8=Y(N1)
2067 L7=X4(N1)
2068 L6=CEIL(M)
2069 L5=CEIL(L8)
2070 GOTO 6000
2100 CLEAR @ DISP "FIN DE L'ESSAI"
2110 END
3810 !
3930 BEEP 20,250
3940 IF E=0 THEN CLEAR @ DISP "LE FORMAT DE L'HEURE N'EST PAS VALIDE" @ GOT
0 450
3950 CLEAR @ DISP "LE FORMAT DE LA DATE N'EST PAS VALIDE" @ GOTO 370
3980 IMAGE UDD,2X,SDDZ,DDDD,3X,SDDZ.DDD,SDDZ.DDD,3X,SDDZ.DDD
5000 IMAGE DDD,X,SDD.DDDD,2X,SD.DDDD,3X,SDD.DDDD
6000 CLEAR @ DISP "VOULEZ-VOUS ENREGISTRER L'ESSAI"
6001 INPUT E$
6002 IF E$="0" THEN 9000 ELSE 9105
6310 !
6320 !
9000 CREATE N$,650,8 ! CREATION D'UN FICHER
9010 ASSIGN# 1 TO N$ ! OUVERTURE DU FICHER DE DATA
9020 PRINT# 1 ; N$,I$,H$,D1,E9,T9,E8,H,H1,V,N1,S,M,I1,D3,V8,L8,L7,L6,D4
9030 FOR H=1 TO N1
9040 PRINT# 1 ; P1(H),X4(H),Y(H)
9050 NEXT H
9060 ASSIGN# 1 TO * ! FERMETURE DU FICHER
9070 CLEAR @ DISP "VOULEZ-VOUS FAIRE UN AUTRE ESSAI ?"
9071 INPUT O$
9072 IF O$="0" THEN 10
9100 CLEAR @ DISP "POUR CONTINUER FAIRE / LOAD BRESILE "
9105 CLEAR @ DISP "FIN DE L'ESSAI "
9110 END

```

```

1 CLEAR
2 GCLEAR
10 DIM P2(201),P3(201),X5(201)
20 DIM X6(201),P9(201),Z3(201)
30 DIM Z4(201)
40 DIM P1(201),X4(201),Y(201)
80 DISP "QUEL EST LE NUMERO DE L'ESSAI ?"
90 INPUT F$
100 ASSIGN# 1 TO F$
110 READ# 1 ; N$,I$,H$,D1,E9,T9,E8,H,H1,U,N1,S,M,I1,D3,U8,L8,L7,L6,D4
120 FOR I=1 TO N1
130 READ# 1 ; P1(I),X4(I),Y(I)
140 NEXT I
150 ASSIGN# 1 TO *
160 CLEAR @ DISP "VOULEZ-VOUS UN GRAPHE DE LA CHARGE / DEFORMATION LATERALE
?"
161 DISP "O/N"
162 INPUT R$
163 IF R$="N" THEN 8000 ELSE 165
165 CLEAR @ DISP "METTRE UNE FEUILLE ET FAIRE CONTI "
166 PAUSE
167 CLEAR
168 PLOTTER IS 705
169 LIMIT 2,270,2,200
170 FRAME
171 MOVE 50,2
172 LABEL "DEFORMATION LATERALE (mm)"
173 MOVE 90,97
174 LABEL I$
175 MOVE 90,94
176 LABEL "ESSAI NO: ";N$
177 MOVE 90,91
178 LABEL "VITESSE PRESSE : ";U;"mm/min"
179 MOVE 90,88
180 LABEL "TEMPERATURE : ";T9;"CELCIUS"
181 DEG @ LDIR 90
182 MOVE 3,45
183 LABEL "CHARGE (KN)"
184 DEG @ LDIR 0
185 MOVE 15,97
186 LABEL "CHARGE / DEFORMATION LATERALE"
187 LOCATE 15,110,15,85
188 SCALE 0,L7,0,L6
189 LAXES .1,.1,0,0,10,10
190 MOVE 0,0
191 CLEAR @ DISP "CHANGER LA COULEUR ET FAIRE CONTI "
192 PAUSE
193 FOR I=S TO N1
194 PLOT X4(I),P1(I)
195 NEXT I
196 MOVE 0,M
197 DRAW D3,M
198 DRAW D3,0
199 GOTO 6000
200 !
210 !
220 !
230 !
240 CLEAR @ DISP "METTRE UNE FEUILLE ET FAIRE 'CONTI'"
250 PAUSE

```

```

260 PLOTTER IS 705
270 LIMIT 2,270,2,200
280 MOVE 50,2
290 LABEL "DEFORMATION LATERALE (mm)"
300 MOVE 90,94
310 LABEL "ESSAI NO: ";N$
320 MOVE 90,91
330 LABEL "VITESSE PRESSE : ";V;"mm/min"
340 MOVE 90,97
350 LABEL I$
360 MOVE 90,88
370 LABEL "TEMPERATURE : ";T9;"celcius"
380 DEG @ LDIR 90
390 MOVE 5,40
400 LABEL "DEFORMATION VERTICALE (mm)"
410 DEG @ LDIR 0
440 MOVE 15,97
450 LABEL "DEFORMATION VERTICALE/ DEFORMATION LATERALE"
460 FRAME
470 LOCATE 15,110,15,85
480 SCALE 0,L7,0,L8
490 LAXES .1,.1,0,0,10,10
500 MOVE 0,0
510 CLEAR @ DISP "CHANGER LA COULEUR ET FAIRE 'CONT'"
520 PAUSE
530 FOR I=S TO N1
540 PLOT X4(I),Y(I)
550 NEXT I
580 CLEAR
590 MOVE 0,V8
600 DRAW D3,V8
610 DRAW D3,0
620 CLEAR
630 A0=.156 @ A1=.0673 @ A2=-.2494 @ A3=.2692 @ A4=-.9974 @ A5=.03896 @ A6=
-.1185
640 B1=-.8954 @ B2=-.0156 @ B3=-.1185 @ B4=.03896
890 N7=D3/V8
950 F8=2*M/(3.14159265*E9/1000*H1)
960 F7=M*1000/9.806*2.2/E8*A0*6.895
970 F6=D3/25.4*((A5-N7*A6)/(A1-N7*A2))
980 F5=V8/25.4*((B3-N7*B4)/(B1-N7*B2))
990 M7=S8/E8*(A3-N7*A4)*6.895/1000
1000 GOTO 1050
1050 PRINT "CARACTERISTIQUES DE L'ESSAI"
1051 PRINT "*****"
1052 PRINT
1060 PRINT USING 1230 ; M
1070 PRINT
1080 PRINT USING 1240 ; D4
1081 PRINT
1090 PRINT USING 1250 ; D3
1091 PRINT
1100 PRINT USING 1260 ; F8
1101 PRINT
1110 PRINT USING 1270 ; F7
1111 PRINT
1120 PRINT USING 1280 ; F6
1121 PRINT
1130 PRINT USING 1290 ; F5
1131 PRINT

```



```

1140 PRINT USING 1300 ; M7
1150 PRINT
1160 PRINT USING 1310 ; N7
1161 PRINT
1170 PRINT USING 1320 ; C9
1171 PRINT
1190 GOTO 9002
1200 !
1230 IMAGE "CHARGE MAX: ",2X,SDDZ.DD,2X,"KN"
1240 IMAGE "DEFORMATION LATÉRALE MOYENNE: ",3X,SDD.DDD,2X,"mm"
1250 IMAGE "DEFORMATION LATÉRALE TOTALE : ",3X,SDD.DDD,2X,"mm"
1260 IMAGE "FORCE DE TENSION INDIRECTE: ",SDDDDD.DDD,2X,"kPa"
1270 IMAGE "FORCE DE TENSION: ",SDDDDD.DDD,1X,"kPa"
1280 IMAGE "TENSILE STRAIN: ",SDDDD.DDDD
1290 IMAGE "COMPRESSIVE STRAIN: ",SDDDD.DDDD
1300 IMAGE "MODULE D'ÉLASTICITÉ: ",SDD.DD,1X,"MPa"
1310 IMAGE "COEFFICIENT DE POISSON: ",SDD.DD
1320 IMAGE "COEFFICIENT DE CORRELATION GRAPHE # 1: ",SD.DDD
1340 !
1350 !
6000 CLEAR @ DISP "VOULEZ-VOUS UNE REGRESSION LINEAIRE ?"
6001 INPUT R1$
6002 IF R1$="0" THEN 6050 ELSE 8000
6050 MAT P2=(0)
6051 MAT P3=(0)
6052 MAT X5=(0)
6053 MAT X6=(0)
6054 MAT Z3=(0)
6055 MAT Z4=(0)
6056 MAT P9=(0)
6100 CLEAR @ DISP "# DE LA DUNNEE DU DEBUT DE L'INTERVAL "
6110 INPUT G1
6120 DISP "# DE LA DUNNEE DE LA FIN DE L'INTERVAL "
6130 INPUT J1
6140 FOR I=G1 TO J1
6150 P2(I)=P1(I)
6160 P3(I)=P1(I)^2
6170 X5(I)=X4(I)
6180 X6(I)=X4(I)^2
6190 P9(I)=X4(I)*P1(I)
6200 NEXT I
6210 N3=J1-G1+1
6220 O2=(SUM(P2)*SUM(X6)-SUM(X5)*SUM(P9))/(N3*SUM(X6)-SUM(X5)^2)
6230 M2=(N3*SUM(P9)-SUM(X5)*SUM(P2))/(N3*SUM(X6)-SUM(X5)^2)
6240 C9=SUM(P9)/SQR(SUM(X6)*SUM(P3))
6250 FOR I=S TO I1+10
6260 Z3(I)=X4(I)
6270 Z4(I)=O2+M2*Z3(I)
6280 IF I=N1 THEN 6300
6290 NEXT I
6300 S8=(Z4(I1)-Z4(S))/0.004448/((Z3(I1)-Z3(S))/25.4)
6330 MOVE 0,O2
6340 PLOT Z3(S),Z4(S)
6350 PLOT Z3(I1+5),Z4(I1+5)
6360 MOVE X4(G1),P1(G1)
6370 LABEL "*"
6380 MOVE X4(J1),P1(J1)
6390 LABEL "*"
7000 DISP "VOULEZ-VOUS UNE AUTRE REGRESSION LINEAIRE ?"
7001 INPUT R2$

```

```
7002 IF R2$="N" THEN 8000 ELSE 6050
8000 CLEAR @ DISP "VOULEZ-VOUS UN GRAPHE DEFORMATION VERTICALE / LATERALE ?
"
8001 INPUT R3$
8002 IF R3$="N" THEN 9000 ELSE 240
9000 CLEAR @ DISP "FIN DE L'ESSAI "
9002 CLEAR @ DISP "VOULEZ-VOUS TRAITER UN AUTRE ESSAI?"
9003 INPUT A$
9004 IF A$="O" THEN 1 ELSE 9010
9010 CLEAR @ DISP "FIN "
9015 END
```

T. Bouant

PROJET

PROJET

**MELANGES BITUMINEUX
PROPOSITIONS 1989**

	MB-16	MB-12,5
(mm)		
20	100	
16	98-100	100
12.5	80-92	98-100
10	65-82	75-92
5	45-60	45-65
2.5	35-50	35-50
1.25	23-42	23-42
630	15-35	15-35
315	10-26	10-26
160	5-17	5-17
80	2-6	2-6

	CIRCULATION		CIRCULATION	
	FORTE	NORMALE	FORTE	NORMALE
BITUME	4-7	4-7	4-7	4-7
FEUJAGE	2-4	2-4	2-4	2-4
STABILITE*	9000	6700	9000	6700
%VIDES**	4	3	4	3
%V.A.M. COMBLE	MAX 75	MAX 85	MAX 75	MAX 85
%RECYCLE	MAX 20	MAX 20	MAX 20	MAX 20
COMPACITE	92	92	92	92
PEN. BITUME	85-100	85-100	85-100	85-100
FEUIL B. E.	VOIR C.C.D.G. EDITION 1986			

*Voir C.C.D.G. edition 1986

(88-12-06)

**Design: a partir des vides vises

Taux de pose minimum: MB 16 90 kg/m2

ANNEXE D

COMPOSITION MELANGE MB-16

COMPOSITION DU MELANGE MB-16

TAMIS	% PASSANT	RET. CUM.	AGREGAT CUM. (g)
20	100	0	0
16	99	1	11.81
12.5	86	14	165.34
10	73.5	26.5	312.97
5	52.6	47.5	560.98
2.5	42.5	57.5	679.08
1.25	32.5	67.5	797.18
630	25	75	885.75
315	18	82	968.42
160	11	89	1051.09
80	4	96	1133.76
PLAT	0	100	1181.00

% bitume = 5.5 donc 69.0 grammes de bitume
 1181.0 grammes d'agregats

BIBLIOGRAPHIE

HONGROS, G, The evaluation of Poisson ratio and the modulus of materials of low tensile resistance by the brazilian test with partial reference to concrete, Australia Journal of applied sciences, 1959, vol 10,no 3.

DEPARTEMENT OF TRANSPORTATION, MAUPIN, G.W. and FREEMAN, J.R., Simple procedure for fatigue characterization of bituminous concrete, report no.FHWA-RD-76-102, JUNE 1976.

NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM REPORT 192,Predicting moisture induced damage to asphaltic concrete, Robert P. Lottman, university of IDAHO, MOSCOW, IDAHO, 1972.

DORLOT, BAILON, MASOUNAVE, Des materiaux, edition de l'école polytechnique de Montréal, 2 éme édition, 1986, 467 pages.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 199 039