

**COMPACTAGE D'EPROUVETTES D'ENROBES HYDROCARBONES
PAR VIBRO-COMPRESSION**

**Verdichtung von Prüfkörpern durch kombinierte
Rüttel-Druck-Verdichtung**

**Laboratoire des voies de circulation (LAVOC)
de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne
A.-G. Dumont, ing. dipl. EPF
A.-H. Assef-Vaziri, ing. dipl. EPF**

**Travail de recherche 18/83 sur proposition de
l'Union des professionnels suisses de la route (VSS)**

Avril 1988

TABLE DES MATIERES

	Page
0. RESUME	3
1. INTRODUCTION	5
1.1 Mandat	5
1.2 But de la recherche	5
1.3 Etapes de travail	6
2. PRINCIPE DE L'ESSAI ET APPAREILLAGE	7
2.1 Principe de l'essai	7
2.2 Appareillage	8
3. MATERIAUX	10
3.1 Formules utilisées	10
3.2 Préparation des éprouvettes par vibro-compression	10
3.3 Modes de compactage	11
4. INTENSITE DE COMPACTAGE	13
4.1 Comparaison des programmes de compactage	13
4.2 Compactage de différents enrobés avec le programme n° 2	16
4.3 Influence des étuis	17
4.4 Programmes de compactage avec étuis modifiés	19
4.5 Compactage de différents enrobés avec le programme n° 11 et des étuis modifiés	20

	Page
4.6 Vérification de l'influence des étuis après leur modification	22
4.7 Relation entre compactage par vibro-compression (étui modifié) et compactage Marshall	23
 5. HOMOGENEITE	 25
5.1 Etude au banc gamma de la répartition de la teneur en vides, étuis non modifiés	25
 6. CARACTERISTIQUES MECANQUES	 30
6.1 Caractéristiques mécaniques en fonction du mode de compactage	30
6.2 Caractéristiques mécaniques de différentes formules compactées par vibro-compression (programme n° 11, étuis modifiés)	33
 7. CONFECTION D'EPROUVETTES A TENEUR EN VIDES DONNEE	 39
 8. CONCLUSIONS	 40
 9. BIBLIOGRAPHIE	 42

A N N E X E S

FICHES DESCRIPTIVES DES APPAREILS D'ESSAIS

0. RESUME

Les essais menés au LAVOC ont montré que la fabrication en laboratoire d'éprouvettes d'enrobé hydrocarboné par vibro-compression est tout à fait possible.

Pour les formules d'enrobé traditionnelles, on peut déterminer un programme de compactage par vibro-compression qui donne des teneurs en vides proches de celles obtenues par le compactage Marshall.

Par ailleurs, on a observé la grande sensibilité de ce mode de compactage sur trois enrobés de formulation très semblables. On a obtenu des compacités presque identiques lorsque les enrobés sont compactés selon l'essai Marshall, alors que les compacités étaient nettement différentes lors du compactage par vibro-compression. Ce mode de compactage semble donc être un bon indicateur de la compactibilité, ou de l'aptitude au compactage.

Les essais au banc gamma ont montré que les éprouvettes fabriquées par vibro-compression ont une répartition de vides assez homogène, en tout cas meilleure que celle obtenue par d'autres méthodes comme Marshall ou presse à cisaillement giratoire. Toutefois, on a constaté que la partie inférieure de l'éprouvette a une compacité légèrement supérieure à celle de la partie supérieure.

Les résultats des essais de compression diamétrale ont montré qu'en général les caractéristiques mécaniques des

0. ZUSAMMENFASSUNG

Die Versuche, welche im LAVOC durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass die labormässige Herstellung von Prüfkörper aus bituminösen Mischgut mittels Rüttel-Druck-Verdichtung sehr gut möglich ist.

Für die traditionellen Mischgut-rezepturen kann mit der Rüttel-Druck-Verdichtung ein Verdichtungsablauf festgelegt werden, bei welchem annähernd derselbe Hohlraumgehalt wie jener mit Marshallverdichtung erreicht wird.

Des weiteren konnte eine hohe Empfindlichkeit dieses Verdichtungsverfahrens auf drei Mischungen mit sehr ähnlichen Mischgutrezepturen festgestellt werden. Während mit der Marshallverdichtung drei fast identische Raumgewichte resultierten, konnten hingegen deutlich unterschiedliche Raumgewichte mit der Rüttel-Druck-Verdichtung festgestellt werden. Diese Verdichtungsmethode scheint die Verdichtbarkeit besonders gut aufzuzeigen.

Versuche auf dem Gamma-Prüfstand haben gezeigt, dass bei Prüfkörpern, welche mit Rüttel-Druck verdichtet wurden, die Hohlräume homogener verteilt waren als bei solchen, welche mit anderen Methoden verdichtet wurden. Es wurde jedoch festgestellt, dass der innere Teil des Prüfkörpers eine leicht höhere Verdichtung aufweist als die oberflächennahen Teile.

Die Resultate des Spaltzugversuches haben gezeigt, dass die mechanische Eigenschaften der mit Rüttel-Druck-Verdichtung

épreuves fabriquées par vibro-compression sont acceptables et qu'elles présentent des contraintes de rupture à + 45 °C aussi bien qu'à - 10 °C comparables, à teneur en vides équivalentes. Par contre, les déformations verticales, en particulier à + 45 °C, sont généralement nettement plus faibles. Ces éprouvettes de laboratoire sont donc plus rigides que celles prélevées dans la chaussée.

Le compactage d'éprouvettes par vibro-compression peut être un bon instrument pour évaluer la compactibilité des bétons bitumineux; par contre, les éprouvettes ainsi fabriquées ne permettent pas, compte tenu de leur grande rigidité, de bien évaluer le comportement mécanique du matériau mis en oeuvre sur chantier.

hergestellten Prüfkörper akzeptable Werte erreichen, und dass bei gleichem Hohlraumgehalt die Bruchspannung bei + 45 °C sowie - 10 °C vergleichbar sind. Die vertikalen Verformungen sind dagegen, besonders bei + 45 °C, bedeutend geringer. Diese im Labor hergestellten Prüfkörper sind im Vergleich zu solchen, welche der Strasse entnommen werden um einiges steifer.

Die Verdichtung von Prüfkörper mit der Rüttel-Druck-Verdichtung ist eine gute Methode zur Bestimmung der Verdichtbarkeit von Asphaltbeton; hingegen erlauben nach dieser Methode hergestellte Prüfkörper aufgrund ihrer erhöhten Steifigkeit nicht, das mechanische Verhalten des an Baustellen eingesetzten Materials zu bestimmen.

1. INTRODUCTION

1.1. Mandat

Se référant à la proposition de la Commission VSS-4 "Matériaux", la Commission de recherches en matière de construction de routes du Département fédéral des transports, des communications et de l'énergie a confié au Laboratoire des Voies de Circulation (LAVOC) de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) un mandat de recherche portant sur la "fabrication d'éprouvettes d'enrobés hydrocarbonés par vibro-compression" (mandat n° 18/83).

1.2. But de la recherche

A l'heure actuelle, il n'existe pas de méthode de compactage en laboratoire fournissant des éprouvettes aux dimensions voulues et à des teneurs en vides prédéterminées avec un appareillage peu coûteux. Des expériences effectuées au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées [1] montrent que le compactage par vibro-compression appliqué à des bétons hydrocarbonés donne d'excellents résultats et que la répartition des vides au sein des éprouvettes est très homogène.

Parmi les points intéressants de ce mode de compactage, on peut citer :

- l'utilisation d'un appareillage relativement peu coûteux,
- la mise en oeuvre d'efforts de compression plutôt faibles et donc limitant l'attrition des granulats,
- la mise en vibration du matériau qui a pour effet de faciliter le réarrangement des grains,
- la rapidité d'exécution de l'essai qui évite d'avoir recours à un conditionnement thermique du moule ou de l'appareillage,
- la possibilité de fabriquer des éprouvettes avec une teneur en vides déterminée.

Le but principal de cette recherche est de répondre aux questions suivantes :

- Le compactage par vibro-compression permet-il de confectionner en laboratoire de façon satisfaisante des éprouvettes d'enrobés hydrocarbonés ?
- Quelles sont les valeurs des paramètres de compactage qui permettent d'obtenir des teneurs en vides proches de celles obtenues par compactage Marshall ou sur chantier (temps de charge, fréquence de vibration, effort vertical) ?
- La répartition des vides au sein des éprouvettes fabriquées par vibro-compactage est-elle homogène ?
- Le comportement mécanique des éprouvettes ainsi fabriquées est-il identique à celui des matériaux dans la chaussée ?

1.3. Etapes de travail

Pour répondre à ces questions, la recherche a été divisée en plusieurs parties :

- Détermination de plusieurs programmes de compactage en variant le temps de compactage et la pression verticale;
- Comparaison de ces programmes de compactage en utilisant un seul type d'enrobé, cette méthode permettant de déterminer le programme donnant des teneurs en vides proches de celles obtenues avec le compactage Marshall et sur chantier;
- Application du programme choisi à d'autres types d'enrobés;
- Etude de l'homogénéité des éprouvettes par l'essai de détermination des teneurs en vides à l'aide du banc gamma;
- Etude des caractéristiques mécaniques à l'aide de l'essai de compression diamétrale des éprouvettes fabriquées par vibro-compression.

2. PRINCIPE DE L'ESSAI ET APPAREILLAGE

2.1. Principe de l'essai

Le principe du compactage par vibro-compression consiste à transmettre, à un étui cylindrique contenant le matériau hydrocarboné, une vibration horizontale et à appliquer simultanément une faible pression verticale à l'éprouvette.

L'effet de la vibration horizontale bidirectionnelle peut s'apparenter à celui produit sur chantier par les rouleaux vibrants. Les grains composant le mélange sont mis en mouvement les uns par rapport aux autres, diminuant ainsi dans une grande mesure la cohésion du squelette granulaire. L'arrangement intergranulaire se fait donc plus facilement que lors d'un compactage statique comme pour l'essai Marshall [2] ou Duriez [3].

De plus, l'échantillon est soumis à un effort vertical que l'on peut augmenter au cours du compactage. Ainsi, l'effet de l'augmentation de la contrainte s'ajoute à celui du pétrissage pour l'obtention d'une compacité maximale du matériau.

La figure 2.1 schématise le principe de compactage par vibro-compression.

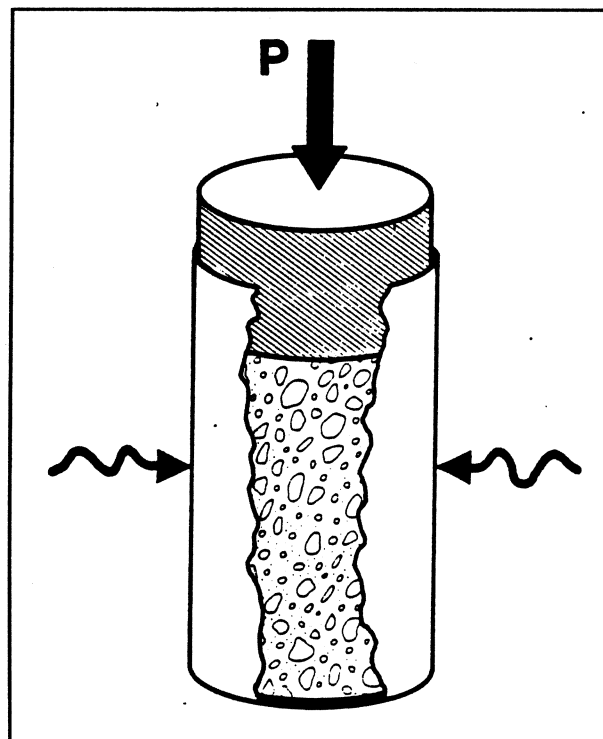


Figure 2.1
Principe du compactage par
vibro-compression

2.2. Appareillage

La figure 2.2 représente la machine de compactage par vibro-compression.

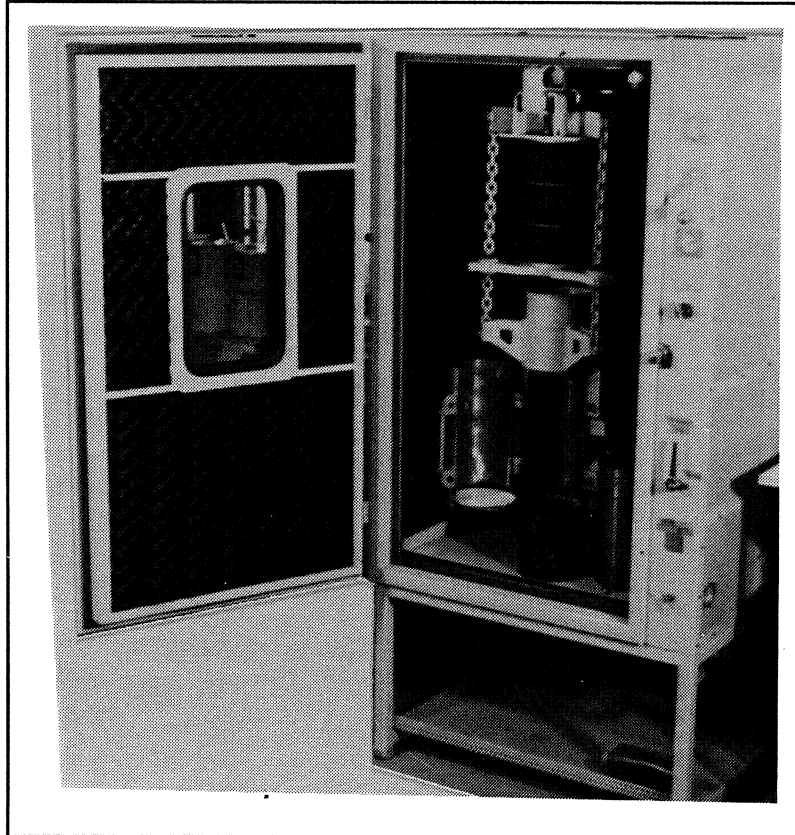


Figure 2.2
Armoire de compactage

L'appareillage est constitué d'un moule muni d'une porte articulée maintenue fermée lors du compactage par deux boulons. Il est obturé à sa partie inférieure par un fond solidaire de la porte. Le moule est équipé d'un turbo-vibrateur dont l'axe est vertical et parallèle à l'axe du moule.

Ce système est suspendu par 3 chaînes à un socle sur lequel s'appuie un vérin souple de compression axiale. L'extrémité mobile de ce vérin est guidée par une plaque. Un tampon amovible transmet au matériau la force générée par le vérin.

Le socle est relié par une suspension élastique au plafond d'une cabine insonorisée.

Le turbo-vibrateur et le vérin sont alimentés par un circuit pneumatique. Des organes de commande, de régulation et de contrôle permettent de faire varier les paramètres de compactage.

Lors du compactage, le matériau est placé dans un étui (ou contre-moule) qui est introduit dans le moule suspendu.

La figure 2.3 schématise l'ensemble de la machine.

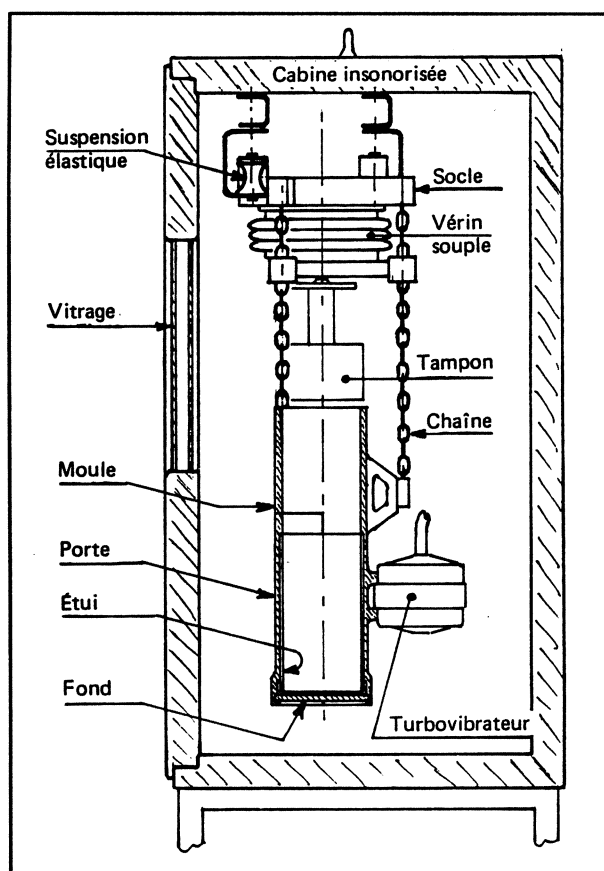


Figure 2.3
*Schéma de l'appareil de
compactage par vibro-compression*

Caractéristiques de l'appareil

- Cabine, encombrement:	largeur	: 0,910	m
	profondeur	: 0,75	m
	hauteur	: 1,885	m
- Niveau acoustique porte ouverte:		: 110	dB
	porte fermée :	: 76	dB
- Consommation totale d'air comprimé:		: 1'800	dm ³ /min
- Pression maximale d'alimentation:		: 8	bars
- Charge axiale sous 1 bar et course de 200 mm		: 410	daN
- Fréquence maximale:		: 250	Hz
- Amplitude maximale:		: 2	mm
- Dimensions des éprouvettes confectionnées:	diamètre	: 160	mm
	hauteur min	: 130	mm

3. MATERIAUX

3.1. Formules utilisées

Les essais ont été effectués sur cinq types de béton bitumineux AB 16 et HMT 25 de différentes compositions. Le tableau 3.1 donne la composition de ces cinq formules.

Tableau 3.1 : Composition des formules utilisées

N°	1	2	3	4	5
Type d'enrobé	AB 16 _{us}	AB 16 _s	AB 16	AB 16 _s macro-rugueux	HMT 25 _s
liant	B 60/70 dopé	B 60/70	B 80/100	Bitume modifié aux polymères	B 60/70 dopé
Composition granulométrique (%)					
Filler	9.06	7.32	7.77	8.96	7.59
0/3	32.9	38.2	24.4	20.6	22.4
3/6	11.4	19.9	17.2	0.8	12.0
6/10	6.4	18.0	17.2	2.2	16.8
10/16	38.1	15.4	20.0	63.2	10.2
16/25	2.3	1.2	13.4	4.3	28.1
25/31.5					3.0
Teneur en liant sur granulat (%)	5.04	5.52	5.12	5.18	4.52

3.2. Préparation des éprouvettes par vibro-compression

Les matériaux utilisés ont été prélevés en centrale sur une même gâchée et conditionnés en cartons de 25 kg. Simultanément l'on a repéré sur route et autoroute la position exacte où ce même matériaux avait été mis en oeuvre afin d'effectuer le prélèvement d'éprouvettes carottées que nous désignons "chantier" (sauf pour la formule n° 3).

En laboratoire, cinq éprouvettes identiques sont fabriquées lors de chaque essai de vibro-compression (une formulation et un programme de compactage). Après réchauffage du matériau en vrac au four à micro-onde jusqu'à environ 140 °C pendant environ 15 minutes, les masses nécessaires à chaque éprouvette sont pesées au gramme et placées dans l'étui que l'on ferme par une pastille

métallique. Le tout est ensuite laissé 1 heure en étuve à 145, respectivement 150 °C, avant d'être compacté.

Tous les résultats donnés ci-après correspondent à la moyenne de cinq éprouvettes.

3.3. Modes de compactage

Pour comparer le compactage par vibro-compression avec d'autres modes de compactage, les cinq types d'enrobé utilisés ont été compactés par damage selon la méthode Marshall [2] et à la presse à cisaillement giratoire (PCG) [4]. Des carottes ont été prélevées dans les chaussées pour quatre des cinq matériaux et sont désignées ci-après: éprouvettes "chantier". La formule n° 3 au B 80/100 a été compactée à 145 °C alors que la température de compactage a été de 150 °C pour les autres formules.

Le tableau 3.2 présente les résultats obtenus.

Tableau 3.2 : Résultats des compactages Marshall, PCG et "chantier" pour les cinq formules utilisées

	1	2	3	4	5
COMPACTAGE MARSHALL					
Teneur en vides (%) (hydrostatique)	2.98	3.02	2.97	4.93	3.51
Stabilité (KN)	12.92	12.68	8.44	8.39	11.99
Fluage (mm)	3.95	3.77	2.35	3.55	2.72
Stabilité/fluage (KN/mm)	3.27	3.36	3.59	2.36	4.40
COMPACTAGE PCG					
Teneur en vides à l'origine (%)	20.76	22.22	23.35	27.93	24.19
Teneur en vides à 60 girations (%)	4.49	5.72	6.02	9.82	7.86
Teneur en vides à 200 girations (%)	1.40	1.53	1.49	4.71	3.41
Pente de la courbe de compacité	3.85	3.99	4.20	4.41	3.97
Nombre de girations pour lequel vides Marshall = vides PCG	100	120	150	<200	>200
EPROUVETTES "CHANTIER"					
Teneur en vides (%) (hydrostatique)	3.17	4.19	-	4.70	5.86
TAUX DE COMPACTAGE	99.8	98.8	-	100.2	97.6

On remarque que pour les formules n° 1 et n° 4, la teneur en vides moyenne obtenue sur les éprouvettes prélevées dans la chaussée est proche de celle obtenue par compactage Marshall.

La formule n° 1 a été utilisée lors de la comparaison de différents programmes de compactage par vibro-compression afin de déterminer le programme qui donne des teneurs en vides proches de celles obtenues par compactage Marshall et de celles des éprouvettes prélevées dans la chaussée (compactage "chantier").

En général, le nombre relativement élevé de girations (de 100 à plus de 200) nécessaires pour obtenir la compacité Marshall montre que nous avons affaire à des matériaux difficilement compactables.

4. INTENSITE DE COMPACTAGE

Les paramètres suivants déterminent le niveau de compactage par vibro-compression :

- temps de vibration
- intensité de la pression verticale

L'amplitude de la vibration horizontale a toujours été maintenue constante. La pression d'alimentation du vibreur a été limitée à 5 bars pour l'ensemble de l'étude.

4.1. Comparaison des programmes de compactage

Différents programmes de compactage ont été utilisés pour déterminer celui donnant des teneurs en vides proches de celles obtenues par compactage Marshall et de celles obtenues sur éprouvettes chantier. Les huit programmes retenus (n° 1 à 8) font appel à deux pressions verticales (0.5 et 1.0 bar) et des temps de compactage entre 1 et 4 minutes. Le programme n° 8 comprend deux phases; tout d'abord 90 secondes de mise en place à 0.5 bar puis 30 secondes avec 1 bar pour consolider l'éprouvette.

Cette phase d'étude a été faite sur le matériau de la formule 1 (AB 16us au bitume B 60/70).

Le tableau 4.1 donne les caractéristiques des programmes de la première phase d'étude.

Tableau 4.1 : Programmes de compactage par vibro-compression

Programme n°	1	2	3	4	5	6	7	8	
Pression verticale [bar]	0.5	0.5	0.5	0.5	1	1	1	0.5*	1**
Temps de compactage [min]	1	2	3	4	2	3	4	1.5	0.5
Pression de vibration horizontale [bar]	5								

* Pression verticale pendant les 90 premières secondes

** Pression verticale pendant les 30 dernières secondes

Le tableau 4.2 récapitule les valeurs des teneurs en vides moyennes obtenues sur des éprouvettes compactées par vibro-compression selon différents programmes de compactage

Tableau 4.2 : Teneurs en vides [%] (mesure hydrostatique) selon différents programmes de compactage, formule n° 1

Programme de compactage	Teneur en vides [%]
1	4.35
2	3.08
3	2.19
4	1.90
5	4.84
6	4.70
7	3.62
8	2.21
Chantier	3.17
Marshall	2.98

La figure 4.1 représente les teneurs en vides en fonction du temps de compactage et de la pression verticale.

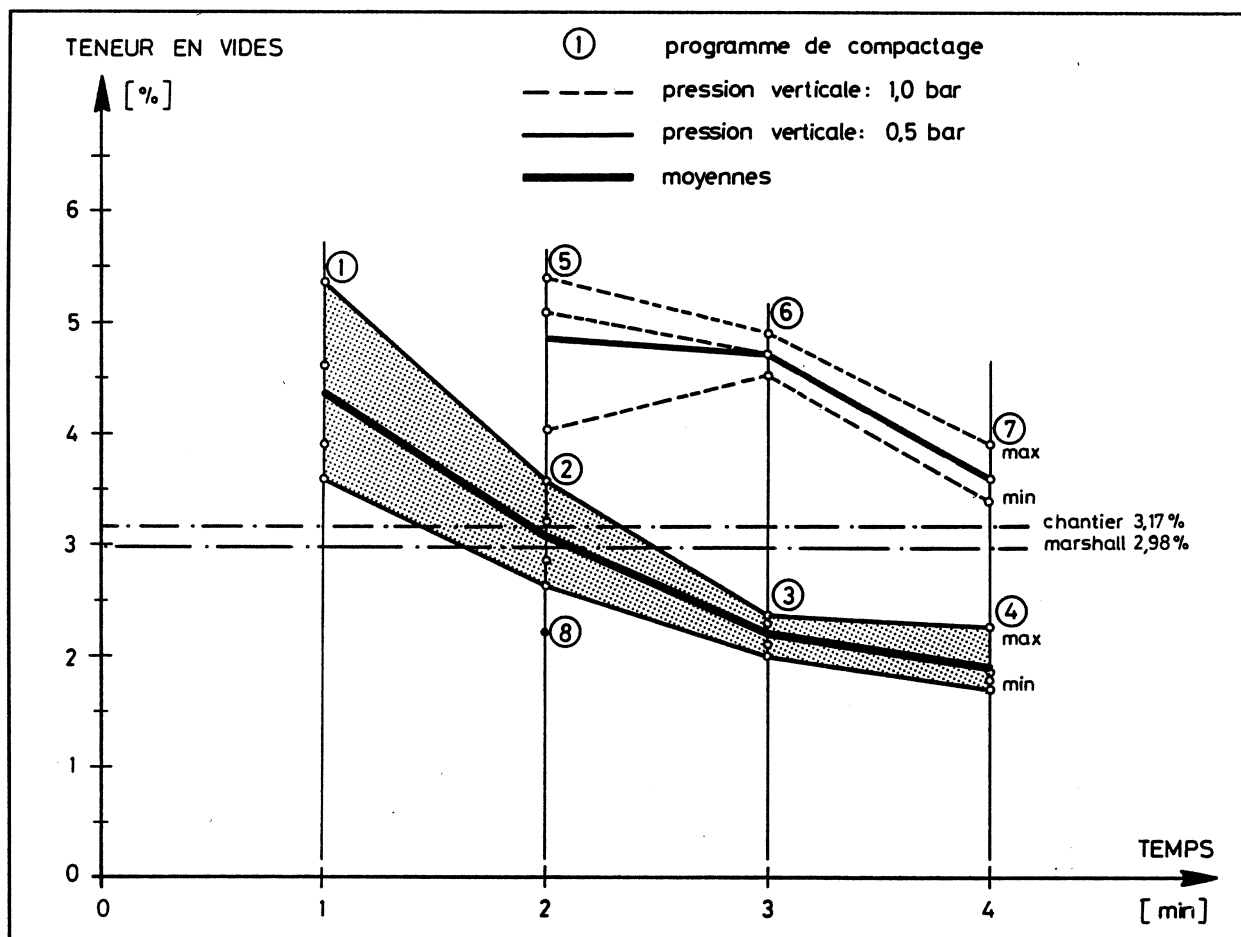


Figure 4.1
Teneurs en vides en fonction du temps de compactage
et de la pression verticale, formule n° 1

Tout d'abord, il est constaté que la plus forte pression verticale (1 bar) n'apporte pas la compacité la plus élevée. La compacité est en moyenne de 2 % plus élevée avec la pression de 0.5 bar. La plus forte pression empêche les mouvements relatifs des grains alors que l'on aurait pu supposer qu'elle forcerait le matériau à se serrer.

Ces résultats montrent aussi que le programme n° 2 donne des valeurs de teneurs en vides (3.08 %) qui se situent entre celles obtenues sur chantier (3.17 %) et celles obtenues par compactage Marshall (2.98 %).

Ce programme n° 2 (2 minutes à 0.5 bar) est appliqué à tous les autres mélanges dans la deuxième phase de l'étude.

4.2. Compactage de différents enrobés avec le programme n° 2

Les essais effectués à la presse à cisaillement giratoire (PCG) ont montré que la formule n° 1 se compactait plus facilement que les autres formules. En effet, nous avons vu (tableau 3.2) qu'il faut 100 girations avec celle-ci pour obtenir une compacité équivalant à la compacité Marshall alors que pour les autres enrobés, un nombre de girations plus élevé est toujours nécessaire. Il est donc intéressant d'appliquer ce programme aux autres matériaux.

Les quatre autres formules ont été compactées par vibro-compression à une pression verticale de 0.5 bar et un temps de compactage de 2 minutes, afin de vérifier que le programme retenu (n° 2) avait le même effet sur les 5 formules, soit l'obtention d'une compacité proche de la compacité Marshall.

La figure 4.2 représente les teneurs en vides moyennes obtenues sur chaque enrobé avec les compactages Marshall, vibro-compression et "chantier".

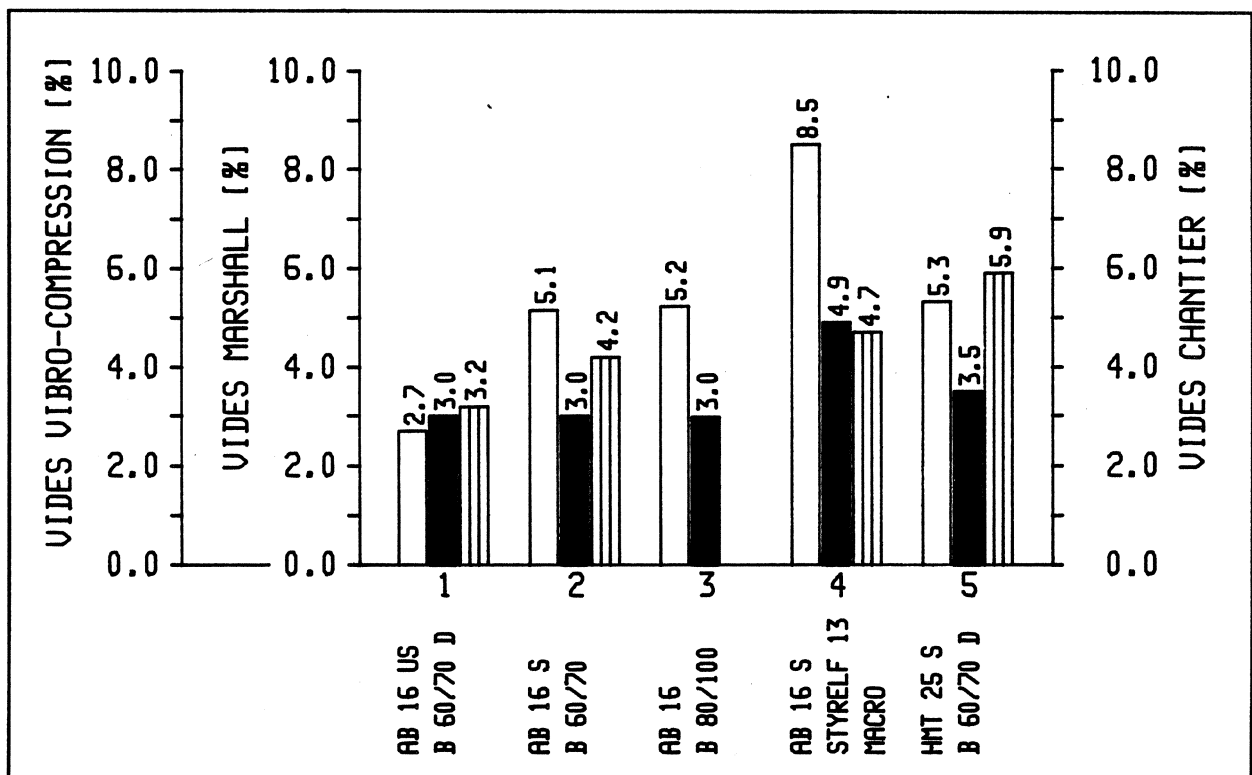


Figure 4.2
Teneurs en vides des 5 formules selon
les différents types de compactage
Programme de compactage No 2

Mis à part la formule n° 1, les résultats montrent que les teneurs en vides obtenues par vibro-compression sont de l'ordre de 70 % supérieures aux teneurs en vides obtenues par compactage Marshall. Il en résulte que le programme n° 2 doit être modifié afin de définir un programme qui donne si possible des compacités proches de celles obtenues par compactage Marshall et cela sur toutes les formules.

4.3. Influence des étuis

Avant de définir de nouveaux programmes de compactage, l'influence des caractéristiques de chaque étui a été étudiée. En effet, l'appareil de compactage utilisé a été conçu par le LCPC pour s'assurer de la compactibilité des graves stabilisées et donc pour travailler qu'à température ambiante. Le choix d'étuis en matière plastique, tout à fait justifié dans ce cas, a été abandonné en faveur d'étuis en acier. L'utilisation d'étuis en plastique n'est pas possible en raison de leur grande déformabilité aux températures proche de 150 °C.

La transmission de la vibration aux matériaux par des étuis cylindriques métalliques fermés est fortement influencée par la géométrie (épaisseur de la paroi de l'étui, jeu entre l'étui et la pastille de fermeture du fond) et par la constitution du métal. Les essais effectués sur les différentes formules avec 5 étuis différents ont montré l'influence de ce phénomène.

Les figures 4.3 et 4.4 représentent l'influence de l'étui sur la teneur en vides pour les essais effectués selon le programme n° 2 avec les enrobés du type AB 16 avec bitume 80/100 (formule n° 3) et du type HMT 25s avec bitume 60/70 dopé (formule n° 5).

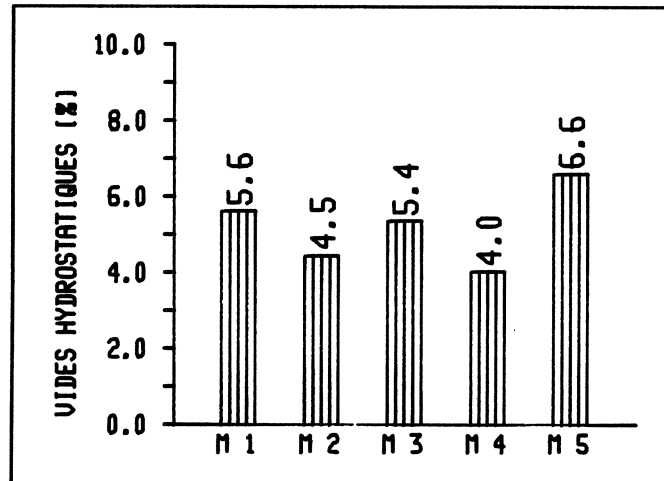


Figure 4.3
Influence de l'étui sur la teneur en vides, enrobé du type AB 16

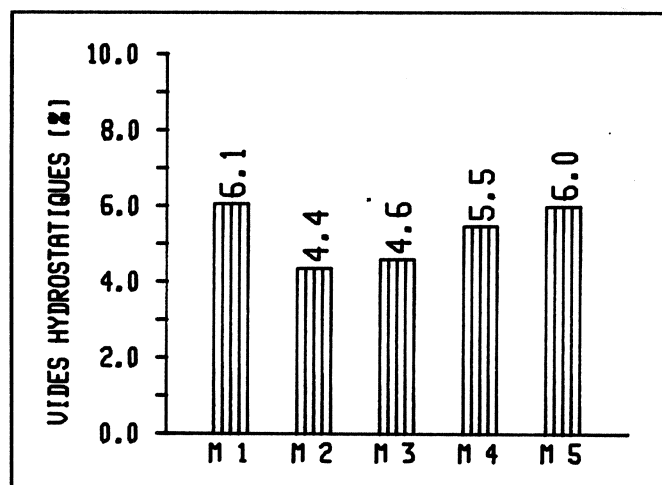


Figure 4.4
Influence de l'étui sur la teneur en vides, enrobé du type HMT 25s

Les étuis ont donc été modifiés afin d'éliminer leur influence sur la teneur en vides. Les modifications apportées sont (fig.4.5):

- Diminution du diamètre de la pastille de fond afin que celle-ci puisse s'insérer facilement dans l'étui,
- Sciage de la paroi de l'étui selon une génératrice.

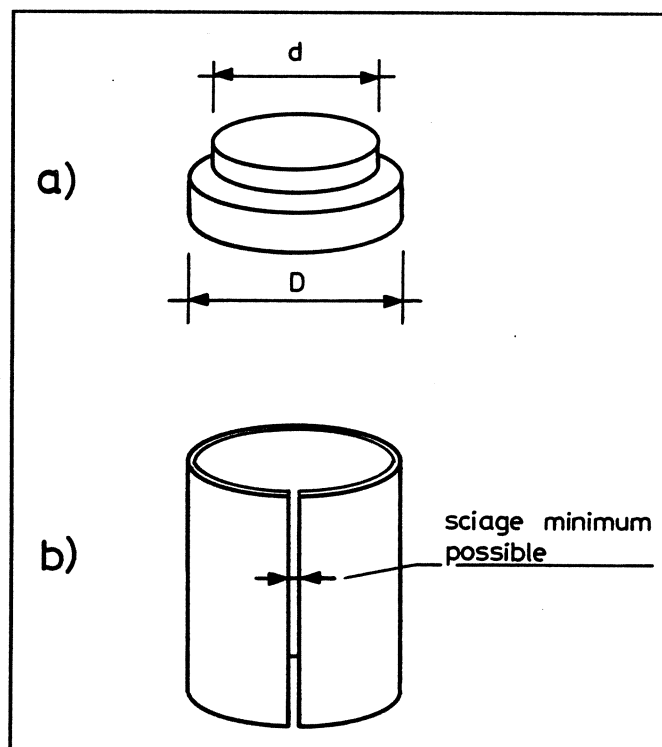


Figure 4.5
Modifications apportées aux étuis

4.4. Programmes de compactage avec étuis modifiés

La vérification de l'efficacité des modifications des étuis et l'utilisation de cinq nouveaux programmes de compactage (programme n° 11 à 14) ont tout d'abord été appliquées à la formule n° 3 (AB 16, B 80/100).

Le tableau 4.3 donne les caractéristiques des programmes utilisés. Les résultats des teneurs en vides moyennes obtenues selon ces programmes sont présentés dans le tableau 4.4.

Tableau 4.3 : Caractéristiques des programmes de compactage avec étuis modifiés

Programme n°	10	11	12	13	14
Pression verticale [bar]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5* et 1
Temps de compactage. [min]	2	3	4	3.5	3
Pression de vibration horizontale [bar]	5				

* Pression verticale de 0.5 bar pendant les deux premières minutes, puis de 1 bar pendant la dernière minute.

Tableau 4.4 : Teneurs en vides [%] (mesure hydrostatique) selon différents programmes de compactage, formule n° 3

Programme de compactage	Teneur en vides [%]
10	4.05
11	2.94
12	2.41
13	2.55
14	3.26
Marshall	2.97

Ces résultats montrent que le programme n° 11 donne une valeur moyenne de la teneur en vides (2.94 %) qui est très proche de celle obtenue par essai Marshall (2.97 %).

4.5. Compactage de différents enrobés avec le programme n° 11 et des étuis modifiés

Le programme n° 11 présentant la meilleure corrélation avec les valeurs Marshall, les quatre autres enrobés ont aussi été compactés par vibro-compression avec une pression verticale de 0.5 bar et un temps de compactage de 3 minutes.

Les résultats des teneurs en vides obtenues sur les différentes formules sont présentés à la figure 4.6 et comparés avec les résultats du compactage Marshall et "chantier".

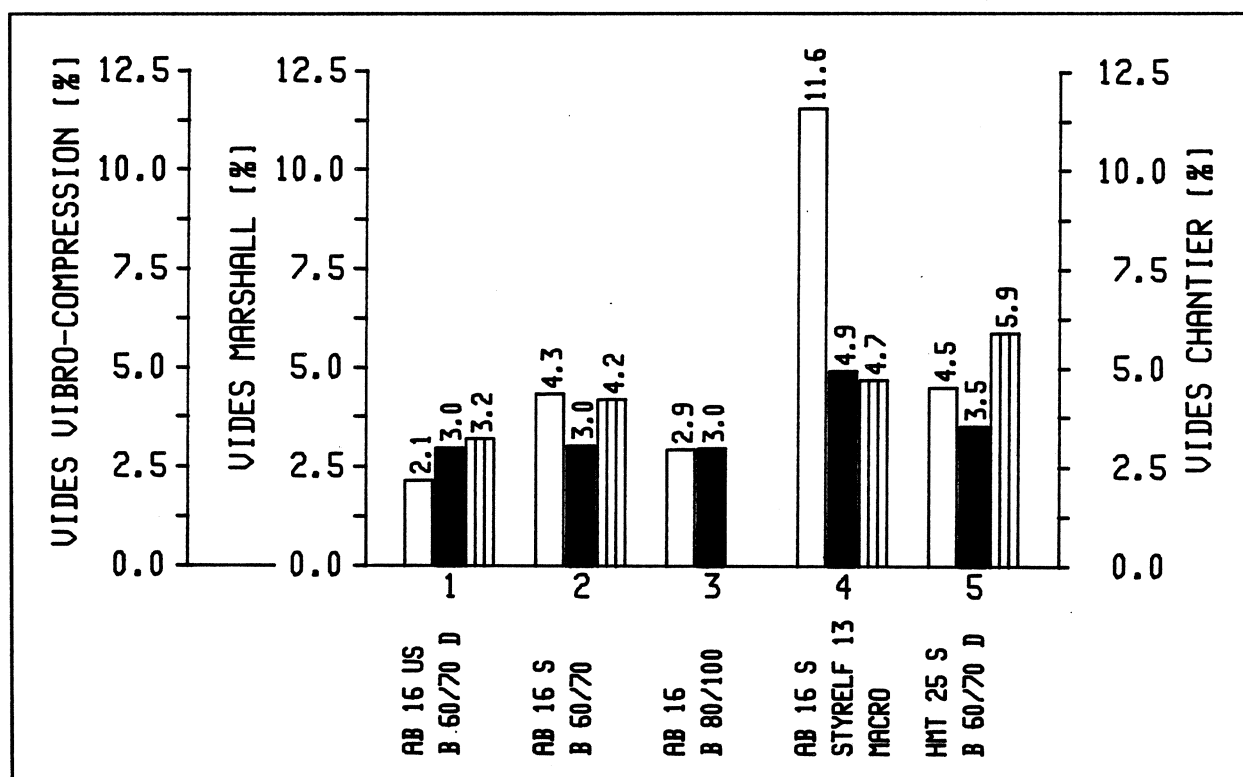


Figure 4.6

Teneurs en vides selon différents types de compactage, étuis modifiés, programme n° 11

Les résultats montrent une diminution de l'écart entre teneur en vides Marshall et teneur en vides vibro-compression par rapport à celles obtenues avec le programme n° 2 et les étuis d'origine. Une augmentation de la teneur en vides de la formule n° 4 est observée mais, dans ce cas, la valeur obtenue par mesure hydrostatique n'est pas représentée car l'enrobé est du type macro-rugueux et présente beaucoup de vides (plus de 0.5 % d'augmentation de masse après mouillage). La valeur de 11.6 % indiquée a donc dans ce cas été obtenue par mesure géométrique car l'utilisation de paraffine était incompatible avec l'exécution de l'essai de compression diamétrale.

Les essais montrent que l'influence de la compactibilité du matériau est très significative lors du compactage par vibro-compression.

4.6. Vérification de l'influence des étuis après leur modification

Suite aux modifications apportées aux étuis et au choix d'un nouveau programme de compactage, les résultats des teneurs en vides obtenues pour des éprouvettes compactées avec différents étuis ont été examinés afin de vérifier si, après modification, les étuis utilisés avaient une influence sur le compactage.

Les figures 4.7 et 4.8 présentent les résultats obtenus avec les enrobés du type AB 16 avec bitume 80/100 (formule n° 3) et du type HMT 25s avec bitume 60/70 dopé (formule n° 5).

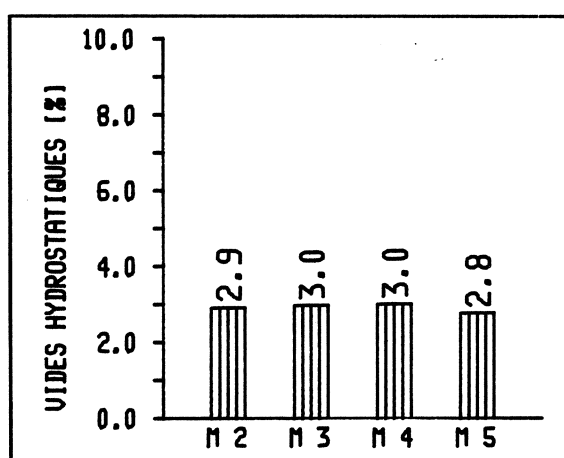


Figure 4.7
*Influence des étuis modifiés,
AB 16, formule n° 3*

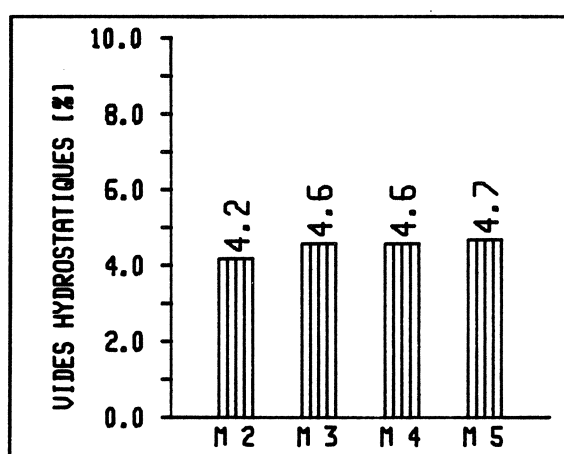


Figure 4.8
*Influence des étuis modifiés,
HMT 25 s, formule n° 5*

Pour tous les enrobés étudiés, les résultats obtenus sont très uniformes. Par conséquent, on peut admettre que les modifications apportées aux étuis ont été bénéfiques. Ainsi l'influence de la géométrie des parois des étuis et celle de la liaison entre la pastille de fond et la partie cylindrique de l'étui sur le compactage par vibro-compression a été supprimée.

4.7. Relation entre compactage par vibro-compression (étui modifié) et compactage Marshall

Les teneurs en vides obtenues par compactage par vibro-compression avec le programme n° 11 et des étuis modifiés sur différents enrobés ont été comparées aux valeurs des teneurs en vides obtenues par l'essai Marshall. Cette comparaison a montré l'existence d'une relation linéaire entre les valeurs de teneurs en vides obtenues selon les deux méthodes. La droite de régression définissant cette relation est déterminée par la méthode des moindres carrés. Elle est caractérisée par un coefficient de corrélation $r^2 = 0.91$ et son équation est de la forme $y = 2.36 + 0.22 x$, la variable x étant la teneur en vides par vibro-compression et la variable y la teneur en vides Marshall. La faible pente de la droite associée à un bon coefficient de corrélation indique la bonne sensibilité de ce mode de compactage. Le mélange avec liant modifié (formule n° 4) indique bien sa faible compactibilité, ce que le compactage Marshall ne peut montrer.

La figure 4.9 représente la droite de régression pour les valeurs moyennes de teneurs en vides.

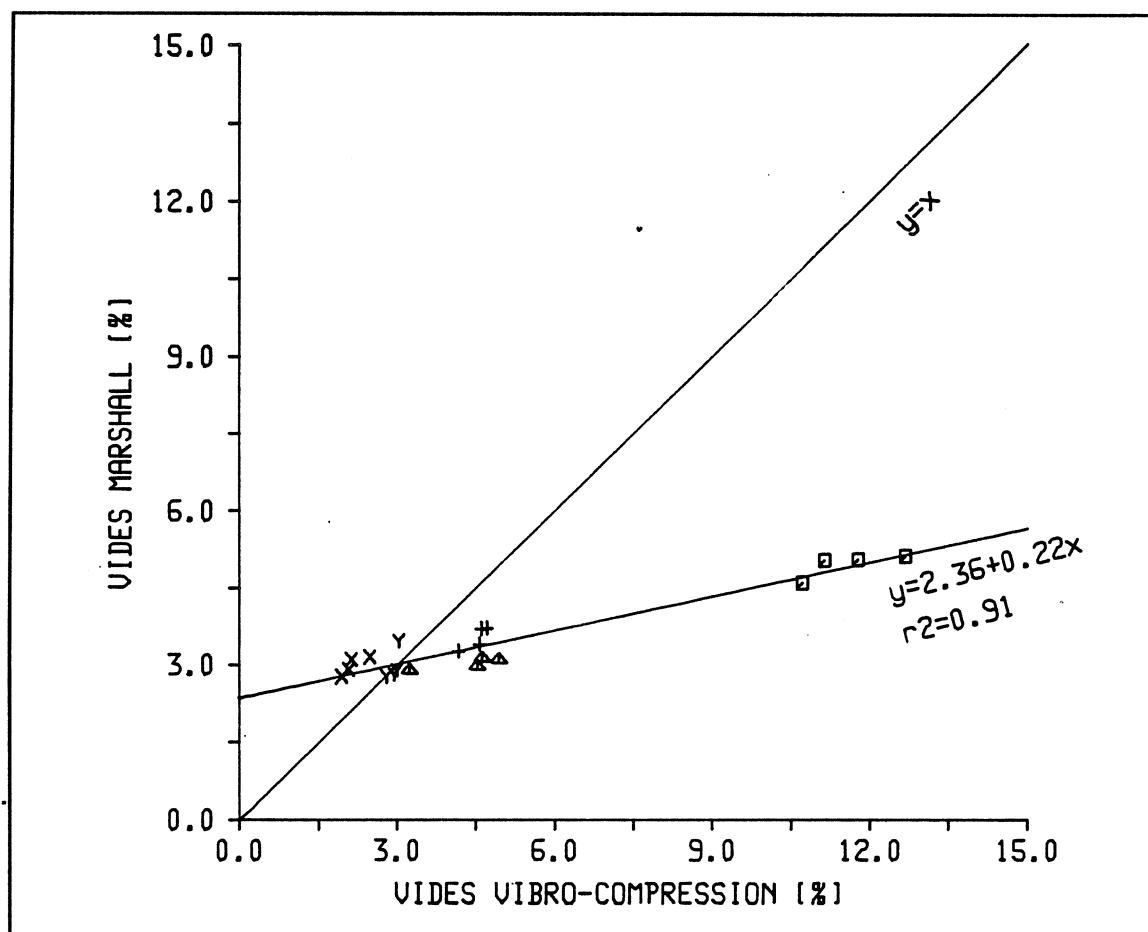


Figure 4.9
Relation entre vides "vibro-compression" et vides "Marshall"

5. HOMOGENEITE

5.1. Etude au banc gamma de la répartition de la teneur en vides, étuis non modifiés

Les éprouvettes fabriquées dans le cadre de ce mandat ont été passées au banc gamma (annexe 1) afin de déterminer la répartition de leurs teneurs en vides. Cette essai consiste à mesurer la proportion de photons qui, émis par une source de Césium 137, traversent le matériau sans être déviés et sans que leur énergie soit diminuée. On en déduit la masse volumique apparente qui, comparée à la masse volumique réelle, donne la compacité du matériau à l'endroit de la mesure.

a) Première étape: formule No 1, programmes Nos 1 à 8

Dans une première étape, les éprouvettes fabriquées avec l'enrobé de type AB 16us ont été passées au banc gamma et les teneurs en vides ont été déterminées suivant la génératrice et suivant le diamètre de l'éprouvette.

Le tableau 5.1 donne les valeurs moyennes de la teneur en vides et les moyennes des écarts types selon différents modes de compactage.

Tableau 5.1 : Valeurs moyennes et moyenne des écarts types de la teneur en vides mesurée au banc gamma pour différents modes de compactage

Formule n° 1	Vibro-compression/programme n°					Marshall	P C G
	1	2	3	4	8		
Suivant la génératrice							
Teneur en vides moyenne (%)	6.72	3.59	3.06	2.96	2.84	3.22	1.77
Moyenne des écarts types (%)	1.03	0.71	0.71	0.85	0.46	0.90	1.42
Coefficient de variation (%)	15.3	19.8	23.2	28.7	16.2	28.0	80.2
Suivant le diamètre							
Teneur en vides moyenne (%)	5.65	4.18	3.12	2.49	2.85	--	2.53
Moyenne des écarts types (%)	1.45	1.80	1.53	1.13	0.90	--	1.10
Coefficient de variation (%)	25.7	43.1	49	45.4	31.6		43.5

On remarque que la répartition des vides la plus uniforme est obtenue pour les éprouvettes compactées par vibro-compression en utilisant le programme le plus bref (n° 1, durée 1 minute). De plus, les programmes n° 2 et 3 donnent les valeurs moyennes de teneur en vides plus proches de celles obtenues par compactage Marshall.

Les figures 5.1 et 5.2 représentent la répartition de la teneur en vides moyenne suivant la génératrice et suivant le diamètre de l'éprouvette, mesurée au banc gamma pour différents modes de compactage.

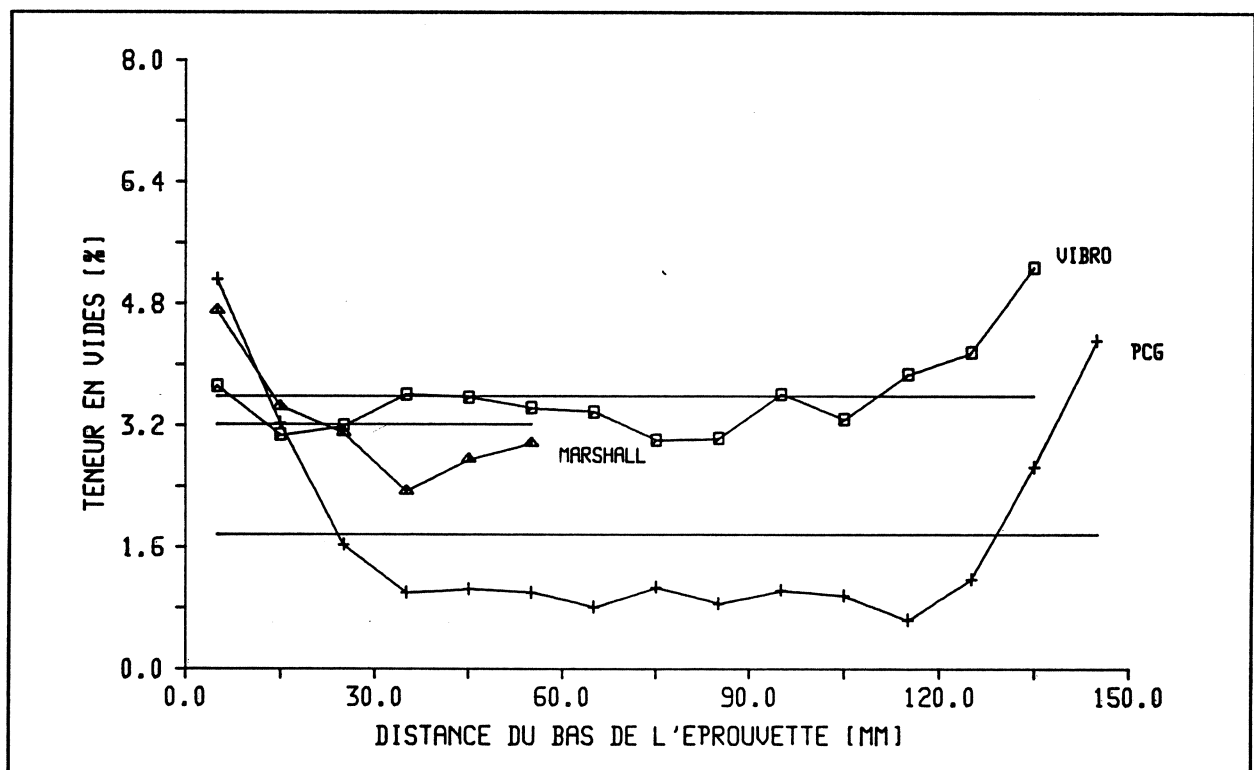


Figure 5.1
Répartition des vides suivant la génératrice
Formule No 1, Programme No 2

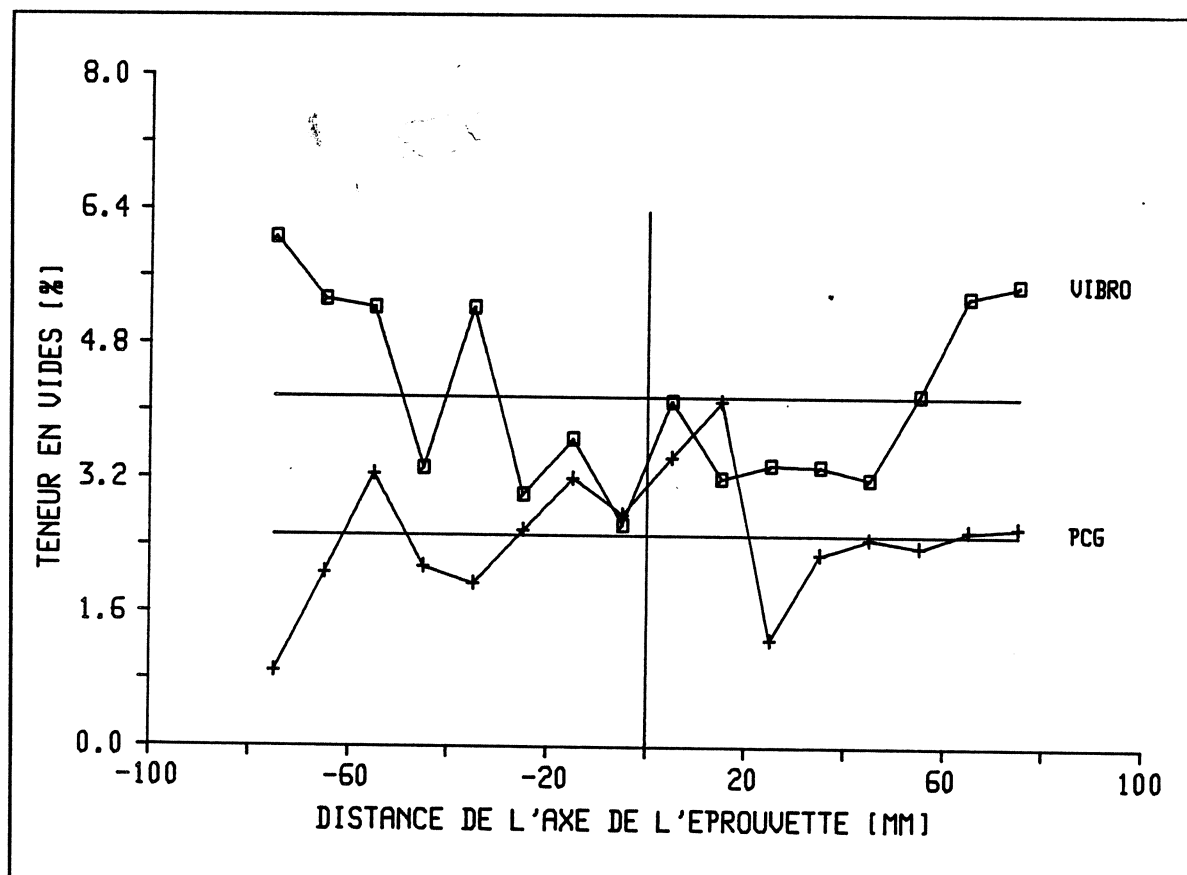


Figure 5.2
Répartition des vides suivant le diamètre
Formule No 1, Programme No 2

La répartition des vides au sein des éprouvettes est sensiblement meilleure pour le compactage par vibro-compression par rapport aux éprouvettes PCG et Marshall et cela pour les programmes n° 2 et 3. On constate aussi que la répartition des vides est plus homogène suivant la génératrice que suivant le diamètre. Bien que les résultats obtenus sur les éprouvettes fabriquées par vibro-compression montrent une répartition assez homogène des teneurs en vides, on remarque généralement que la compacité du bas de l'éprouvette est plus élevée que celle du haut. Ce fait est confirmé par les pesées hydrostatiques effectuées sur les deux parties de l'éprouvette préalablement sciée.

b) Deuxième étape: formules Nos 1 à 5, programme No 11

Dans une deuxième étape, la majorité des éprouvettes du programme n° 11 (pression verticale de 0.5 bar, 3 minutes de compactage et étuis modifiés) ont été passées au banc gamma. La figure 5.3 représente les répartitions moyennes des vides suivant la génératrice pour les 5 formules utilisées.

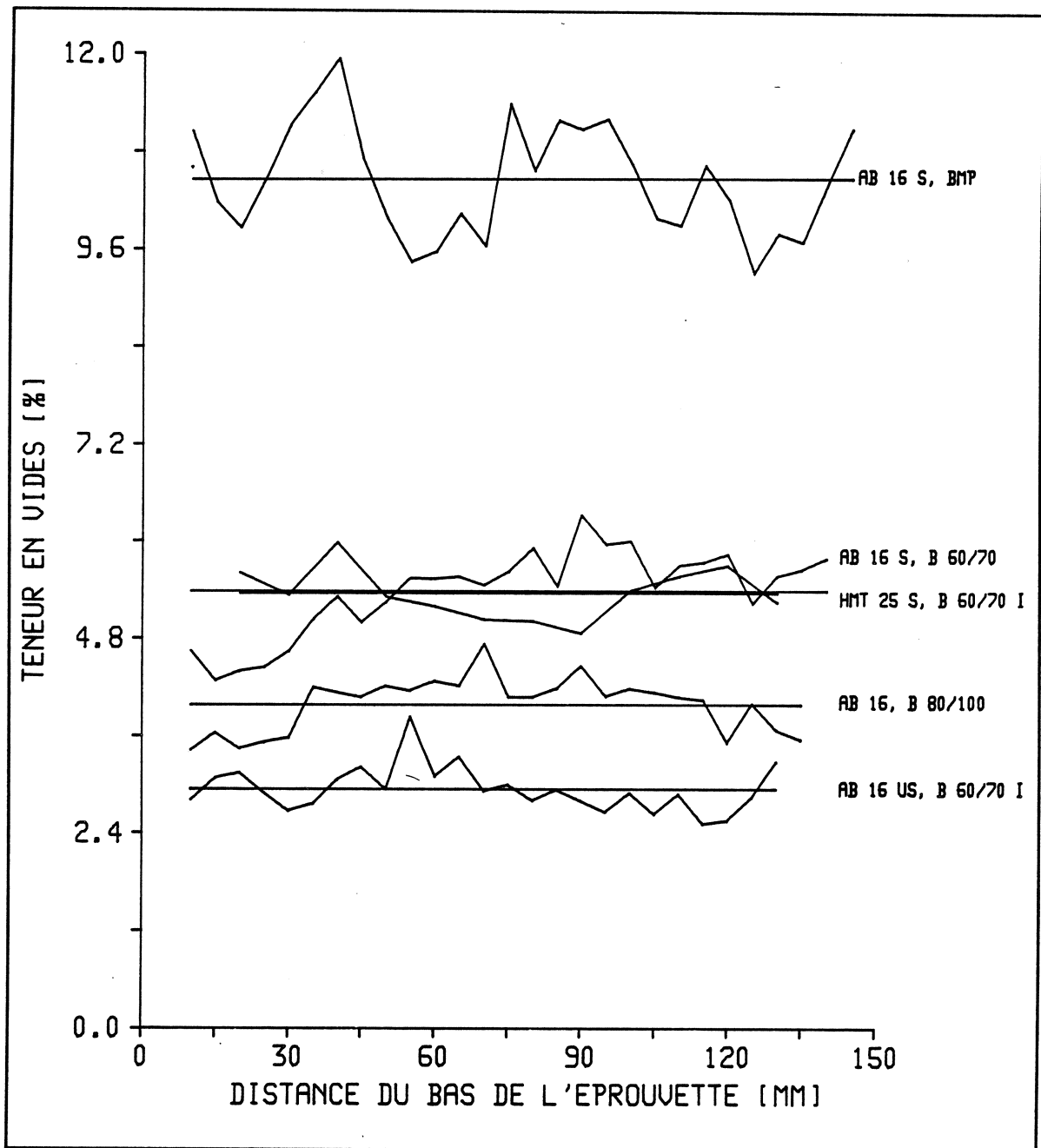


Figure 5.3
*Répartition des vides au banc gamma
Programme No 11, étuis modifiés*

La figure 5.3 montre une répartition assez homogène des teneurs en vides. Le coefficient de variation est de l'ordre de 13 %, même pour l'enrobé au bitume modifié par des polymères qui graphiquement paraît inhomogène. Le programme n° 11 paraît donc le mieux adapté pour obtenir une bonne répartition de la compacité.

Les valeurs des teneurs en vides moyennes et la moyenne des écarts types correspondants sont récapitulées dans le tableau 5.2.

Tableau 5.2 : Compactage par vibro-compression
Programme No 11, étuis modifiés

	Formule n°				
	1	2	3	4	5
Teneur en vides moyenne (%)	2.94	5.38	3.98	10.45	5.35
Moyenne d'écart type (%)	0.40	0.67	0.53	1.44	0.58
Coefficient de variation de teneur en vides (%)	13.6	12.5	13.3	13.8	10.8

6. CARACTERISTIQUES MECANQUES

Outre les essais Marshall et PCG dont les résultats sont récapitulés dans le tableau 3.2, l'essai de compression diamétrale (annexe 2) [5] a été exécuté sur les différents types d'éprouvettes afin de définir leurs caractéristiques mécaniques et, en particulier, si les éprouvettes fabriquées par vibro-compression possèdent des caractéristiques mécaniques comparables à celles d'éprouvettes carottées dans des revêtements.

6.1. Caractéristiques mécaniques en fonction du mode de compactage

Dans une première étape, les éprouvettes fabriquées avec la formule n° 1 (AB 16 us, B 60/70) et compactées selon différents programmes de compactage ont été soumises à l'essai de compression diamétrale aux températures de - 10 °C et + 45 °C.

Le tableau 6.1 et les figures 6.1 et 6.2 donnent les valeurs moyennes de la contrainte à la rupture et de la déformation verticale obtenues lors de l'essai de compression diamétrale. A titre de comparaison, les exigences du Bureau des Autoroutes du canton de Vaud pour l'essai de compression diamétrale appliqué à des bétons hydrocarbonés du type AB 16 s à base de bitume modifié aux polymères et les exigences pour les enrobés à base d'un bitume de distillation directe prescrites par le Centre de Recherches Routières (CRR) de Belgique complètent ce tableau.

Tableau 6.1 : Essai de compression diamétrale, caractéristiques mécaniques de l'enrobé AB 16 us (formule n° 1) en fonction de différents programmes de compactage

Compactage	+ 45 °C			- 10 °C		
	Teneur en vides moy. (%)	Contrainte de rupture moy. (N.mm ⁻²)	Déformation vert. moy. (10 ⁻³)	Teneur en vides moy. (%)	Contrainte de rupture moy. (N.mm ⁻²)	Déformation vert. moy. (10 ⁻³)
Programme 1	4.46	0.270	21.40	4.24	4.08	8.51
Programme 2	3.12	0.270	23.04	3.04	4.10	7.65
Programme 3	2.17	0.306	18.41	2.21	4.56	7.89
Programme 4	2.03	0.326	20.71	1.77	4.14	6.48
Programme 5	5.09	0.274	17.97	4.72	3.98	8.45
Programme 6	4.70	0.284	17.66	4.70	3.63	10.39
Programme 7	3.39	0.269	18.91	3.73	3.82	8.90
Programme 8	2.13	0.348	18.58	2.25	3.98	7.41
PCG C200	1.29	0.339	17.42	1.31	4.20	6.64
Chantier	2.97	0.233*	25.14	3.37	4.15	8.29

Prescriptions BAR	> 0.200			> 3.5	
Prescriptions BAR (BmP)	> 0.250			> 4.0	
Prescriptions CRR	> 0.11	> 33		> 3.3	

*Essai effectué à + 40 °C

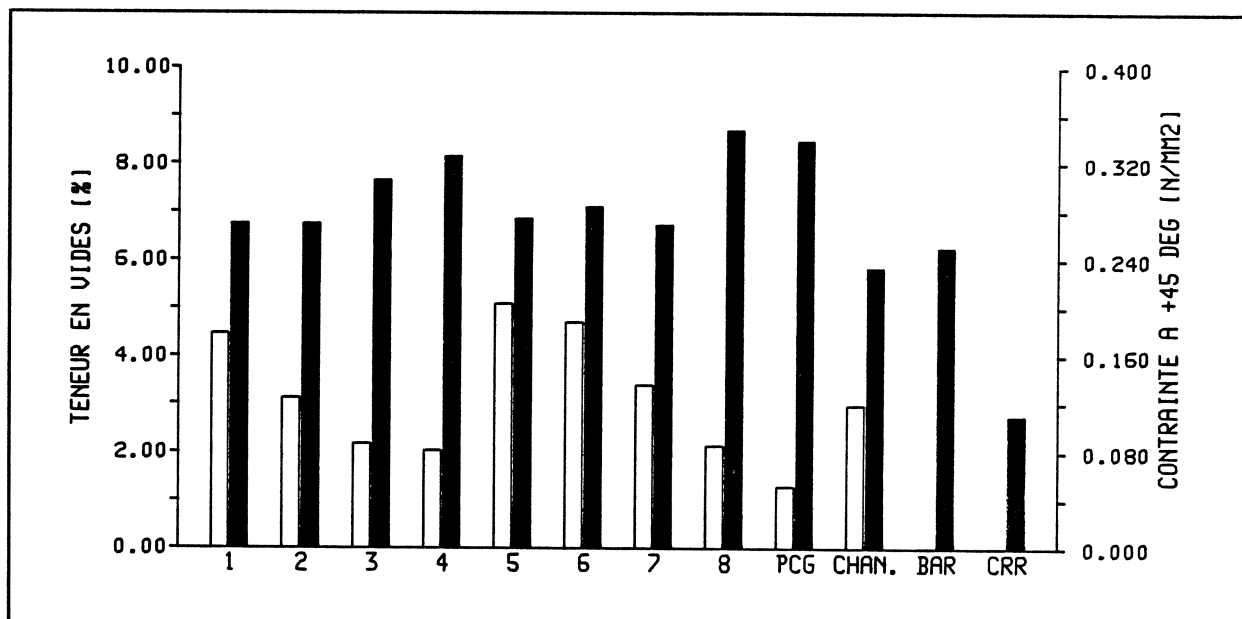


Figure 6.1
Essai de compression diamétrale, teneur en vides et contrainte à + 45 °C

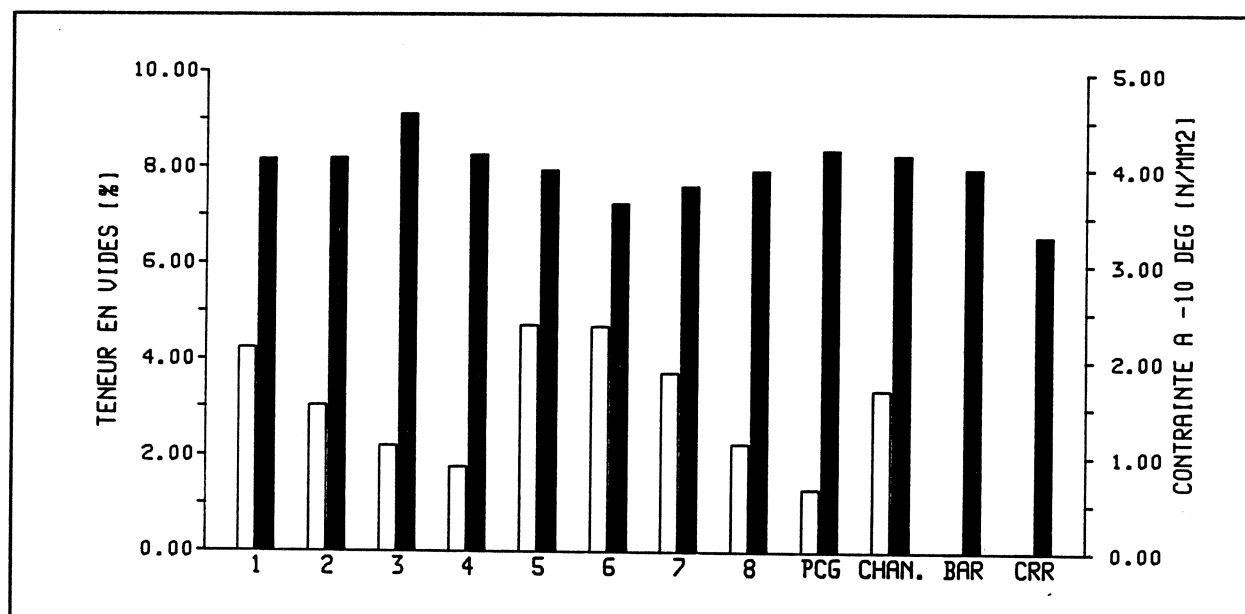


Figure 6.2
Essai de compression diamétrale, teneur en vides et contrainte à - 10 °C

En ce qui concerne la contrainte à la rupture, on remarque que l'enrobé compacté par vibro-compression satisfait les valeurs prescrites par le BAR et le CRR. Les valeurs obtenues pour la déformation verticale à + 45 °C sont quant à elles toujours inférieures aux prescriptions du CRR. A teneurs en vides égales (forte compacité), on peut dire que les valeurs obtenues s'approchent de celles des éprouvettes compactées à la presse à cisaillement giratoire (PCG). On constate en outre que la déformation verticale à + 45 °C est toujours supérieure à la déformation des éprouvettes chantier.

6.2. Caractéristiques mécaniques de différentes formules compactées par vibro-compression (programme n° 11, étuis modifiés)

Toutes les éprouvettes fabriquées avec les étuis modifiés et compactés par vibro-compression selon le programme n° 11 (pression verticale de 0.5 bar et temps de compactage de 3 minutes) ont été soumises à l'essai de compression diamétrale. L'essai a aussi été appliqué aux éprouvettes carottées dans la chaussée, à l'exception de la formule No 3.

Avant d'exécuter l'essai de compression diamétrale sur les éprouvettes fabriquées selon le programme n° 11, toutes les éprouvettes ont été carottées pour avoir un diamètre de 100 mm, puis coupées en deux parties, inférieure et supérieure. L'élançement (rapport de la hauteur sur le diamètre) ainsi obtenu est de 0.8.

Le tableau 6.2 donne les valeurs moyennes de la contrainte à la rupture et de la déformation verticale obtenues par l'essai de compression diamétrale pour les différents enrobés utilisés.

Tableau 6.2 : Essai de compression diamétrale, caractéristiques mécaniques de différentes formules (programme n° 11, étuis modifiés)

Formule n°	- 10 °C			+ 45 °C		
	Teneur en vides moy. (%)	Contrainte de rupture moy. (N.mm ⁻²)	Déformation vert. moy. (10 ⁻³)	Teneur en vides moy. (%)	Contrainte de rupture moy. (N.mm ⁻²)	Déformation vert. moy. (10 ⁻³)
1 Sup.	1.91	4.65	6.27	1.97	0.352	22.2
1 Inf.	1.88	4.92	7.66	1.75	0.350	27.0
1 Chantier	3.37	4.15	8.29	2.97	0.233*	38.9*
2 Sup.	5.37	4.05	6.73	4.77	0.251	20.4
2 Inf.	4.53	4.21	7.60	4.23	0.263	25.8
2 Chantier	4.13	3.34	4.57	4.32	0.153	38.6
3 Sup.	3.33	4.02	5.10	2.94	0.192	19.6
3 Inf.	3.08	4.10	6.02	2.97	0.214	21.4
3 Chantier	--	--	--	--	--	--
4 Sup.	7.48	3.44	6.19	7.54	0.241	31.9
4 Inf.	7.57	3.69	7.76	7.17	0.274	36.8
4 Chantier	4.70	4.73	8.06	4.70	0.295*	44.5*
5 Sup.	4.30	4.21	6.17	4.26	0.276	21.2
5 Inf.	3.78	4.19	8.68	3.82	0.296	20.9
5 Chantier	5.89	3.33	9.39	5.97	0.166	25.8

Prescriptions BAR	> 3.5	> 0.20	--
Prescriptions BAR (BmP)	> 4.0	> 0.25	--
Prescriptions CRR	> 3.3	> 0.11	> 33

* Essai exécuté à 40 °C

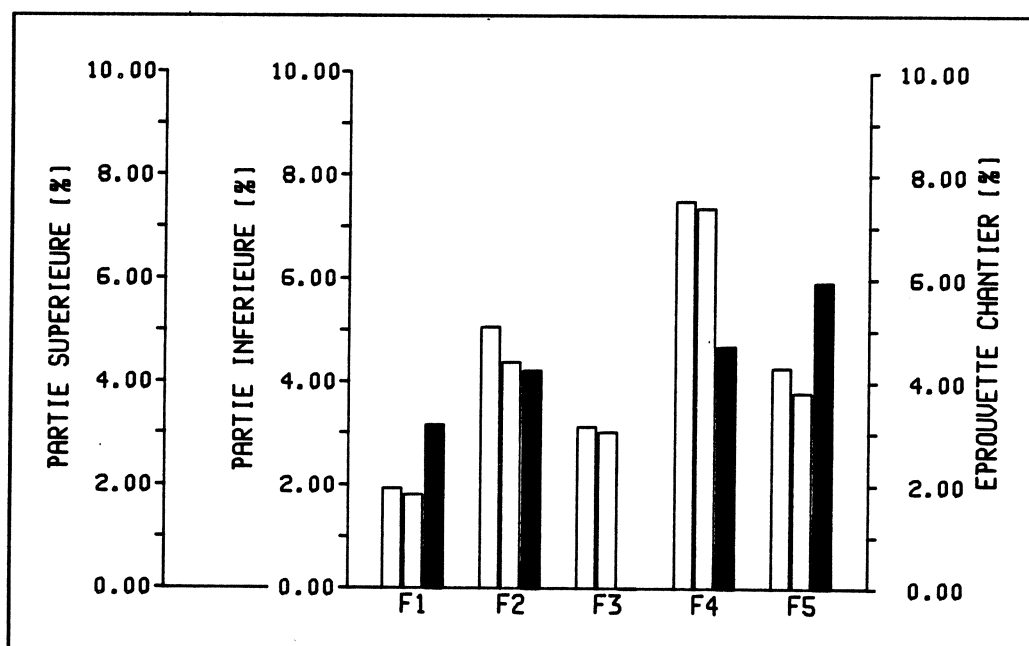


Figure 6.3
*Caractéristiques mécaniques
comparaison de la teneur en vides*

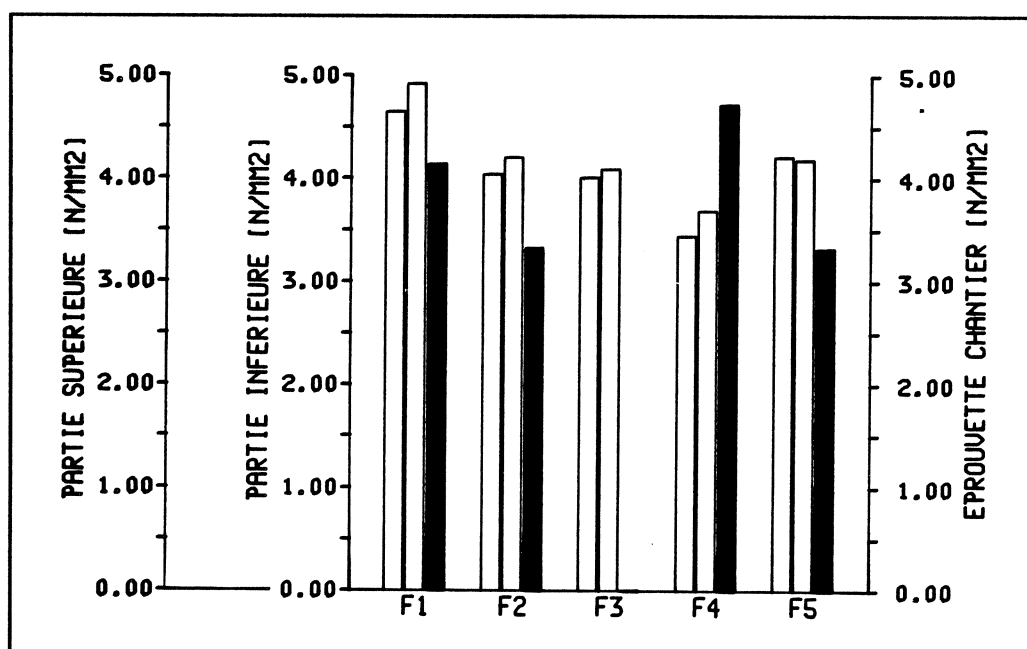


Figure 6.4
*Comparaison des caractéristiques mécaniques
contrainte à - 10 °C*

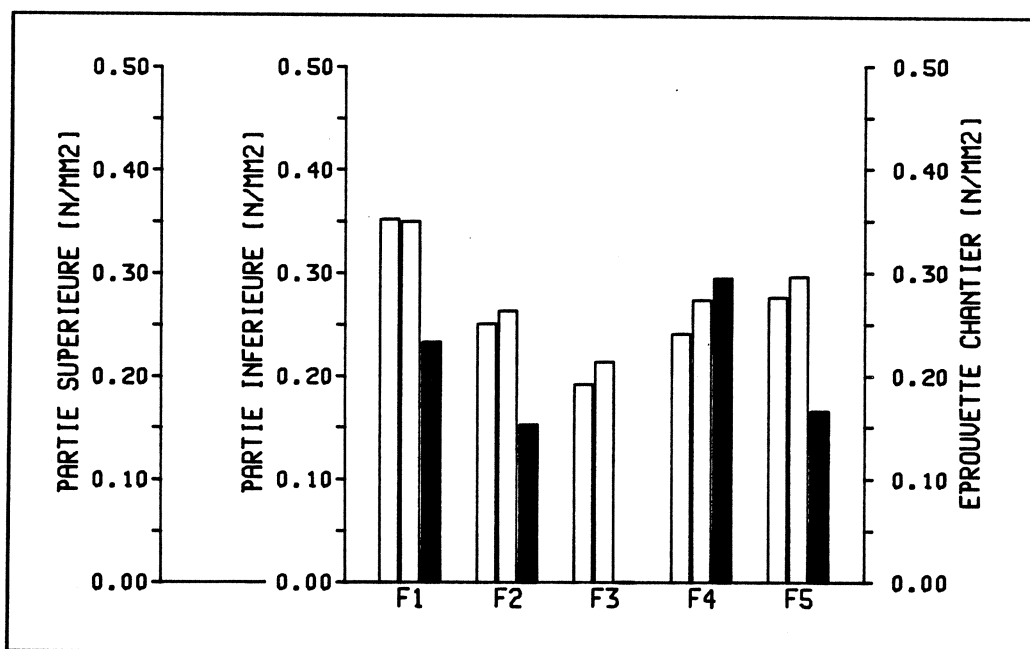


Figure 6.5
*Comparaison des caractéristiques mécaniques
 contrainte à + 45 °C*

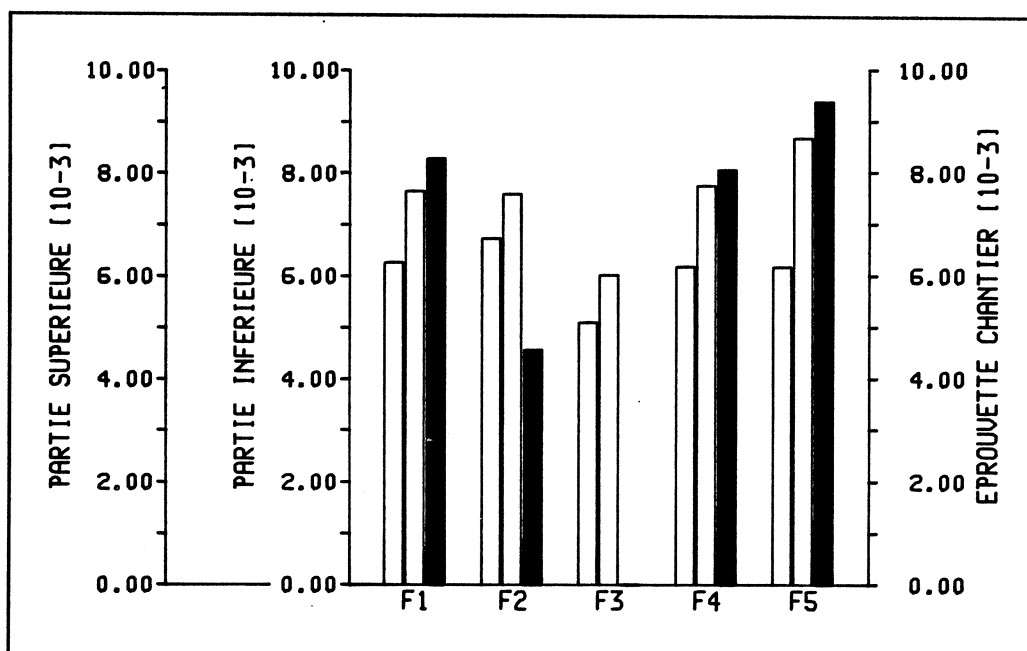


Figure 6.6
*Comparaison des caractéristiques mécaniques
 déformation à - 10 °C*

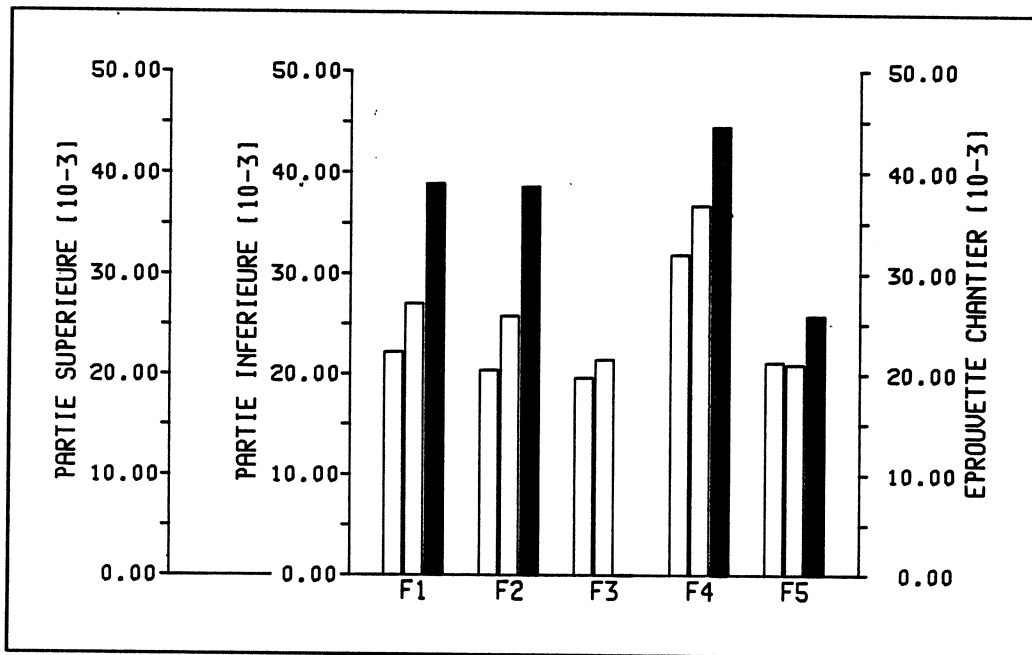


Figure 6.7
*Comparaison des caractéristiques mécaniques
déformation à + 45 °C*

Les essais au banc gamma ont montré qu'en général la partie inférieure d'une éprouvette fabriquée par vibro-compression est plus compacte que la partie supérieure.

Les pesées hydrostatiques effectuées sur les deux parties de chaque éprouvette compactée par vibro-compression ont confirmé les résultats du banc gamma, soit une compacité très légèrement plus élevée de la partie inférieure de l'éprouvette.

L'essai de compression diamétrale a montré un comportement mécanique pratiquement identique pour la partie inférieure par rapport à la partie supérieure. Il est à signaler que les résultats obtenus montrent que toutes les formules utilisant un bitume non modifié satisfont aux exigences fixées par le CRR du point de vue de la résistance. Toutefois, les déformations verticales à + 45 °C restent inférieures à la valeur limite de $33 \cdot 10^{-3}$ fixée par le Centre de Recherches Routières.

Si l'on examine la formule n° 2, pour laquelle les teneurs en vides du laboratoire sont proches de celles du chantier, nous constatons qu'avec la vibro-compression les résistances mécaniques sont très nettement supérieures et que la rigidité du matériau jusqu'à sa rupture est aussi beaucoup plus élevée.

La valeur de la contrainte à -10°C pour la formule utilisant un bitume aux polymères (formule n° 4) est inférieure à la valeur exigée par le BAR, alors que les éprouvettes prélevées sur chantier satisfont la valeur minimale prescrite. La forte teneur en vides obtenue par vibro-compression explique ces modestes performances. Les résultats de déformation verticale pour cet enrobé macro-rugueux sont plus réalistes que la valeur de fluage obtenue par l'essai Marshall. L'expérience montre ici encore que l'essai Marshall ne s'applique pas de manière satisfaisante aux enrobés à base de bitume modifié aux polymères.

Les éprouvettes fabriquées par vibro-compression sont donc nettement plus rigides que les éprouvettes "chantier". On retrouve là une caractéristique des éprouvettes moulées que ce soit au compacteur Marshall, à la PCG ou avec une presse, cette constatation ayant déjà été faite lors d'une précédente étude [6]. Au contraire, les éprouvettes carottées dans des plaques fabriquées avec la table de compactage LPC ont un comportement mécanique, donc une rigidité très proche de celle des éprouvettes "chantier".

7. CONFECTION D'EPROUVETTES A TENEUR EN VIDES DONNEE

Avec la formule n° 3 et en utilisant le programme n° 11, les essais ont montré que la teneur en vides obtenue par vibro-compression est très proche de la teneur en vides obtenue par le compactage Marshall.

Il est également possible d'obtenir avec l'appareil de vibro-compression des éprouvettes dont la teneur en vides est imposées. Pour cela, on calcule la hauteur de l'éprouvette en fonction de la masse volumique du matériau, de la masse de l'éprouvette et de la teneur en vides visée.

Un dispositif électronique détecte et averti lorsque la position pré-déterminée est atteinte. Le compactage est alors arrêté. Les temps de compactage sont donc variables.

Le tableau 7.1 récapitule les résultats de ces essais.

Tableau 7.1 : Teneur en vides obtenues et temps de compactage pour une teneur en vides imposée

Teneur en vides imposée (%)	3	5
Teneur en vides moy. obtenue (%)	3.43	5.09
Coefficient de variation (%)	13.7	9.4
Temps de compactage moy. (min.)	6	2.5
Coefficient de variation (%)	28	38

Nous avons observé une différence de 2 à 3 mm entre la hauteur imposée et la hauteur obtenue, cela est dû à la décompression de l'éprouvette. Les résultats montrent bien qu'en tenant compte de cette décompression de l'éprouvette lors de la décharge, il doit être possible d'obtenir par vibro-compression des éprouvettes ayant une teneur en vides définie.

8. CONCLUSIONS

Cette recherche a permis de donner quelques éléments de réponses aux quatre questions qui constituent les buts de la recherche :

- Est-il possible de fabriquer des éprouvettes de béton hydrocarboné par compactage par vibro-compression ?
- Peut-on approcher les valeurs des teneurs en vides obtenues par le compactage Marshall ?
- Les éprouvettes fabriquées sont-elles homogènes au point de vue de la compacité ?
- Les éprouvettes fabriquées possèdent-elles des caractéristiques mécaniques acceptables ?

Les essais ont montré que la fabrication d'éprouvettes d'enrobé hydrocarboné par vibro-compression est tout à fait possible.

L'investissement en matériel n'est pas excessif (environ Frs 15'000.-) et le temps nécessaire à l'exécution de l'essai est très faible (quelques minutes par éprouvette).

Dans le cadre de ce mandat, le diamètre des éprouvettes était de 160 mm, mais la fabrication d'éprouvettes de diamètre différent est possible sans modification de la machine. Il est également possible de confectionner des éprouvettes ayant une teneur en vides définie.

Pour les formules d'enrobé traditionnelles, on peut déterminer un programme de compactage par vibro-compression qui donne des teneurs en vides proches de celles obtenues par le compactage Marshall.

Le programme optimal obtenu par le LAVOC consiste à vibrer pendant 3 minutes en appliquant une pression verticale de 0.5 bar.

Par ailleurs, on a observé la grande sensibilité de ce mode de compactage sur trois enrobés de formulation très semblables. On a obtenu des compacités presque identiques lorsque les enrobés sont compactés selon l'essai Marshall, alors que les compacités étaient nettement différentes lors du compactage par vibro-compression. Ce mode de compactage semble donc être un bien meilleur indicateur de la compactibilité, ou aptitude au compactage, que ne l'est le compactage Marshall.

Les essais au banc gamma ont montré que les éprouvettes fabriquées par vibro-compression ont une répartition de vides assez homogène, en tout cas meilleure que celle obtenue par d'autres méthodes comme Marshall ou presse à cisaillement giratoire. Toutefois,

on a constaté que la partie inférieure de l'éprouvette a une compacité légèrement supérieure à celle de la partie supérieure.

Les résultats des essais de compression diamétrale ont montré qu'en général les caractéristiques mécaniques des éprouvettes fabriquées par vibro-compression sont acceptables et qu'elles présentent des contraintes de rupture à + 45 °C aussi bien qu'à - 10 °C comparables, à teneur en vides équivalentes. Par contre, les déformations verticales, en particulier à + 45 °C, sont généralement nettement plus faibles. Ces éprouvettes de laboratoire sont donc nettement plus rigides que celles prélevées dans la chaussée.

Le compactage d'éprouvettes par vibro-compression peut être un bon instrument pour évaluer la compactibilité des bétons bitumineux, par contre, les éprouvettes ainsi fabriquées ne permettent pas, compte tenu de leur grande rigidité, de bien évaluer le comportement mécanique du matériau mis en oeuvre sur chantier.

9. BIBLIOGRAPHIE

- [1] DAC-CHI N., BARBE B., HUET M., "Utilisation de la vibro-compression pour le compactage en laboratoire d'éprouvettes d'enrobé bitumineux" - 3^e Symposium Eurobitume, La Haye, 1985.
- [2] Norme suisse SN 671 969 b, "Enrobés hydrocarbonés, Essai Marshall", 1976.
- [3] LCPC, "Essai de compression simple sur enrobés hydrocarbonés" Mode opératoire, 1979.
- [4] LCPC, "Essai de compactage à la presse à cisaillement giratoire", Mode opératoire, 1981.
- [5] ASSEF-VAZIRI A.H., PIGOIS M.L., DUMONT A.G., "Essai de compression diamétrale appliqué aux enrobés hydrocarbonés", Rapport de recherche OFR 27/81, 1984.
- [6] HUSCHECK S., PIGOIS M.L., "Orniérage, étude comparative de différents dispositifs d'essai", Rapport de recherche OFR 12/82, 1984.

A N N E X E S

A N N E X E S

FICHES DESCRIPTIVES DES APPAREILS D'ESSAI

- APPAREIL DE CONFECTION D'EPROUVETTES PAR VIBRO-COMPRESSION
- TABLE DE COMPACTAGE
- COMPRESSION DIAMETRALE
- PCG - PRESSE A CISAILLEMENT GIRATOIRE
- BANC GAMMA

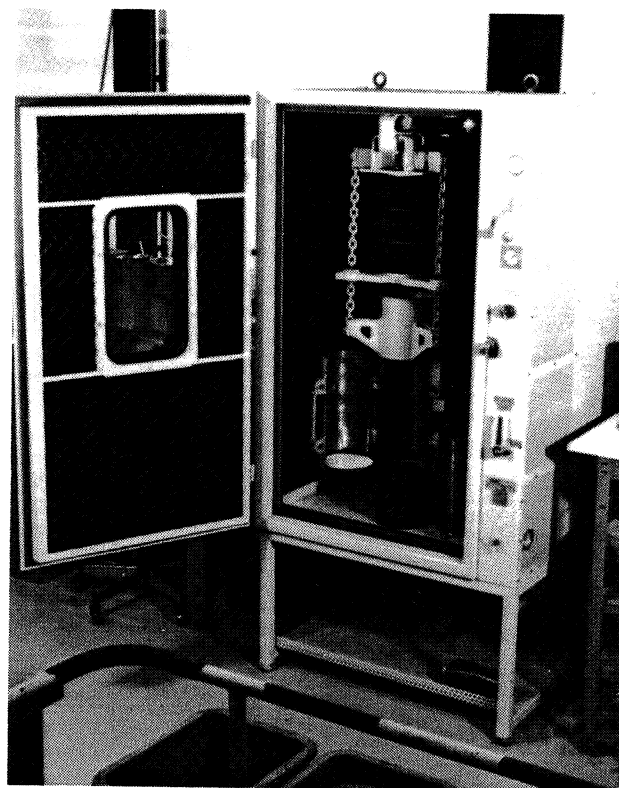
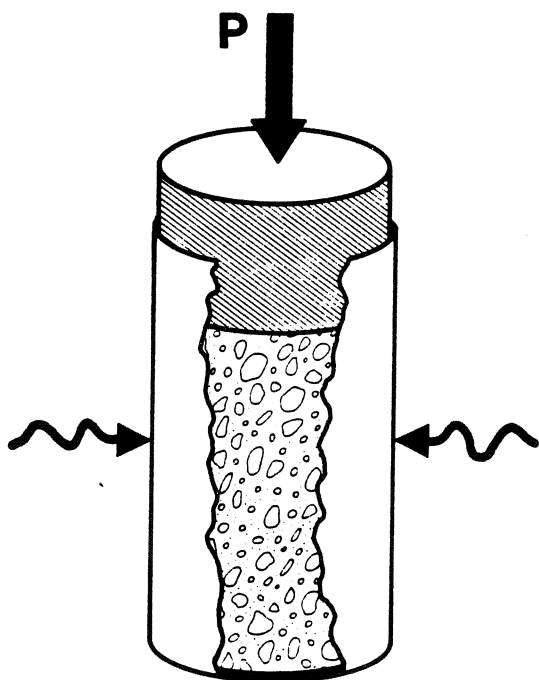
A N N E X E

APPAREIL DE CONFECTION D'EPROUVETTES PAR VIBRO-COMPRESSION

LAVOC

MATERIELS DU LABORATOIRE
DES VOIES DE CIRCULATION

APPAREIL DE CONFECTION
D'ÉPROUVETTES PAR
VIBROCOMPRESSION



Cet appareil est utilisé en laboratoire pour la confection d'éprouvettes d'enrobé hydrocarboné.

Une masse donnée de matériaux est introduite dans un moule métallique cylindrique de diamètre 160 mm ou 100 mm. Par l'utilisation d'air comprimé le moule ainsi que les matériaux qu'il contient subissent les effets suivants:

- compression simple dirigée selon l'axe du cylindre
- vibration forcée perpendiculaire à ce même axe.

L'action combinée de la compression et de la vibration selon un programme défini provoque un arrangement du squelette minéral qui conduit très rapidement à la compacité souhaitée.

Caractéristiques de la machine:

- fréquence de vibration: 250 Hz
- consommation d'air: 1,8 m³/min (30 l/s)
- pression maximale d'alimentation: 6.10⁵ Pa
- éprouvettes: Ø 160 mm / h_{max} 320 mm ou
Ø 100 mm / h_{max} 200 mm

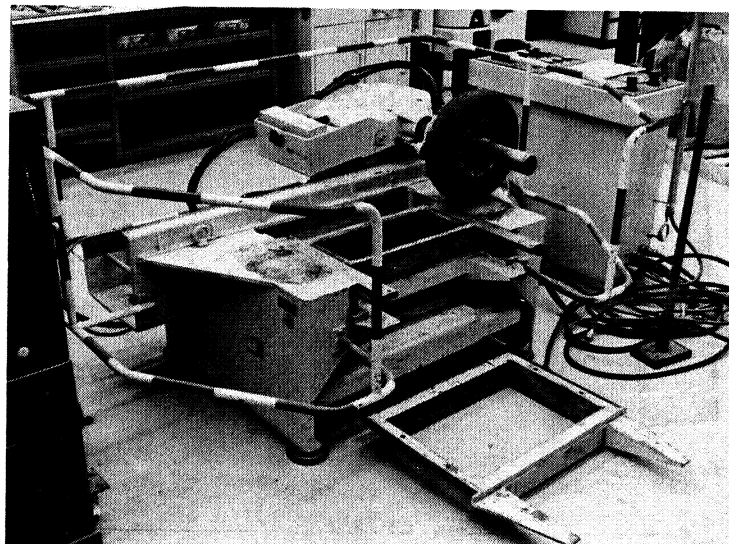
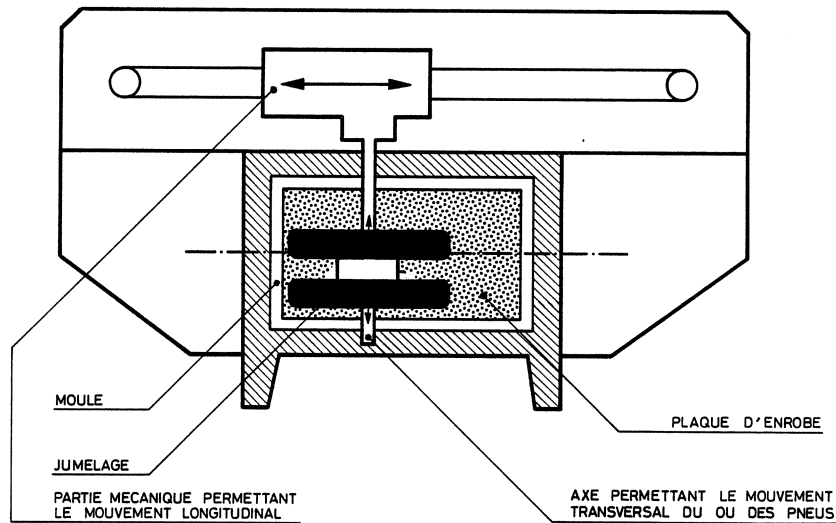
A N N E X E

TABLE DE COMPACTAGE

LAVOC

MATERIELS DU LABORATOIRE
DES VOIES DE CIRCULATION

TABLE DE COMPACTAGE



La table de compactage est un matériel de laboratoire destiné à la fabrication de plaques d'enrobé hydrocarboné utilisées en particulier pour les essais suivants:

- ornièrage
- traction
- mesure de hauteur
- fatigue
- module complexe
- de sable

La table de compactage est équipée d'un seul pneu pour la fabrication de petites plaques (180 x 500 mm) ou d'un jumelage pour la fabrication de grandes plaques (400 x 600 mm). L'épaisseur de ces plaques peut varier entre 5 et 15 cm.

Un compactage type a été étudié en fonction de la formulation et des dimensions de la plaque.

Les paramètres contrôlés sont:

- effort vertical
- nombre de passages
- pression du ou des pneus
- plan de balayage

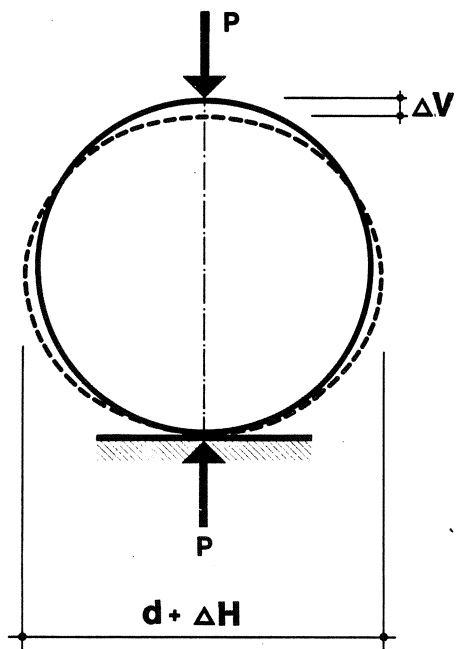
A N N E X E

COMPRESSION DIAMETRALE

LAVOC

MATERIELS DU LABORATOIRE
DES VOIES DE CIRCULATION

COMPRESSION DIAMETRALE



$$\sigma = \frac{2P}{\pi \cdot h \cdot d}$$

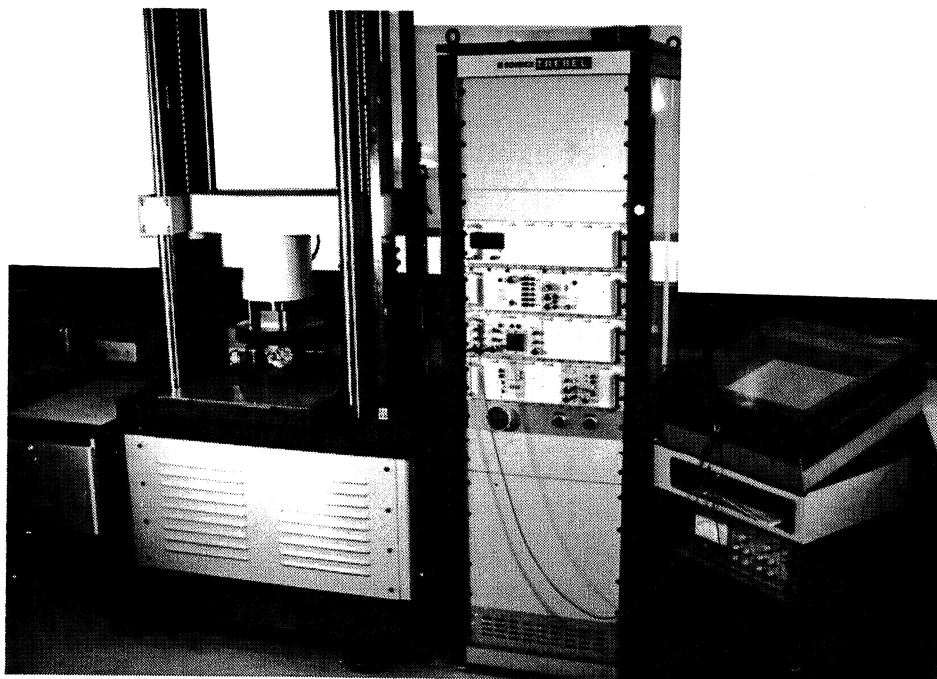
PRINCIPE

Le principe consiste à déterminer la contrainte σ et les déformations au moment de la rupture d'une éprouvette cylindrique disposée horizontalement entre les plateaux d'une presse.

La charge P transmise par les plateaux est appliquée à une vitesse de déformation constante le long de deux génératrices opposées. L'essai est réalisé à trois températures, -10, +25 et +45 °C.

APPAREILLAGE

La charge est appliquée par une presse électro-mécanique d'une capacité maximale de 250 kN. Le déplacement vertical ΔV est mesuré par le rapprochement des plateaux de la presse. Le déplacement horizontal ΔH est mesuré à l'aide de deux capteurs ultra-sensibles.



A N N E X E

PCG - PRESSE A CISAILLEMENT GIRATOIRE

LAVOC

MATERIELS DU LABORATOIRE
DES VOIES DE CIRCULATION

PCG - PRESSE A CISAILLEMENT GIRATOIRE

La presse à cisaillement giratoire permet d'allier un pétrissage à une compression statique.

Le mouvement global permet la ré-orientation continue des granulats pour faciliter le compactage sans destruction excessive de la granularité.

On comprime donc, au sein d'un moule cylindrique chauffé à une température constante, une éprouvette dont l'axe décrit un cône.

La configuration de l'éprouvette à chaque instant est un cylindre oblique à extrémités parallèles.

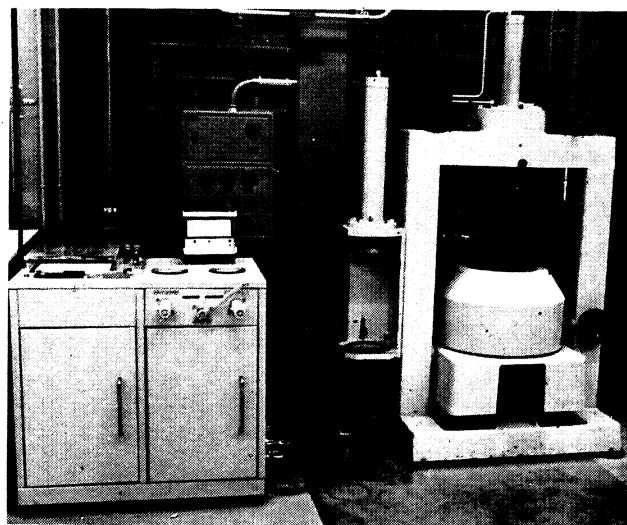
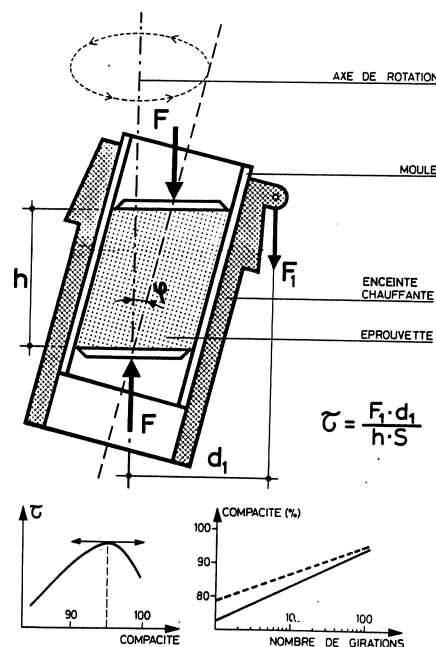
Le centre de l'extrémité inférieure est fixe pendant que l'autre décrit un cercle.

L'éprouvette tourne elle-même autour de son axe.

L'épaisseur de l'éprouvette est mesurée à l'aide d'un capteur de déplacement.

Le dépouillement des enregistrements permet d'obtenir:

- l'évolution de la compacité en fonction du nombre de girations
- l'évolution de la pseudo-contrainte de cisaillement en fonction de la compacité.



A N N E X E

BANC GAMMA

LAVOC

MATERIELS DU LABORATOIRE
DES VOIES DE CIRCULATION

BANC GAMMA

Le principe de la détermination de la masse volumique des matériaux à l'aide du banc γ est basé sur l'atténuation d'un pinceau étroit de photons γ émis par une source radioactive.

Certains photons traversent le matériau en conservant leur énergie sans être absorbé ni dévié. Leur nombre C est lié à la masse volumique γ du matériau par la relation:

$$C = C_0 \cdot e^{-(K\mu'\gamma x)}$$

C_0 = nombre de photons incidents

K = coefficient expérimental de correction

μ' = coefficient d'atténuation massique du matériau

γ = masse volumique du matériau

x = épaisseur du matériau

