

739904

**APPAREIL DE VIBRO COMPRESSION**

présenté à  
M. Pierre Langlois ing.

par  
Eric Lampron  
stagiaire

**Ministère des Transports**  
Centre de documentation  
830, Chemin Ste-Foy  
6e étage  
Québec (Québec)  
G1S 4X8

**REÇU**  
CENTRE DE DOCUMENTATION  
13 JUN 2003  
TRANSPORTS QUÉBEC

Laboratoire Central  
Ministère des transports du Québec  
décembre 90

CANP  
JK  
GIE  
SM  
209

## REMERCIEMENTS

L'auteur aimerait remercier M. Serge Charron pour le travail qu'il a fourni durant cette étude. Ses connaissances et son appui techniques ont été fortement appréciés et parfois même nécessaires pour bien mener à terme certains essais. Ses nombreuses suggestions quant à l'orientation de l'étude et à l'amélioration de l'appareil ne peuvent pas non plus être passées sous silence.

## INTRODUCTION

Pour étudier différents mélanges d'asphalte, il est entre autre nécessaire de compacter des briquettes d'asphalte. Comparativement à d'autres méthodes, la vibro compression a l'avantage de briser très peu les agrégats donc de ne pas changer la granulométrie ou la nature du mélange. De plus, cette méthode donne des résultats beaucoup plus près de ce qui se produit réellement sur la route.

Le laboratoire central du Ministère des transports du Québec sera doté sous peu d'un appareil qui compacte des briquettes d'asphalte par cisaillement giratoire à faible pression : la presse giratoire. Cet appareil se détaille à un prix très élevé. La section mélanges bitumineux du laboratoire central a donc tenté de mettre sur pieds un appareil pouvant donner des résultats similaires à ceux de la presse giratoire mais pour un coût beaucoup moins élevé.

Le principe de compaction est assez simple: un marteau vibrant compacte une certaine quantité d'asphalte dans un moule cylindrique vertical. Grâce à un système d'acquisition de données, différentes mesures sont prises durant la compaction. Ces données sont acheminées à un ordinateur qui les traite et produit un rapport.

Le marteau ne peut qu'appliquer une force limitée lors de la compaction. Il est donc nécessaire de jouer avec d'autres paramètres pour obtenir un pourcentage de compaction maximum. Il a été déterminé que pour la grosseur du moule utilisé (6 pouces de diamètre), la meilleure compaction s'obtient avec une briquette d'une hauteur de 8 cm. Des thermocouples placés dans le mélange lors de la compaction ont permis d'observer les variations de température subites par celui-ci et ainsi, de mieux régler la température du mélange et des autres accessoires. Un tissu géotextile placé directement sur le moule et devant limiter les pertes de chaleur n'a pas donné les résultats escomptés. Toutes les modifications et essais ont bien sûr pour but d'obtenir une compaction maximum. Ainsi, pour une briquette de 8 cm. compactée durant 10 minutes à 150° celcius, le pourcentage de compaction atteint environ 94% et celui-ci atteint 94.5% lorsque la compaction dure 30 minutes.

Le programme informatique fait dans un langage BASIC simple est présenté et sommairement expliqué.

Quelques modifications seraient susceptibles d'améliorer le rendement de l'appareil ou d'en simplifier l'utilisation. Six d'entre elles sont suggérées.

L'appareil sera sous peu associé à un autre système informatique qui permettra de traiter les données plus rapidement et de façon plus complète. Une autre étape ultérieure sera d'effectuer des corrélations entre les résultats obtenus à l'aide de la presse giratoire et ceux obtenus par cet appareil.

A la fin de cette étude de 15 semaines, il a été prouvé que l'appareil est fonctionnel. C'est-à-dire qu'il peut compacter les briquettes jusqu'à un pourcentage assez précis et d'environ 94%. Le système informatique est fonctionnel, simple d'utilisation et fournit les rapports demandés. Des essais effectués dans l'avenir permettront de voir si cet appareil permettra de qualifier et de classer les différents mélange comme le fait la presse giratoire.

## APPAREILLAGE

L'appareil de vibro compression consiste en une base fixe (1) au dessus de laquelle un marteau vibrant(2) de type Kango 638 est maintenu verticalement. Ce marteau d'une puissance de 750 W est fixé à une section mobile (3) à une distance de 10 cm du centre de rotation de celle-ci. A l'extrémité de cette section, soit 55 cm, un contre-poids (4) de 2522 g produit la force nécessaire à la compaction. La hauteur de la section est réglée de façon à ce qu'elle soit complètement horizontale à la fin de la compaction.

Un moule (5) de 6 pouces de diamètre 7 pouces de hauteur est fixé à sa base (6) qui, elle, se fixe au montage. Un capteur de déplacement (7) de marque CELESCO Transducteur products inc. no. PT 510 ØØ2Ø-111-11Ø sert à mesurer un voltage. Une chaîne de sécurité (8) empêche le fil du capteur d'être étiré au-delà de son maximum. Les lectures de voltage sont prises par un multimètre HP 3457A (9) et acheminées à un ordinateur HP (10) qui traduit les voltages lus en déplacements verticaux du marteau, traite les données et produit les rapports demandés.

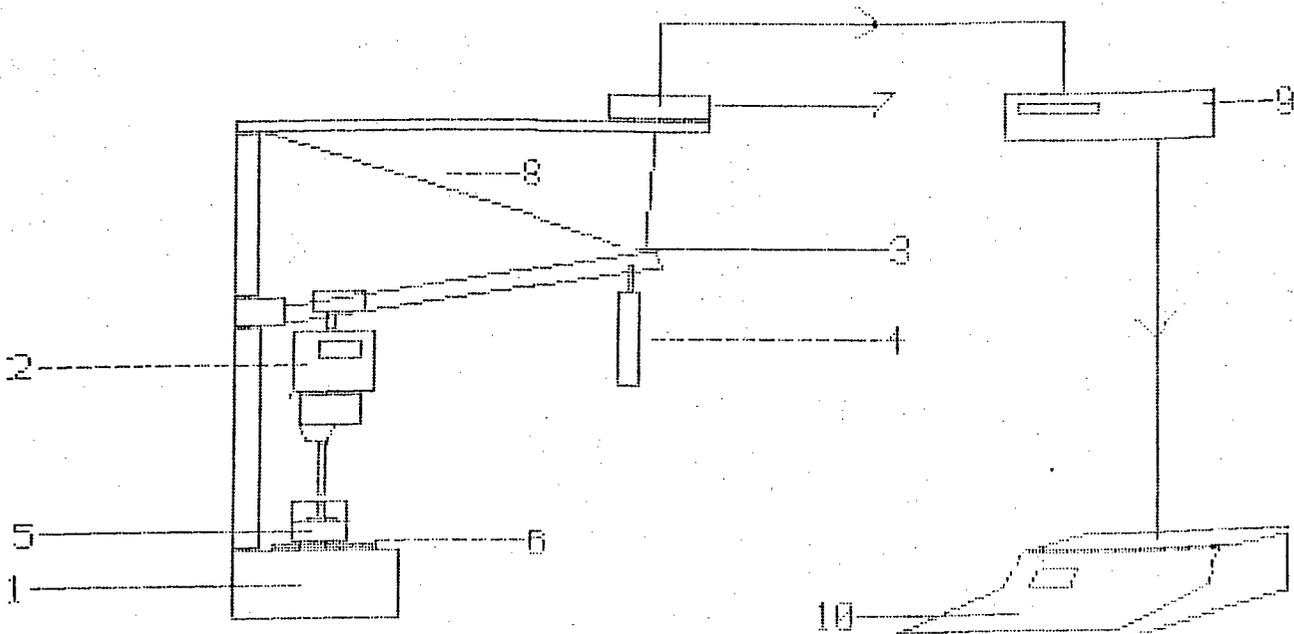


Figure #1 : appareil de vibro compression fabriqué au laboratoire central du MTQ

L'étude effectuée sur l'appareil de compaction par vibration fabriqué au laboratoire du MTQ est guidée par les buts suivants:

- obtenir la compaction maximum pour une briquette compactée dans un moule de 6 pouces de diamètre
- A l'aide d'un ordinateur HP, contrôler les essais, faire l'acquisition de données et produire les rapports demandés.

L'étude devait converger vers ces deux buts. Toutefois, tous les nouveaux éléments, nouveaux résultats ou modifications ont tour à tour influencer le chemin suivi. Pour mieux s'adapté à cette démarche, le rapport suivant suit le développement chronologique de l'étude. Il y a cependant deux exceptions: les sections programmation et suggestions sont placées à la fin. Cela donne dans l'ordre les sections suivantes:

- 1.0 premiers paramètres d'opération utilisés
- 2.0 hauteur optimale des briquettes
- 3.0 étude de la température
- 4.0 manipulations détaillées
- 5.0 résultats finaux
- 6.0 programmation
- 7.0 suggestions

La première section définit les premiers paramètres d'opération utilisés comme le temps de compaction, la température du mélange utilisé, la température des autres accessoires et les calculs de densité et de % de compaction

La seconde section donne les résultats d'une étude ayant pour but de déterminer la hauteur à laquelle la compaction est maximum.

La troisième section présente les résultats d'une étude ayant pour but de déterminer les variations de température subites par le mélange durant la compaction et les modifications quelle entraîne.

La quatrième section énumère les manipulations à effectuer de façon détaillée . Ce qui pourrait aussi s'appeler procédure de travail

La cinquième section présente les résultats obtenus à la fin de l'étude comme le pourcentage de compaction maximum et la précision des résultats fournis par l'ordinateur.

La sixième section présente le programme utilisé, ses possibilités, ses limites, les modifications que l'on peut y apporter etc.

La dernière section suggère quelques modifications susceptibles d'améliorer les résultats et simplifier les manipulations

## 1.0 PREMIERS PARAMETRES D'OPERATION UTILISES

### 1.1 Mélange utilisé

Pour tous les essais effectuées lors de cette étude, un seul mélange sera utilisé. Ceci à pour but de rendre les résultats comparables entre eux. Ce mélange provient du programme d'échange # 26272 du laboratoire # 02653. La densité maximum de ce mélange à été préalablement mesurée et a une valeur de 2.526

### 1.2 Quantité de mélange utilisée

Lors de ces essais, l'objectif est d'atteindre un pourcentage de compaction maximum. Il est donc nécessaire d'essayer différentes quantités de mélange. Il a été supposé que 96% serait le maximum de compaction que l'on pourrait atteindre. Connaissant la densité maximum du mélange, la quantité de mélange nécessaire pour obtenir une briquette d'une hauteur donnée a été calculée de la façon suivante:

$$\begin{aligned} \text{MASSE (Kg)} &= \text{DENSITE MAXIMUM} * \% \text{ DE COMPACTION} * \text{VOLUME} \\ &= 2.526 * 0.96 * (15.24 * 15.24 * \text{Pi} / 4) * H \\ &\text{où H = hauteur finale de la briquette} \end{aligned}$$

De cette formule, proviennent les résultats suivants:

H (cm)	MASSE (g)
4	1769.39
6	2654.09
8	3338.79
10	4423.48
12	5308.18

Tableau #1: masse correspondant aux différentes hauteurs finales des briquettes pour une compaction de 96 %

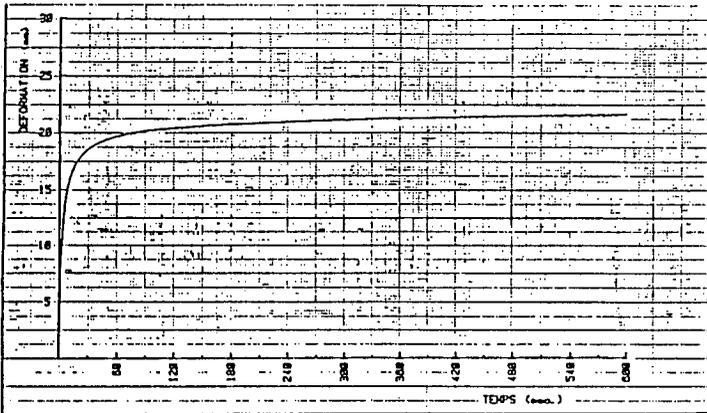
### 1.3 température

Pour effectuer les essais, les mélanges sont chauffés à 150° celcius. Cette température est standard pour ce genre de mélanges. Une température plus élevée risquerait de changer les propriétés du mélange; c'est à dire: oxyder le mélange. Lors des premiers essais, les moules et les autres accessoires ont été laissés à la température ambiante. (Plus tard, il sera démontré qu'il est avantageux de les chauffer

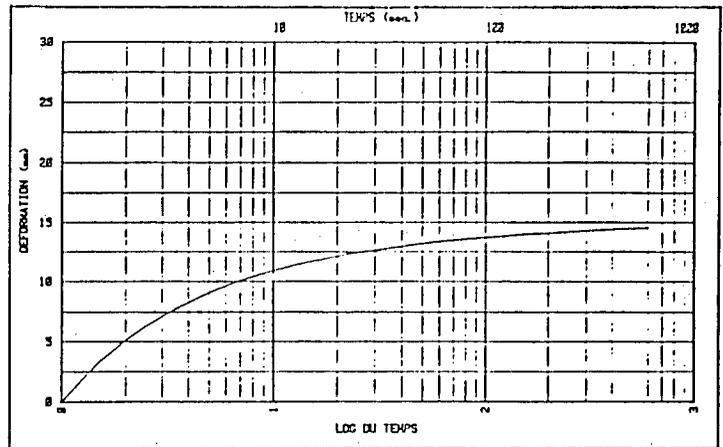
### 1.4 temps de compaction

la majeure partie de la compaction s'effectue durant les deux premières minutes; comme il est possible de le voir sur le graphique #1. Or, Ce graphique ne permet pas de bien voir si la déformation (donc aussi la compaction) est terminée après une période 2, 5 ou 10 minutes. Le graphique #2 qui présente la déformation en fonction du log du temps permet d'évaluer mieux cette pente. Ce graphique montre donc que la compaction n'a pas encore atteint de maximum durant les 10 premières minutes. Les graphiques 1 et 2 sont présentés à la page suivante. Un graphique présenté à la page 24 montrera qu'une compaction de 30 minutes au lieu de 10 permet d'améliorer encore un peu le % de compaction. Toutefois, dans le but de sauver un peu de temps, tous les essais seront de 10 minutes. Il s'agit seulement de ne pas oublier qu'une fois tous les autres paramètres déterminés, les résultats pourront être quelque peu améliorés en augmentant le temps de compaction.

Il faut noter que le mélange refroidit graduellement durant la compaction ce qui ne favorise pas une compaction à long terme.



graphique #1: courbe de déformation en fonction du temps



graphique #2: courbe de déformation en fonction du log du temps

Ces courbes de déformation proviennent respectivement de briquettes de 8 et 12 cm. La hauteur de déformation n'est pas la même dans les deux cas puisque la quantité de mélange utilisée n'est pas la même. toutefois, tous les essais effectués permettent d'affirmer que même si la hauteur de déformation n'est pas la même, les courbes de déformation demeurent presque identiques.

### 1.5 Calculs de la densité et du % de compaction

Le % de compaction des 18 premières briquettes a été calculé de deux façons:

1- par mesures manuelles:

- la hauteur et le diamètre sont mesurés à l'aide d'un pied à coulisse
- la masse de la briquette est prise après compaction
- % compaction =  $\frac{\text{masse (g)}}{\text{densité maximum} \times \text{volume (cm cube)}}$

-----  
densité maximum \* volume (cm cube)

2- par volumétrie:

- la briquette est pesée à sec ( $M_a$ )
- la briquette est ensuite immergée 15 minutes dans l'eau avant de prendre la  $M_e$
- la briquette est ensuite déposée durant 2 minutes dans une serviette humide avant de prendre la  $M_{sss}$
- densité =  $M_a / (M_{sss} - M_e)$
- $V_v = (\text{densité maximum} - \text{densité}) / \text{densité maximum}$
- % de compaction =  $100 - V_v$

où  $M_a$  = masse de la briquette sèche

$M_e$  = masse de la briquette immergée dans l'eau

$M_{sss}$  = masse de la briquette sèche saturée en surface

$V_v$  = volume des vides

dans tous les calculs de ce document la densité maximum = 2.526

densité = densité de la briquette après compaction

Le tableau #2 de la page 10 montrera qu'il existe un écart assez grand entre les % de compaction calculés avec ces deux méthodes. Cet écart a une valeur moyenne de 1.43 %. Cette différence assez élevée s'explique par la non uniformité des surfaces des briquettes. Ce phénomène est particulièrement important sur la surface où le marteau compactait la briquette. En effet la base du marteau est légèrement plus petite que la surface de la briquette ce qui entraîne une variation de hauteur près des parois. Ce phénomène est représenté sur le schéma #2

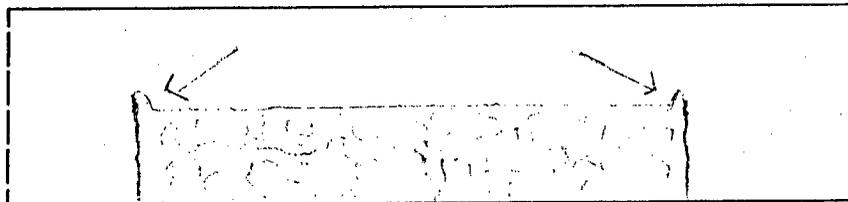


schéma #2: surface de la briquette

Pour cette raison, le % de compaction calculé de façon manuelle ne sera pas considéré. De son côté, le % de compaction calculé par volumétrie n'est pas influencé par une non uniformité des briquettes. Ce sont donc ces valeurs qui seront considérées et utilisées dans ce rapport. Plus tard, l'ordinateur calculera une valeur du % de compaction. On tentera de faire tendre le plus possible cette valeur vers celle calculée par volumétrie.

## 2.Ø HAUTEUR OPTIMALE DES BRIQUETTES

Comme il a déjà été dit, un des buts de cette étude est d'obtenir une compaction maximum. Pour ce faire, il faut déterminer pour quelle hauteur finale de brique la compaction sera la plus élevée. Ici, il faut se rappeler que pour chaque hauteur finale de brique correspond une masse de mélange préalablement déterminée que l'on peut retrouver au tableau #1 de la page 7. 19 briques ont été compactées à ces différentes hauteurs. Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant.

brique #	hauteur (cm)	% de compaction par volumétrie	% de compaction par mesures
1	4	91.83	
2	6	92.62	
3	6	93.34	
4	6	92.64	
5	8	94.18	
6	8	93.9Ø	
7	8	92.57	
8	8	93.Ø4	9Ø.65
9	8	93.63	91.14
1Ø	1Ø	92.95	9Ø.92
11	1Ø	93.11	91.69
12	1Ø	92.59	91.4Ø
13	1Ø	92.59	9Ø.9Ø
14	12	89.64	91.57
15	12	9Ø.8Ø	92.65
16	12	91.45	91.36
17	12	9Ø.54	9Ø.94
18	12	91.7Ø	91.95

Tableau #2: % de compaction en fonction de la hauteur

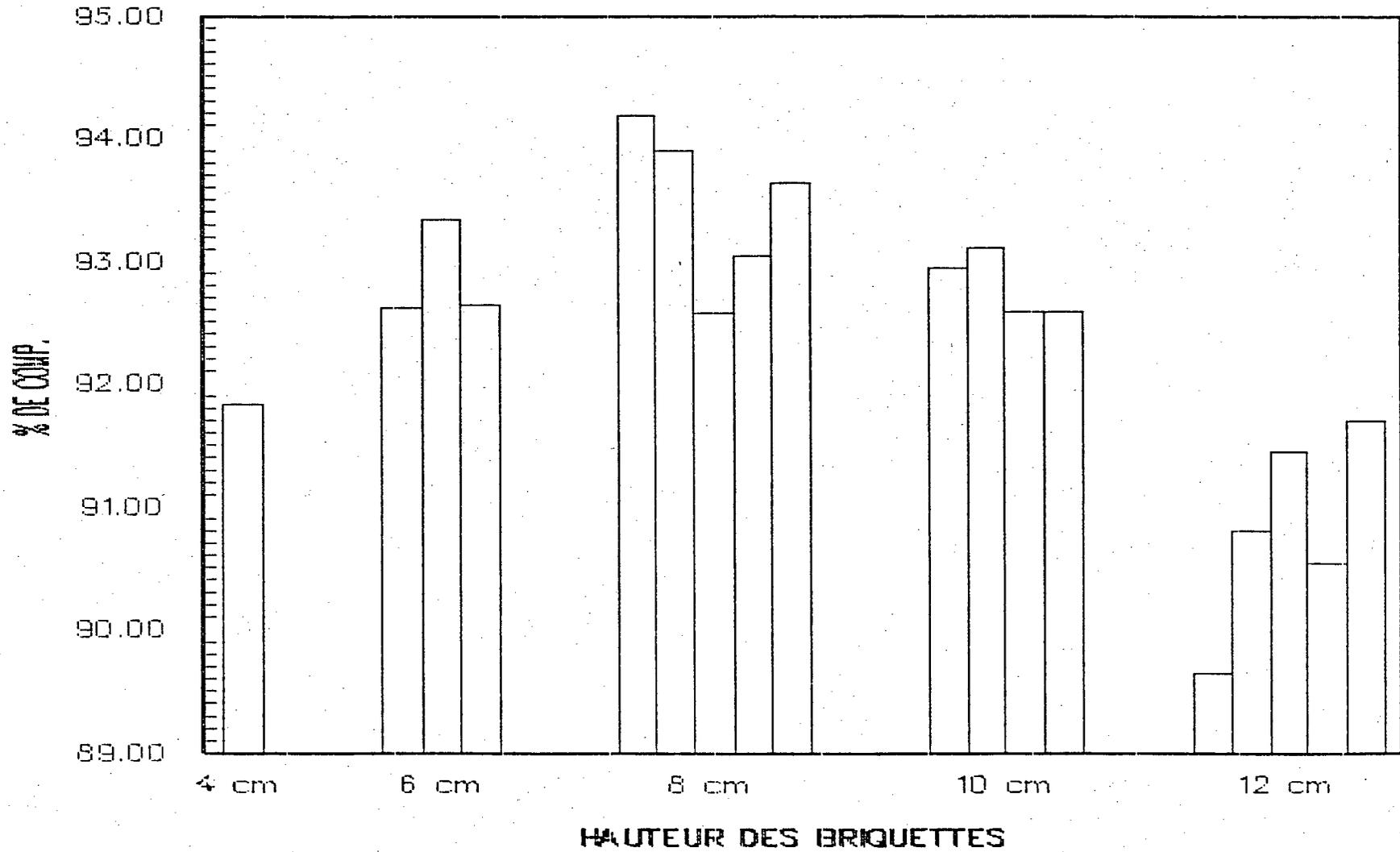
Pour avoir une meilleure vision globale de ces résultats, ceux-ci sont regroupés dans le graphique #3 de la page suivante. De plus, les moyennes des % de compaction calculées par volumétrie se retrouvent dans le tableau suivant.

H des briques	4	6	8	1Ø	12
% de comp (moy.)	91.83	92.87	93.46	92.81	91.69

Tableau #3: moyennes des % de comp. pour les différentes hauteurs

GRAPHIQUE #5

POURCENTAGE DE COMPACTION PAR VOLUMETRIE



Concernant les valeurs de pourcentage de compaction à différentes hauteurs, deux points sont à retenir:

- La compaction maximum est atteinte à une hauteur d'environ 8 cm.

- Les résultats obtenus sont quelque peu éparpillés. Par exemple, pour une hauteur de 8 cm, l'écart entre la plus haute et la plus basse valeur est de 1.61%. Il existe bien sûr une certaine erreur possible relative à ces essais que l'on ne peut pas contrôler. C'est à dire que si plusieurs essais de compaction sont faits avec le même mélange et dans exactement les mêmes conditions physiques, il y aura toujours un écart entre les valeurs. Or, ces essais n'ont pas tous été effectués dans les mêmes conditions physiques. En effet, certains mélanges ont été chauffés à l'étuve et d'autres au micro-onde. Les mélanges devaient être compactés à 150 celcius. Cette température n'a pas été respectée dans tous les cas. Bien d'autres points aux conséquences moins importantes devraient s'ajouter à cette liste. Il est donc évident qu'une procédure de travail complète et précise s'impose. Celle-ci permettrait d'obtenir des résultats plus précis et plus représentatifs. Cette précision est d'autant plus nécessaire que les résultats de différents essais sont comparés entre eux et servent à guider l'étude et les conclusions qui s'en suivent. Une procédure de travail sera donc définie au point 4.0 de ce rapport.

### 3.0 ETUDE DE LA TEMPERATURE

Lors de la compaction, le mélange subit une variation de température. Cette section décrit donc une étude menée dans le but de déterminer l'importance de cette variation de température et l'influence qu'elle a sur la compaction. Pour ce faire, deux thermocouples sont insérés dans la briquette et les lectures sont prises toutes les trentes secondes lors de la compaction.

L'étude a d'abord été menée sur trois briquettes et dans des conditions différentes.

La première briquette compactée avait une hauteur de 12 cm. Le mélange était à 150 celcius. Le moule et sa base ainsi que la base du marteau était à la température de la pièce. Un thermocouple a été placé au centre du moule. Au départ de la compaction le thermomètre indique 146.9 celcius et, après 10 minutes la température a chuté de 13.4 celcius. Le deuxième thermocouple se trouvait à l'interface entre le moule et le mélange. Au départ de la compaction celui-ci indique 113.5 celcius et chutera aussi de 13.4 celcius en 10 minutes. A l'interface, le moule a donc refroidit rapidement le mélange puis la température de la briquette chutera de façon graduelle lors de la compaction. Ces résultats sont présentés dans le tableau #4 ainsi que sur le graphique #4.

La seconde briquette compactée avait une hauteur de 10 cm. Le mélange était à 143 celcius. Le moule et sa base ainsi que la base du marteau était à 180 celcius. Un thermocouple était placé au centre du moule tandis que l'autre se trouvait près de la paroi sans toutefois y être colé. La température au centre du moule est restée presque uniforme. Le mélange situé près de la paroi a été tout d'abord réchauffé par le moule puis sa température chute de 15 celcius. Ces résultats sont présentés dans le tableau #4 ainsi que sur le graphique #5.

La troisième briquette compactée avait une hauteur de 6 cm. Le mélange, le moule, sa base et la base du marteau étaient tous à 150 celcius. Les thermocouples ont aussi été situés au centre et près de la paroi. Dans les deux cas, la température chute rapidement. Durant la compaction de 10 minutes, celle-ci chutera de 26.6 celcius au centre du moule et de 35.9 celcius près de la paroi. Ces résultats sont aussi présents dans le tableau #3 ainsi que sur le graphique #6.

A la lumière de ces informations, deux conclusions s'imposent:

- Le fait de chauffer le moule, sa base et la base du marteau permet de garder le mélange au centre du moule à une température presque constante ainsi que de minimiser la baisse de température du mélange se trouvant près de la paroi.
- Plus la quantité de mélange contenue dans la briquette est importante (plus sa hauteur est élevée), moins les baisses de température sont importantes.

Dans tous les cas il est donc utile de chauffer le moule, sa base et la base du marteau. Il faut toutefois faire attention de ne pas trop les chauffer: il ne faut pas que ces accessoires réchauffent trop le mélange qui se trouve directement en contact avec eux et en changeant les propriétés. A cet effet, 180° celcius semble être une bonne température pour chauffer ces accessoires lorsque le mélange est, lui, chauffé à 150° celcius. Cette supposition devra être confirmée ultérieurement.

Si on ne considère que le facteur température, il est avantageux d'utiliser la plus grande quantité de mélange possible (les briquettes les plus hautes) puisque celles-ci ont tendance à conserver leur température plus longtemps.

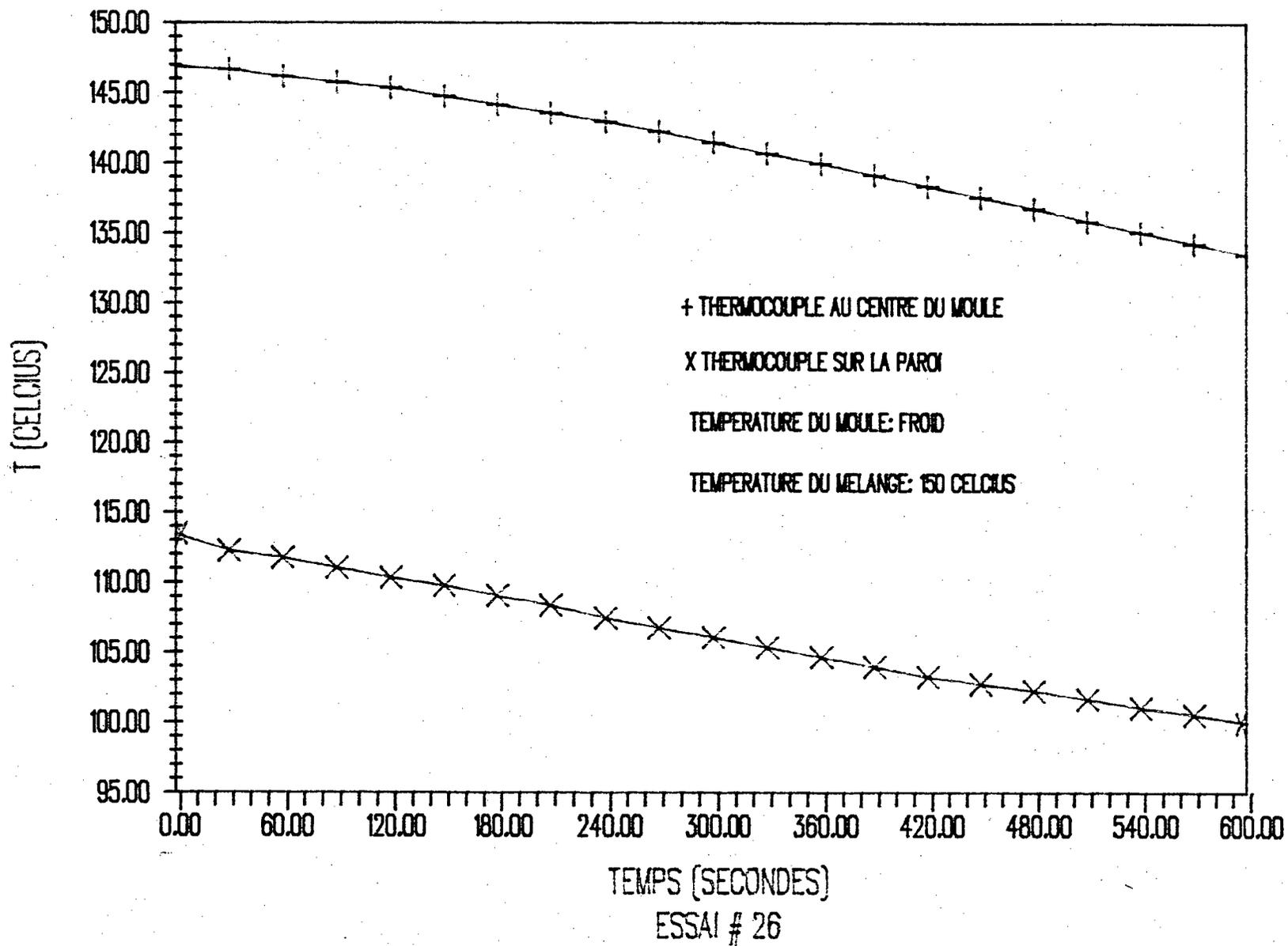
Les données des graphiques 4, 5 et 6 se retrouvent au tableau #4 de la page suivante où:

- #1 : données du thermocouple au centre de la briquette de 12 cm
- #2 : données du thermocouple sur la paroi de la briquette de 12 cm
- #3 : données du thermocouple au centre de la briquette de 10 cm
- #4 : données du thermocouple près de la paroi de la briq. de 10 cm
- #5 : données du thermocouple au centre de la briquette de 6 cm
- #6 : données du thermocouple près de la paroi de la briq. de 6 cm

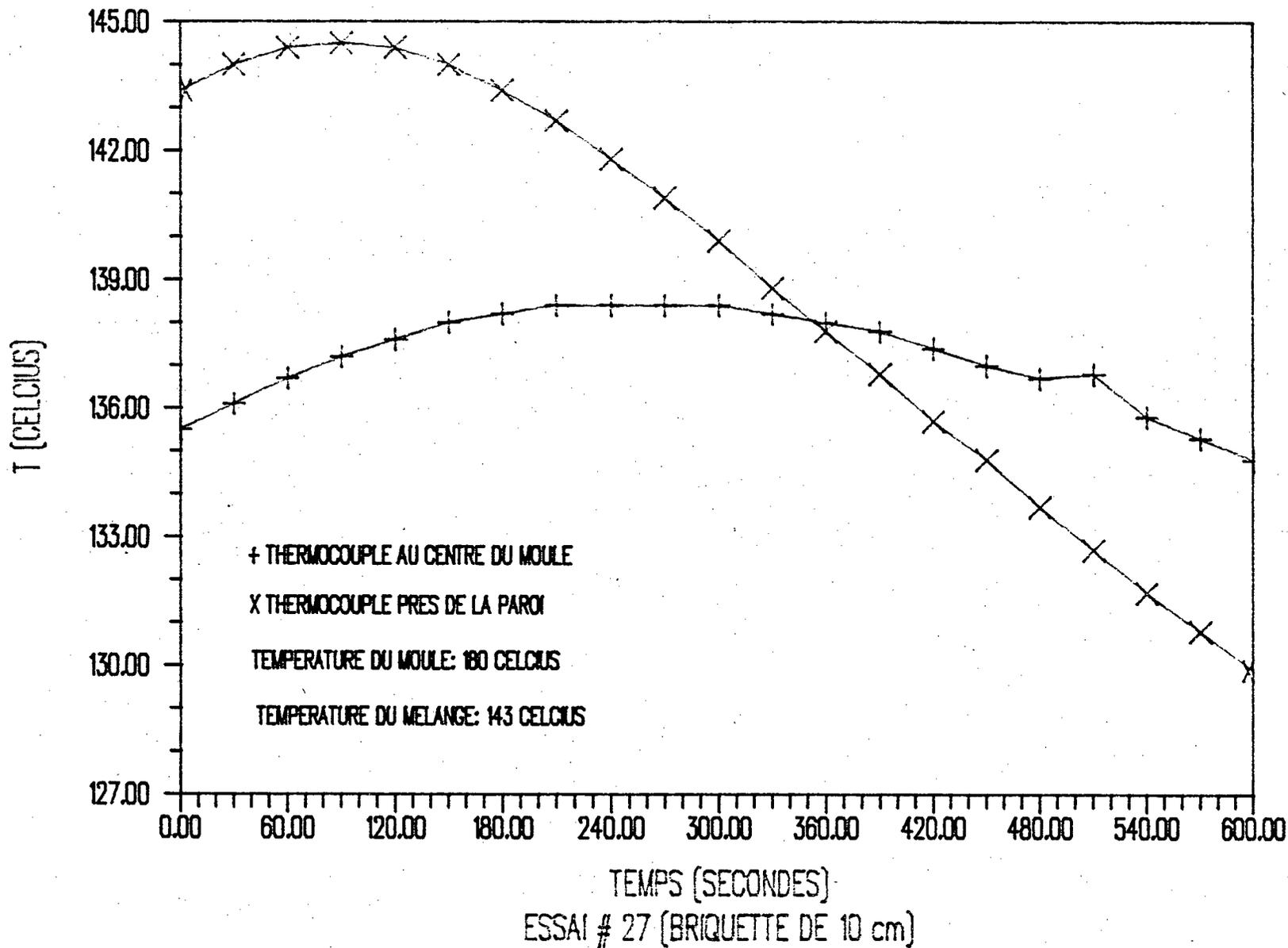
TEMPS	T #1	T #2	T #3	T #4	T #5	T #6
sec.	celcius					
0	146.9	113.5	135.5	143.4	138.7	129.0
30	146.7	112.3	136.1	144.0	137.5	123.7
60	146.2	111.8	136.7	144.4	136.2	120.2
90	145.8	111.1	137.2	144.5	134.7	117.5
120	145.4	110.4	137.6	144.4	133.2	115.3
150	144.8	109.8	138.0	144.0	131.6	113.1
180	144.2	109.1	138.2	143.4	131.1	111.1
210	143.6	108.4	138.4	142.7	128.5	109.2
240	143.0	107.5	138.4	141.8	126.9	107.4
270	142.3	106.8	138.4	140.9	125.3	105.8
300	141.5	106.1	138.4	139.9	123.9	104.2
330	140.7	105.4	138.2	138.8	122.4	102.9
360	140.0	104.7	138.0	137.8	121.0	101.5
390	139.2	104.0	137.8	136.8	199.4	100.2
420	138.4	103.3	137.4	135.7	118.3	99.0
450	137.6	102.8	137.0	134.8	117.2	97.8
480	136.8	102.3	136.7	133.7	116.0	96.7
510	135.9	101.7	136.8	132.7	115.0	95.7
540	135.1	101.1	135.8	131.7	113.9	94.8
570	134.3	100.6	135.3	130.8	113.0	93.9
600	133.5	100.0	134.8	129.9	121.1	93.1

Tableau #4: étude de la température du mélange lors de la compaction

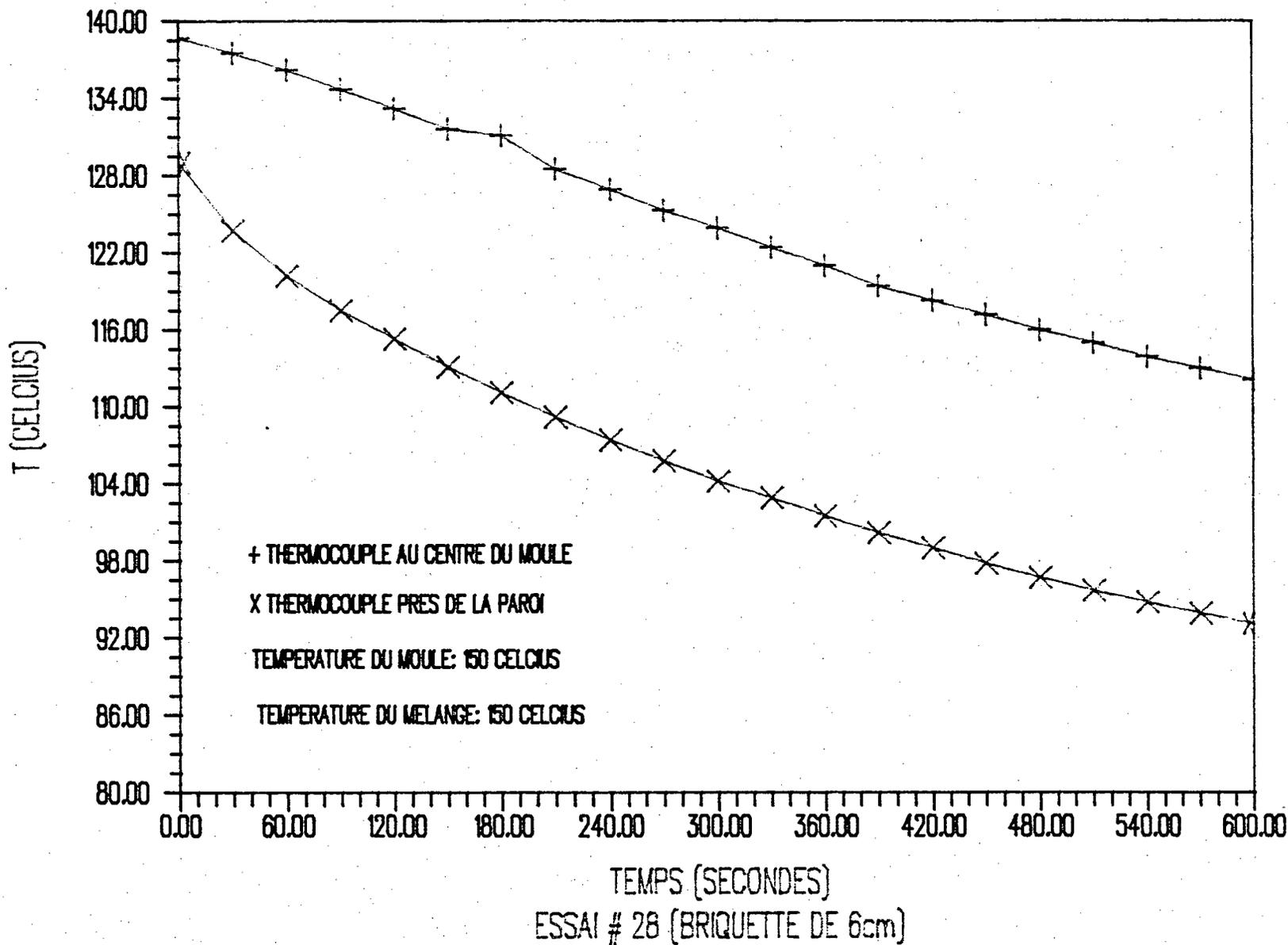
# ETUDE DE LA TEMPERATURE LORS DE LA COMPACTION



# ETUDE DE LA TEMPERATURE LORS DE LA COMPACTION



ETUDE DE LA TEMPERATURE LORS DE LA COMPACTION



Il a été déterminé précédemment que la compaction maximum s'obtient avec une briquette de 8 cm. Or l'étude de la température lors de la compaction prouve qu'il est avantageux de chauffer les accessoires ainsi que d'utiliser la plus grande quantité de mélange possible.

On a tout d'abord compacté trois nouvelles briquettes de 12 cm pour voir si le fait de chauffer les accessoires augmente bel et bien la compaction et pour voir quelle est la compaction maximum qu'il est possible d'obtenir à cette hauteur. Il faut noter que ces briquettes ont été compactées selon une procédure très précise qui est détaillée à la section 6.0. Ces résultats se retrouvent dans le tableau suivant:

brique	% de compaction calculé par volumétrie
1	92.55
2	92.58
3	92.42

Tableau #5 : % de compaction avec les accessoires à 180 celcius

Ces résultats ont une moyenne de 92.52% ce qui représente une augmentation de 0.83% par rapport à la moyenne des compactations obtenues sans chauffer les accessoires que l'on retrouve au tableau #3. Le fait de chauffer les accessoires augmente bel et bien la compaction.

Ces résultats de compaction obtenus en chauffant les accessoires avec des briquettes de 12 cm n'est toutefois pas plus élevé que les résultats obtenus avec des briquettes de 8 cm sans chauffer les accessoires. Les essais se feront donc sur des briquettes de 8 cm, et ce, même si la température de celles-ci chute plus vite lors de la compaction. Car, malgré ce fait, la compaction demeure maximum à cette hauteur.

Il est aussi intéressant de noter qu'en respectant la procédure détaillée de la section 6.0 les résultats sont beaucoup plus près l'un de l'autre.

Une autre étude a été effectuée dans le but de minimiser les pertes de chaleur lors de la compaction. un tissu géotextile d'une épaisseur d'environ 1.5 cm a été enroulé autour du moule et chauffé à 180 celcius avec les autres accessoires. Le tissu a été laissé autour du moule lors de la compaction. pour vérifier l'efficacité de ce tissu, 3 briquettes ont été compactées sans ce tissu puis 4 autres ont été compactées avec. La moyenne des résultats des briquettes compactées avec le tissu est de 93.71% tandis que la moyenne de celles compactées sans tissu est de

93.93%. l'usage de ce tissu n'est donc pas approprié. IL faut de plus se souvenir que le fait de chauffer les accessoires à 180° celcius plutôt que de les laisser à la rempérature de la pièce n'avait permis qu'une augmentation de 0.83%. Il ne fallait donc pas s'attendre à une grande augmentation avec l'usage de ce tissu. Ces derniers résultats se retrouvent dans les tableaux suivants.

briquelette	% de compaction obtenu sans tissu géotextile
1	93.92
2	93.78
3	94.10

Tableau #6 : % de compaction obtenu sur des briquettes de 8 cm en respectant les manipulations de la section 4.0

briquelette	% de compaction obtenu avec tissu géotextile
1	93.68
2	93.56
3	93.79
4	93.81

Tableau #7 : % de compaction obtenu sur des briquettes de 8 cm en respectant les manipulations de la section 4.0 avec l'ajout d'un tissu géotextile

## 5.Ø MANIPULATIONS DETAILLEES

L'appariel de compaction devra éventuellement servir à différencier et classer les différents mélanges utilisés. Pour cela, les résultats doivent être le plus précis possible. Or les briquettes compactées au début de cette étude dont les résultats se retrouvent au tableau #4, ont donné des résultats de compaction assez éparpillés et ce, pour une même hauteur. La préparation de ces briquettes ne suivait toutefois pas une manipulation détaillée. Certain échantillons étaient chauffés au micro-onde d'autres à l'étuve. Les mélanges n'étaient pas passés au séparateur. La température du mélange avant la compaction devait être idéalement à 15Ø celcius, or ce n'était pas toujours le cas. Tous ces faits ont permis de croire que les résultats pourraient être beaucoup plus précis si tous les essais étaient faits dans les mêmes conditions physiques.

Cette hypothèse a été confirmée par les résultats des tableaux #5, #6 et #7 qui se trouvent aux pages 19 et 20 . Au tableau #5, l'écart entre la plus petite et la plus grande valeur est de Ø.16% . Au tableau #6 cet écart est de Ø.32% tandis qu'il est de Ø.25% au tableau #7. Ces résultats prouvent donc l'importance de suivre une procédure de travail précise. Cette section donne donc la procédure de travail utilisée pour obtenir ces derniers résultats. Cette procédure n'est peut-être pa la meilleure et elle peut être modifiée selon les besoins. L'important est que tous les essais soient faits dans exactement les mêmes conditions de façon à obtenir des résultats représentatifs et surtout des résultats comparables entre eux.

Voici donc une liste des manipulations effectuées pour les essais de compaction. (Des commentaires ou justifications sont parfois joints aux manipulations). Cette liste pourrait aussi porter le nom de : procédure de travail pour les essais de compaction.

## PROCEDURE DE TRAVAIL POUR LES ESSAIS DE COMPACTION

### 1 - préparation du mélange

- a - chauffer le mélange à 90° celcius
- b - étendre le mélange dans un plat quelconque et le brasser à l'aide d'instruments et des mains jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'agglomération de mélange
- c - séparer le mélange à l'aide d'un séparateur (le mélange doit être séparé en quantité légèrement supérieure à 3350 g.)
- d - chauffer le mélange à exactement 150° celcius dans une étuve (il faut s'assurer que tout le mélange a atteint cette température. Il est donc préférable de prendre la température à plusieurs endroits. De plus, il ne faut pas chauffer le mélange au micro-onde puisque celui-ci ne chauffe pas le mélange de façon uniforme. Et les micro-ondes continuent à chauffer le mélange quelque temps après l'arrêt de l'appareil)

### 2 - préparation des accessoires

- a - chauffer les moules, la base des moules et la base du marteau à 180° celcius. Il est de plus préférable de fixer un moule à la base avant de les mettre à l'étuve. (Ceci élimine les pertes de temps lors de la préparation d'un essai)

### 3 - installation du montage et du système informatique

- a - les appareils nécessaires sont le vibro compacteur, l'ordinateur HP, le 'plotter' HP, et le multimètre (placé dans le coffre à outils)
- b - brancher le marteau vibro compresseur sur l'actuateur #9 du multimètre
- c - brancher le capteur de déplacement sur le canal de lecture #3 et sur la prise " V dc VAR " :
  - fil rouge dans la prise rouge
  - fil noir dans la prise jaune
  - fil blanc dans la prise verte
  - fil vert dans la prise blanche
- d - ajuster le voltage CV à 20 V

- e - appuyer dans l'ordre sur les touches : TERM, 2, ENT, CHAN, 3, ENT
- f - s'assurer que l'ordinateur, le multimètre et le 'plotter' sont bien reliés à une prise de courant et reliés entre eux
- g - insérer la cassette HP 85 dans l'ordinateur, écrire LOAD "BOUBA" puis RUN
- h - répondre aux questions

#### 4 - départ de l'essai

- a - mettre un moule et sa base sur une balance et fixer cette valeur à 0 puis, à l'aide de la balance, insérer 3350 g de mélange dans le moule
- b - à l'aide d'une spatule, disposer uniformément le mélange dans le moule (30 coups)
- c - placer le moule et sa base sur le vibro compresseur et fixer la base avec la vise
- d - descendre le marteau sur le mélange
- e - s'assurer que le fil du capteur est bien placé
- f - démarrer l'essai

(ces 6 derniers points doivent se faire le plus rapidement possible pour empêcher le refroidissement du mélange)

- g - répondre aux questions de l'ordinateur pour l'impression du rapport

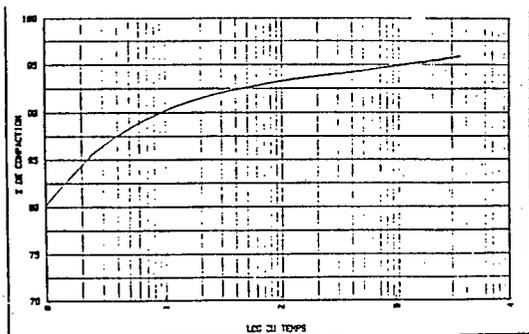
- 5 - s'il est nécessaire de mesurer le % de compaction par volumétrie, il est encore préférable de suivre une procédure fixe comme celle suggérée à la page 9 . C'est d'ailleurs celle qui a été utilisée lors de cette étude.

## 6.0 RESULTATS FINAUX

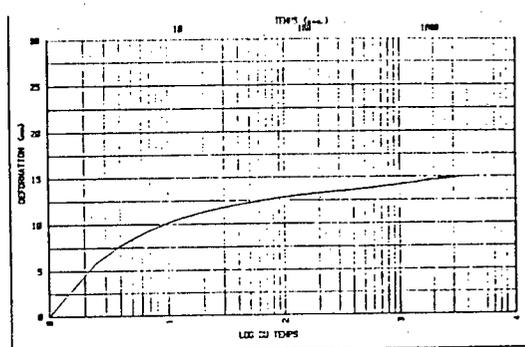
Durant cette étude, plusieurs essais ont été effectués. Or, la majorité d'entre eux n'ont servi qu'à vérifier des points particuliers ou à diriger l'étude. Il est donc intéressant de regrouper les résultats finaux obtenus. De plus l'ordinateur calcule un certain % de compaction qui doit être comparé à celui calculé par volumétrie.

Un des buts de cette étude est de d'obtenir une compaction maximum. Celle-ci a été obtenue avec une quantité d'environ 3350 g de mélange (briquette de 8 cm) chauffé à 150 celcius avec les accessoires chauffés à 180 celcius. Les résultats obtenus ont une moyenne de 93.93% soit environ 94%. Les différents essais donnent tous des résultats très près les uns des autres tel que démontré par les tableaux 5, 6 et 7 et à la section 5.0 si une procédure de travail très précise est suivie.

Le temps de compaction a été fixé à 10 minutes pour les essais de cette étude. toutefois il peut être intéressant de voir le résultat si la compaction est prolongée au-delà de 10 minutes. Les deux graphiques suivants montrent les courbes de déformation et de % de compaction en fonction du log. du temps évalués sur une période de 30 minutes.



graphique #7: courbe de déformation en fonction du log du temps



graphique #8: courbe du % de compaction en fonction du log du temps

Le graphique du % de compaction permet de voir que la compaction se poursuit au-delà de 10 minutes. Un seul essai a été fait à 30 minutes et la compaction a donné 94.50%. Il faut se rappeler qu'elle était de 93.93% en moyenne après 10 minutes. Un ajout de 20 minutes a donc permis d'augmenter la compaction de 0.57%. Ce

résultat représente vraisemblablement le maximum qu'il est possible d'obtenir dans ces conditions physiques. L'étude avait pour but de déterminer la compaction maximum qu'il est possible d'obtenir et cela s'obtient après 30 minutes et même davantage. Toutefois, il faut se rappeler que cet appareil devra éventuellement servir à qualifier et classer différents mélanges. Cette classification se fera à partir des différences dans les résultats obtenus. A cause de cela, il n'est peut être pas nécessaire de compacter durant 30 minutes. Les différents essais ont montré que les résultats obtenus après 10 minutes sont stables et assez précis. Il serait donc possible d'utiliser ces résultats pour qualifier les différents mélanges.

A l'aide d'une courbe de calibration, l'ordinateur est en mesure d'évaluer la hauteur finale de la briquette. A l'aide de la masse de mélange contenue dans la briquette il peut évaluer le % de compaction final. Ces pourcentages sont comparés à ceux obtenus par volumétrie dans le tableau suivant.

briquette #	% de compaction calculé par	
	volumétrie	l'ordinateur
1	93.92	94.54
2	93.78	94.29
3	94.10	93.41
4	93.68	93.48
5	93.56	93.52
6	93.79	-----
7	93.81	93.28

Tableau #8 : comparaison entre les % de compaction calculés par volumétrie et par ordinateur

L'écart moyen entre les deux valeurs est de 0.44% tandis que l'écart maximum est de 0.69%. Comme les valeurs calculées par l'ordinateur sont parfois plus hautes et parfois plus basses, il est impossible de parler de tendance. L'écart doit donc être considéré comme provenant de l'erreur possible sur les mesures ou sur l'interprétation des hauteurs calculées par l'ordinateur. Quoi qu'il en soit cet écart sera toujours présent.

L'ordinateur fournit deux graphiques différents soit: courbe de déformation en fonction du log. du temps et une courbe du % de compaction en fonction du log. du temps ainsi que des données de la courbe de déformation en fonction du log. du temps. Les deux courbes se tracent sur demande à l'aide du 'plotter' et les données sortent à l'imprimante aussi sur demande. Le tableau suivant donne un exemple des données fournies tandis que les deux prochaines pages montrent un exemple des deux graphiques que l'ordinateur trace ainsi que des exemples des renseignements que l'on peut y retrouver.

-----  
COMPACTION  
DATE: 22\11\1990  
NO. D'ESSAI: 39  
COMMENTAIRES: 150-180  
HAUTEUR INITIALE: 89.73  
HAUTEUR FINALE: 75.319  
DENSITE MAXIMUM: 2.526  
MASSE: 3214.5 g

DEFORMATION(mm)	TEMPS(sec.)
0	0
12.067	20
12.854	40
13.185	60
13.394	80
13.537	100
13.647	120
13.728	140
13.796	160
13.86	180
13.92	200
13.964	220
14.007	240
14.044	260
14.073	280
14.116	300
14.147	320
14.169	340
14.187	360
14.208	380
14.235	400
14.277	420
14.302	440
14.321	460
14.353	480
14.371	500
14.4	520
14.418	540
14.437	560
14.454	580
14.471	600



COMPACTION

NO. D'ESSAI: 39

DATE: 22\11\1990

COMMENTAIRE: 150-180

MASSE: 3214.5 g

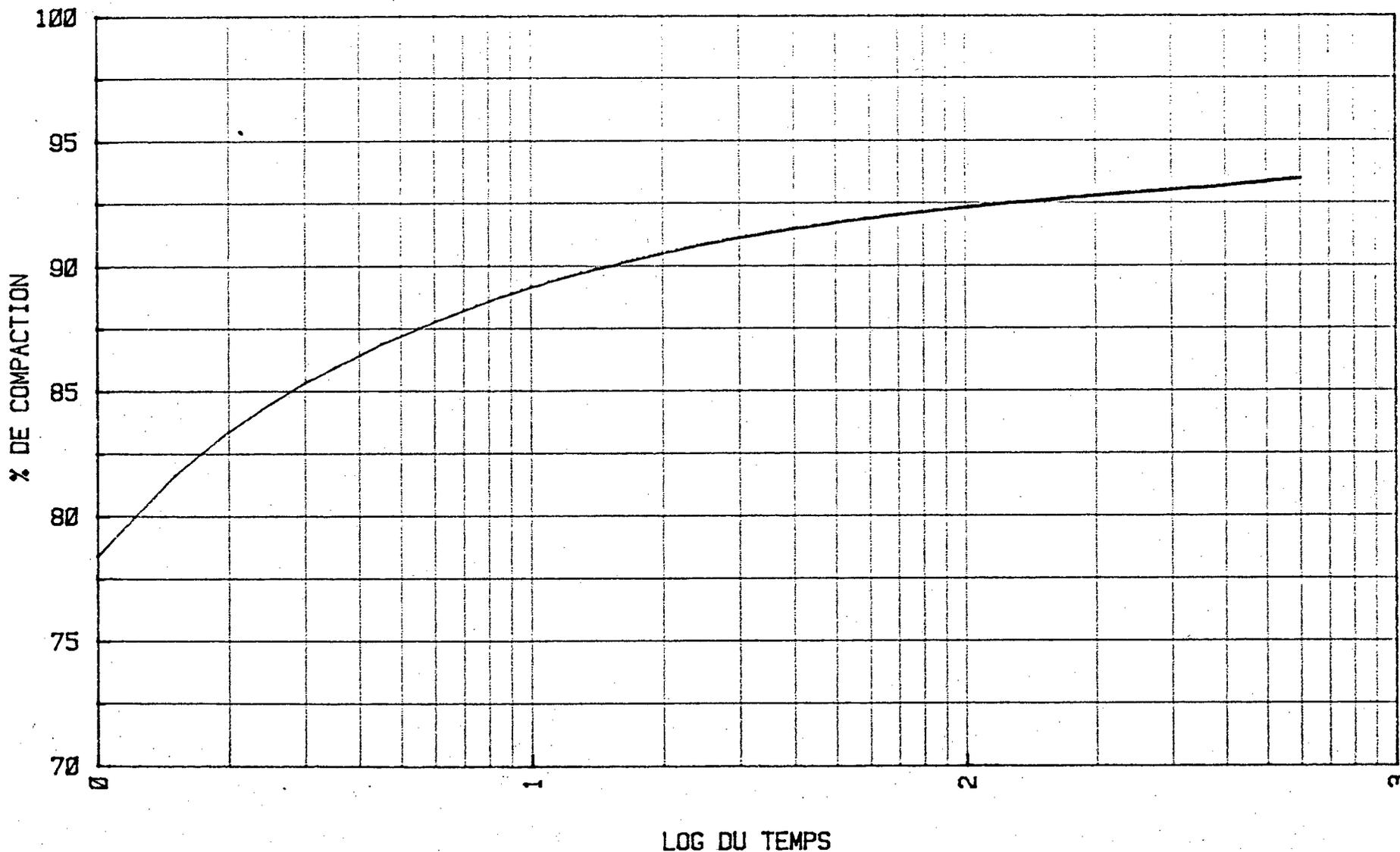
DENSITE MAXIMUM: 2.526

HAUTEUR INITIALE: 89.79 mm

HAUTEUR FINALE: 75.319 mm

VOLUME: 1361.3 cm cube

% DE COMPACTION: 93.479 %



## 6.Ø PROGRAMMATION

Les données recueillies lors d'un essai de vibro compaction sont traitées à l'aide d'un ordinateur HP. Il a donc été nécessaire de créer un programme capable de répondre à ce besoin. Cette section décrit donc ce programme selon les points suivants: caractéristiques de base, possibilités et limites, changements que l'on peut y apporter et le 'listing' complet du programme.

### Caratéristiques de base

Le programme a été fait dans un langage BASIC simple. Toutefois, lors de l'étude, plusieurs modifications ou ajouts ont été apportés au programme. Cela explique qu'il ne soit pas toujours dans un ordre parfait. Dès que le programme est mis en marche, des indications ayant pour but d'aider l'utilisateur s'affichent à l'écran. L'utilisateur est de plus guidé par des questions. Celles-ci lui permettent d'entrer les données nécessaires et d'obtenir les rapports voulus. L'utilisateur doit donc écrire au clavier trois données d'information: date, no. d'essai et commentaire, ainsi que deux autres données: masse de mélange contenu dans le moule et densité maximum de ce mélange. A l'aide de l'acquisition de données faite durant l'essai et d'une courbe de calibration, l'ordinateur connaît en tout temps la hauteur de la briquette. Ceci permet donc de tracer les courbes de déformation et de compaction. L'ordinateur se sert aussi de ces données pour calculer le volume et le % de compaction à la fin de l'essai. Ces deux derniers calculs sont faits à l'aide de la hauteur finale de la briquette. Or l'appareil vibre et cela pourrait fausser légèrement l'interprétation de la hauteur de cette hauteur finale. Pour palier à cela l'ordinateur calcule donc la plus basse valeur sur les 10 dernières recueillies et se sert de cette valeur pour faire les calculs. Le programme est de plus pourvu de plusieurs sécurités ayant pour but de donner une seconde chance ou même empêcher l'arrêt du programme lorsque l'utilisateur répond mal à une question. Toutefois une attention particulière doit être portée aux données de masse et de densité maximum. En effet, dans ces deux cas, si l'utilisateur ne rentre pas une donnée numérique, l'ordinateur ne peut pas exécuter le programme puisque ces deux valeurs sont nécessaires à certains calculs. Ces deux cas sont vraisemblablement les deux seuls pouvant causer l'arrêt immédiat et non désiré de l'exécution du programme.

## Possibilités et limites

L'ordinateur HP utilisé n'a que 32 K de mémoire. Cela en limite grandement les possibilités. Par exemple, lors de l'acquisition de données, l'ordinateur prend et garde en mémoire 1200 valeurs. Ce nombre peut sembler élevé mais est nécessaire puisque le marteau vibre donc plusieurs valeurs sont nécessaires pour obtenir un graphique précis. Or, le fait d'utiliser 1200 valeurs limite le nombre de variables pouvant contenir ces valeurs à 3; soit deux variables pour les coordonnées X et Y des graphiques et une autre variable utilisée pour les calculs. Les calculs doivent donc être effectués dans un ordre précis et les graphiques doivent aussi être imprimés dans un ordre précis. Il est donc impossible d'afficher un menu contenant les différents éléments du rapport final (graphique de déformation, graphique de compaction et tableau de données) et de demander à l'utilisateur quels éléments du rapport il veut et dans quel ordre. L'utilisateur doit donc faire imprimer le graphique de compaction puis le tableau des données de déformation puis le graphique de déformation. Et, lorsqu'une étape est passée, on ne peut pas y revenir.

La durée de compaction est réglée avec un 'wait'. Cette commande est assez précise mais laisse tout de même une légère erreur sur le temps de compaction. Par exemple, un essai qui est supposé durer 10 minutes dure plutôt exactement 10 minutes et 9 secondes, un essai de 5 minutes dure en réalité 5 minutes et 4 secondes et un essai de 30 minutes dure exactement 29 minutes et 51 secondes. Ces valeurs représentent les plus précises qu'on a réussi à obtenir.

## Changements susceptibles d'être apportés au programme.

### Temps de compaction

Le programme VIBRO est réglé pour un temps de compaction de 10 minutes. Or cela peut facilement être modifié. Il s'agit de changer les points suivants:

- le 'wait' doit être modifié selon le temps désiré. Par exemple, pour une compaction de 5 minutes, il doit être de 168 et pour une compaction de 30 minutes, il doit être de 1400.
  - le commentaire de la ligne 161 devrait être changé
  - les valeurs du temps doivent être modifiées par la ligne 620.
- Par exemple, une compaction de 10 minutes donne 600 secondes soit 1200/2 d'où B/2. Donc pour une compaction de 5 minutes on devrait retrouver B/4 au lieu de B/2 à la ligne 620. Le même changement doit être apporté à la ligne 3100.

Pour une compaction de 30 minutes, il faut de plus modifier tout le tracé graphique de façon à obtenir un tableau logarithmique en 4 étapes au lieu de 3. Cela peut s'avérer assez ardu pour

quelqu'un qui n'est pas habitué avec ce genre de programmation. La cassette HP 85 contient donc un programme de compaction déjà réglé pour une durée de 30 minutes. Ce programme se trouve sous le nom: comp10.

### quantité de mélange utilisée

L'appareil ainsi que le programme VIBRO sont actuellement réglés pour donner une briquette d'une hauteur finale d'environ 8 cm (soit 3350 g. de mélange). Or il est possible de compacter des briquettes de d'autres hauteurs. Pour ce faire, il faut changer la hauteur à laquelle le marteau est fixé (des trous sont prévus à cette effet) et changer l'équation permettant de transformer les volts lues en hauteur. Cette équation se trouve à la ligne 570 du programme.

Pour une hauteur de 8 cm l'équation transformant le voltage lu en hauteur en mm est la suivante:

$$Y = A + Bx + Cx^2 + Dx^3 \quad \text{où}$$

A =	186.24332
B =	-13.70502
C =	0.22452
D =	-0.0027

Suivant cette équation ont retrouve les corrélations suivantes :

r =	1.0000	et	r 2 =	0.9999
-----	--------	----	-------	--------

pour une hauteur de 12 cm ont retrouve:

A =	247.83286
B =	-29.42921
C =	3.07741
D =	-0.1646

où

r =	1.0000
r 2 =	1.0000

Ces deux dernières équations ont été obtenues à l'aide de du logiciel TGP. Le graphique de la page suivante représente la courbe de calibration pour une hauteur de 8 cm.

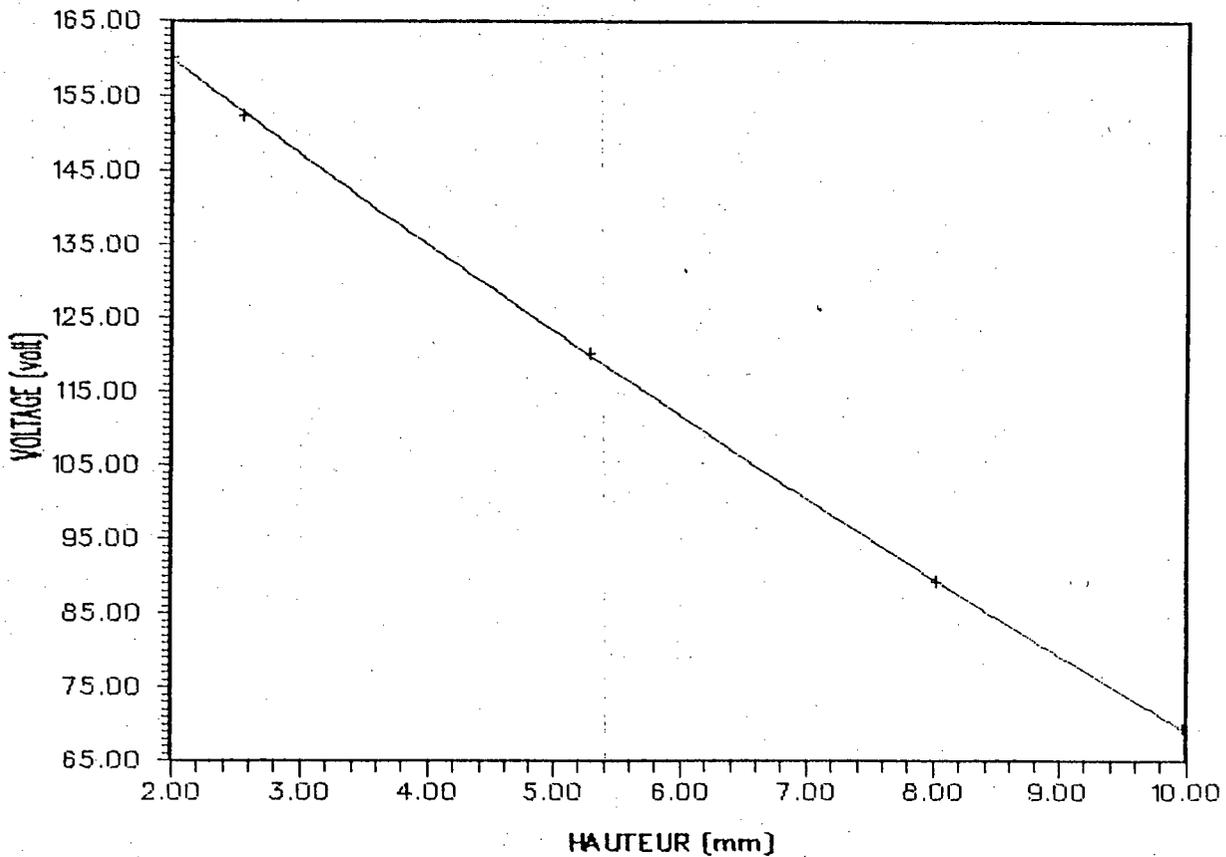
### Où trouver les programmes

Le programme actuellement réglé pour une compaction de 8 cm se trouve sur la cassette HP 85 sous le nom VIBRO. Une copie de sécurité se trouve sur la cassette MELANGES BUTIMINEUX sous le même nom. Les deux copies sont munies d'une sécurité: aucun programme ou modification de ce programme ne peut être sauvé sous ce nom. Pour enlever la sécurité il faut écrire UNSECURE "VIBRO","BOUBA",2. Ceci permet entre autre d'effectuer des modifications au programme. Après avoir sauver le programme modifié sous ce même nom, la sécurité peut être remise en écrivant SECURE "VIBRO", "BOUBA",2. Le programme réglé pour une compaction de 30 minutes se trouve sur la cassette HP 85 sous le nom COMP10.

Un 'listing' complet du programme VIBRO est présenté aux pages suivantes soit les pages 33 à 40.

Graphique # 11

**COURBE DE CALIBRATION**  
**[POUR UNE BRIQUETTE DE 8cm]**



```
10 GCLEAR
20 CLEAR
30 PRINTER IS 2
40 CRT IS 1
50 DISP "BRANCHER LE MARTEAU SUR
CANAL 9"
60 DISP "BRANCHER LE CAPTEUR SUR
LE CANAL"
70 DISP "3 ET SUR LA PRISE 'V dc
MAR'"
80 DISP " FIL ROUGE DANS LA PRIS
E ROUGE"
90 DISP " FIL NOIR DANS LA PRISE
JAUNE"
100 DISP " FIL VERT DANS LA PRISE
BLANCHE"
110 DISP " FIL BLANC DANS LA PRIS
E VERTE ET OUI! C'EST UN STAGIE
RE DE"
120 DISP "L'ETS QUI A INSTALLER C
ELA!!! AJUSTER LE VOLTAGE CV A
20 V"
130 DISP "APPUYER DANS L'ORDRE SU
R LES"
140 DISP "TOUCHES :TERM,2,ENT,CH
AN,3,ENT"
150 DISP ""
160 DISP "APPUYER SUR 'CONT' POU
R LA SUITE"
170 PAUSE
180 CLEAR @ DISP "POUR LA COMPAC
TION:"
190 DISP ""
200 DISP "METTRE ENVIRON 3400g D
E MELANGE"
210 DISP "BIEN FIXER LA BASE A L
'AIDE"
220 DISP "DE LA VISSE"
230 DISP "S'ASSURER QUE TOUTS LE
S"
240 DISP "APPAREILS SONT BIEN BR
ANCHES"
250 DISP ""
260 DISP "APPUYER SUR 'CONT' POU
R "
270 DISP "ENTRER LES DONNEES"
280 PAUSE
290 SHORT X(1201),Y(1201),W(1201
)
300 DIM R$(1991),J$(1101),K$(1101),H$(
1101),A$(151),B$(151),C$(151),D$(151),E$(151
)
310 $[51
320 MAT W=(0)
330 MAT X=(0)
340 MAT Y=(0)
350 CLEAR
360 GOTO 210
370 DISP "ENTRER LA DATE EN 8 CA
RACTERS"
380 DISP "DATE (JJ MM AAAA)"
```

```
220 INPUT J#
230 IF LEN(J#)<>8 THEN 200
240 CLEAR
250 DISP "NO. D'ESSAI."
260 DISP "6 CARACTERS MAXIMUM"
270 INPUT K#
280 IF LEN(K#)>6 THEN 240
289 DISP "COMMENTAIRE"
290 DISP "15 CARACTERES MAX."
291 INPUT R#
301 IF LEN(R#)<15 THEN 305
302 CLEAR
303 DISP "COMMENTAIRE TROP LONG"
304 GOTO 289
305 DISP "MASSE EN GRAMMES"
306 INPUT M
307 DISP "DENSITE MAXIMUM"
308 INPUT L
310 CLEAR
320 !
330 ! DEPART DE L'ESSAI
340 OUTPUT 722 ; "PRESET"
350 OUTPUT 722 ; "TERM REAR"
360 OUTPUT 722 ; "DCV 10, .1"
370 OUTPUT 722 ; "CHAN 3"
380 OUTPUT 722 ; "OPEN 9"
390 CLEAR
400 DISP "LORSQUE TOUT EST PRET"
410 DISP "FAIRE 'CUNT' POUR PARTIR L'ESSAI"
420 PAUSE
430 OUTPUT 722 ; "CLOSE 9"
440 CLEAR
450 DISP "ESSAI EN MARCHE"
460 DISP "LECTURE DES DONNEES"
461 DISP "(DUREE: 10 MINUTES)"
465 OUTPUT 722 ; "CHAN 3"
470 FOR I=1 TO 1201
480 ENTER 722 ; Y(I)
490 WAIT 411
500 NEXT I
510 CLEAR
520 DISP "LECTURES TERMINEES"
530 OUTPUT 722 ; "OPEN 9"
550 DISP "PATIENCE JE CALCULE"
555 ! CONVERSION DES DONNEES
560 FOR I=1 TO 1201
570 W(I)=186.24332-13.705*Y(I)+.
22452*Y(I)*Y(I)-.0027*Y(I)*Y(I)*
Y(I)
571 NEXT I
572 G=W(1)
574 H=W(1201)
575 FOR I=1180 TO 1201
576 IF W(I)>H THEN 578
577 H=W(I)
578 NEXT I
579 CLEAR @ DISP "VOULEZ-VOUS UN
```

GRAPHIQUE DU % DE COMPACTION EN  
FONCTION DU TEMPS?"

```
580 INPUT E$
581 IF LEN(E$)<>1 THEN 579
582 IF E$="0" THEN 600
583 DISP "PATIENCE JE CALCULE"
584 FOR I=1 TO 1201
585 Y(I)=W(1)-W(I)
586 NEXT I
587 FOR I=1 TO 1201
588 Y(I)=W(1)-W(I)
589 NEXT I
590 ! VALEUR X (TEMPS)
600 B=0
610 FOR I=1 TO 1201
620 W(I)=B/2
630 B=B+1
640 NEXT I
641 X(1)=0
644 FOR I=2 TO 1201
645 X(I)=LGT(W(I)+1)
646 NEXT I
650 ! SORTIE DES DONNEES SUR PAP
IER
651 CLEAR
660 DISP "VOULEZ-VOUS FAIRE IMPR
IMER LES"
661 DISP "VALEURS DE DEFORMATION
EN "
662 DISP "FONCTION DU TEMPS?"
670 DISP "O OU N"
680 INPUT A$
681 IF LEN(A$)<>1 THEN 651
690 IF A$="N" THEN 815
700 CLEAR
710 PRINT "-----"
-----"
720 PRINT "COMPACTION"
730 PRINT "DATE: ";J#[1,2];"\ ";J
#[3,4];"\ ";J#[5,8]
740 PRINT "NO. D'ESSAI: ";K$
750 PRINT "COMMENTAIRES: ";R$
751 PRINT "HAUTEUR INITIALE: ";G
752 PRINT "HAUTEUR FINALE: ";H
753 PRINT "DENSITE MAXIMUM: ";L
754 PRINT "MASSE: ";M;"g"
760 PRINT
770 PRINT
775 PRINT "DEFORMATION(mm)      I
EMPS(sec.)"
780 PRINT
781 F=1
790 FOR I=1 TO 31
800 PRINT Y(F),W(F)
805 F=F+40
810 NEXT I
815 CLEAR
820 ! IMPRESSION GRAPHIQUE DES D
ONNEES
```

```
830 DISP "VOULEZ-VOUS UN GRAPHIQ  
UE DE LA "  
831 DISP "DEFORMATION EN FONCTIO  
N DU TEMPS?"  
840 DISP "O OU N"  
850 INPUT B$  
851 IF LEN(B$)<>1 THEN 815  
860 IF B$="N" THEN 2000  
861 GOTO 7000  
870 PLOTTER IS 705  
900 FRAME  
902 SCALE 0,250,0,180  
903 LOCATE 10,134,9,80  
904 SCALE 0,3,0,30  
905 LAXES 1,2.5,0,0,1,2  
910 MOVE 1.3,-2.5  
920 LABEL "LOG DU TEMPS"  
930 DEG @ LDIR 90  
940 MOVE -.16,12.5  
950 LABEL "DEFORMATION (mm)"  
960 LDIR 0  
961 CSIZE 6,1  
962 MOVE 0,36  
963 LABEL "COMPACTION"  
975 CSIZE 3.5,.6  
976 MOVE 2,37  
977 LABEL "DATE";";";J$(1,2);\  
"J$(3,4);";";J$(5,8)  
978 MOVE 2,35.5  
979 LABEL "NO. D'ESSAI: ";K$  
980 MOVE 2,34  
981 LABEL "COMMENTAIRE: ";R$  
982 MOVE 1,37  
983 LABEL "HAUTEUR INITIALE: ";G  
";"mm"  
984 MOVE 1,35.5  
985 LABEL "HAUTEUR FINALE: ";H;"  
mm"  
986 MOVE 1,34  
987 LABEL "MASSE: ";M;"g"  
990 X(0)=0  
991 Y(0)=0  
992 LOCATE 10,134,9,80  
993 SCALE 10,134,9,80  
1000 Y(0)=0  
1001 MOVE 0,80  
1002 DRAW 134,80  
1003 DRAW 134,0  
1004 MOVE 51.3,82  
1005 LABEL "10"  
1006 MOVE 92.7,82  
1007 LABEL "100"  
1008 MOVE 130,82  
1009 LABEL "1000"  
1010 MOVE 65,84  
1011 LABEL "TEMPS (sec.)"  
1140 LOCATE 10,134,9,80  
1141 SCALE 0,3,0,30  
1160 MOVE 0,0  
1170 FOR I=1 TO 1201
```

```
1180 PLOT X(I),Y(I)
1190 NEXT I
1191 CLEAR @ PENUP
1192 DISP "CHANGER DE CRAYON"
1193 DISP "APPUYER SUR 'CONT'"
1194 PAUSE
1195 LOCATE 10,51.3,9,80
1197 SCALE 0,LGT(10),0,30
1198 CLEAR
1199 DISP "IMPRESSION EN COURS"
1200 FOR X=2 TO 10
1201 MOVE LGT(X),0
1203 DRAW LGT(X),30
1205 NEXT X
1210 LOCATE 51.3,92.7,9,80
1212 SCALE 0,LGT(10),0,30
1214 FOR X=2 TO 10
1216 MOVE LGT(X),0
1218 DRAW LGT(X),30
1220 NEXT X
1222 LOCATE 92.7,134,9,80
1224 SCALE 0,LGT(10),0,30
1226 FOR X=2 TO 9
1228 MOVE LGT(X),0
1230 DRAW LGT(X),30
1232 NEXT X
1234 LOCATE 10,134,9,80
1236 SCALE 0,3,0,12
1238 FOR Y=1 TO 11
1240 MOVE 0,Y
1242 DRAW 3,Y
1244 NEXT Y
1246 PENUP
2000 CLEAR
2010 DISP "VOULEZ-VOUS UN AUTRE
GRAPHIQUE?"
2020 DISP "O OU N"
2030 INPUT D$
2040 IF LEN(D$)<>1 THEN 2000
2050 IF D$="O" THEN 870
2060 CLEAR
2070 DISP "VOULEZ-VOUS EFFECTUER
UN AUTRE ESSAI?"
2080 DISP "O OU N"
2090 INPUT C$
2100 IF LEN(C$)<>1 THEN 2060
2105 IF C$="O" THEN 10
2110 CLEAR
2120 END
3000 PLOTTER IS 705
3010 FRAME
3020 SCALE 0,250,0,180
3030 LOCATE 10,133,9,80
3040 SCALE 0,3,70,100
3050 LAXES 1,2.5,0,70,1,2
3060 MOVE 0,100
3070 DRAW 3,100
3080 DRAW 3,0
3091 CLEAR
3082 DISP "PATIENCE JE CALCULE"
```

3083 DISP "L'IMPRESSION N'EST PAS"

3084 DISP "TERMINEE !!!"

3085 B=0

3086 PENUP

3090 FOR I=1 TO 1201

3100 Y(I)=B/2

3110 B=B+1

3120 NEXT I

3130 X(1)=0

3160 FOR I=2 TO 1201

3170 X(I)=LGT(Y(I)+1)

3180 NEXT I

3181 H=W(1201)

3182 FOR I=1180 TO 1201

3183 IF W(I)>H THEN 3185

3184 H=W(I)

3185 NEXT I

3190 V=3.141593\*15.17\*15.17\*H/40

3200 FOR I=1 TO 1201

3210 Y(I)=M/(3.141592645\*15.17\*15.17\*W(I)/40\*2.526)\*100

3230 NEXT I

3231 LOCATE 10,133,7,80

3232 SCALE 0,3,0,100

3233 CLEAR

3234 DISP "IMPRESSION EN COURS"

3240 MOVE 1,3,-8

3250 LABEL "LOG DU TEMPS"

3260 DEG W LDIR 90

3270 MOVE -.16,40

3280 LABEL "% DE COMPACTION"

3290 LDIR 0

3300 CSIZE 4,.8

3310 MOVE 0,122

3320 LABEL "COMPACTION"

3340 CSIZE 3.5,.6

3355 MOVE 0,117

3360 LABEL "NO. D'ESSAI: ";K#

3370 MOVE 0,112

3380 LABEL "DATE: ";J#[1,21];"\";  
J#[13,41];"\";J#[15,81]

3381 MOVE 0,107

3382 LABEL "COMMENTAIRE: ";R#

3390 MOVE 1,122

3400 LABEL "MASSE: ";M;"g"

3410 MOVE 1,117

3420 LABEL "DENSITE MAXIMUM: ";L

3430 MOVE 1,112

3440 LABEL "HAUTEUR INITIALE: ";  
G;"mm"

3450 MOVE 1,107

3460 LABEL "HAUTEUR FINALE: ";H;  
"mm"

3470 MOVE 2,122

3480 LABEL "VOLUME: "

3481 MOVE 2.25,122

3482 LABEL USING 3483 ; V

```
3483 IMAGE DDDD.D
3484 MOVE 2.5,122
3485 LABEL "cm cube"
3490 MOVE 2,117
3495 P=Y(1201)
3500 FOR I=1180 TO 1201
3510 IF Y(I)<P THEN 3530
3520 P=Y(I)
3530 NEXT I
3540 LABEL "% DE COMPACTION: ";P
; %"
3560 MOVE 0,0
3561 LOCATE 10,133,9,80
3562 SCALE 0,3,70,100
3570 FOR I=1 TO 1201
3580 PLOT X(I),Y(I)
3590 NEXT I
4000 CLEAR @ PENUP
4010 DISP "CHANGER DE CRAYON"
4020 DISP "APPUYER SUR 'CONT'"
4030 PAUSE
4032 CLEAR
4033 DISP "IMPRESSION EN COURS"
4040 LOCATE 10,133,9,80
4050 LOCATE 10,51,9,80
4060 SCALE 0,LGT(10),0,30
4070 FOR X=2 TO 10
4080 MOVE LGT(X),0
4090 DRAW LGT(X),30
4100 NEXT X
4110 LOCATE 51,92,9,80
4120 SCALE 0,LGT(10),0,30
4130 FOR X=2 TO 10
4140 MOVE LGT(X),0
4150 DRAW LGT(X),30
4160 NEXT X
4170 LOCATE 92,133,9,80
4180 SCALE 0,LGT(10),0,30
4190 FOR X=2 TO 9
4200 MOVE LGT(X),0
4210 DRAW LGT(X),30
4220 NEXT X
4230 LOCATE 10,133,9,80
4240 SCALE 0,3,0,12
4250 FOR I=1 TO 11
4260 MOVE 0,1
4270 DRAW 3,I
4280 NEXT I
4281 CLEAR
4290 DISP "IMPRESSION TERMINEE"
4300 DISP "VOULEZ-VOUS LES VALEU
R DE"
4310 DISP "DEFORMATION EN FONCTI
ON DU TEMPS?"
4320 DISP "O OU N"
4330 INPUT O$
4340 IF LEN(O$)<>1 THEN 4300
4350 IF O$="N" THEN 2070
4360 CLEAR
4370 DISP "PATIENCE JE CALCULE"
```

```
4380 GOTO 584
6000 CLEAR
6010 DISP "PLACER UNE FEUILLE 8,
5 * 11"
6020 DISP "SUR LE PLOTTER"
6030 DISP ""
6040 DISP "NE PAS CHANGER LES PA
RAMETRES"
6050 DISP "INITIAUX DU PLOTTER:"
6060 DISP "'LOWER LEFT' ET 'UPPE
R RIGHT'"
6070 DISP ""
6080 DISP "APPUYER SUR 'CONT' LO
RSQUE"
6090 DISP "VOUS ETES PRETS"
6100 PAUSE
6110 CLEAR
6120 DISP "IMPRESSION EN COURS"
6130 GOTO 3000
7000 CLEAR
7010 DISP "PLACER UNE FEUILLE 8,
5 * 11"
7020 DISP "SUR LE PLOTTER"
7030 DISP "NE PAS CHANGER LES PA
RAMETRES"
7040 DISP "INITIAUX DU PLOTTER:"
7050 DISP "'LOWER LEFT' ET 'UPPE
R RIGHT'"
7060 DISP ""
7070 DISP "APPUYER SUR 'CONT' LO
RSQUE"
7080 DISP "VOUS ETES PRETS"
7090 PAUSE
7100 CLEAR
7105 DISP "IMPRESSION EN COURS"
7110 GOTO 870
```

## 7.Ø SUGGESTIONS

Comme toute étude, celle-ci était limitée par des contraintes de temps et d'argent. Or cela n'a pas empêché d'observer plusieurs points susceptibles d'apporter des résultats positifs. Cette section définit donc plusieurs modifications qui pourraient être apportées dans l'avenir.

1 - Il a été prouvé qu'une compaction de 3Ø minutes au lieu de 1Ø permet d'augmenter le % de compaction final de la briquette. Or ceci occasionne des contraintes de temps et de bruit. Pour ces raisons il serait préférable de vérifier si les résultats obtenus après une compaction de 1Ø minutes permet de qualifier et classer les différents mélanges (car c'est à cela que devrait éventuellement servir l'appareil). De plus, il n'est absolument pas prouvé qu'une compaction de 2Ø minutes de plus (Ø.5% de plus en compaction) permettrait de mieux qualifier et classer ces mélanges.

2 - Si toutefois il s'avère absolument nécessaire d'améliorer la compaction, le fait de faire tourner la briquette et de donner un angle (environ 2 degrés) à la base du marteau augmenterait sûrement cette compaction. Or, il faut se rappeler que le marteau fournit une certaine force en plus d'une vibration constante et cette base tournante devrait être en mesure de résister à cela. Avant de procéder à cela, il faudrait donc être absolument sûr qu'une augmentation du % final des briquettes rendrait l'appareil apte à donner de meilleurs résultats.

3 - L'étude de la température du mélange lors de la compaction a démontré que le fait d'avoir chauffé les accessoires comme le moule, sa base et la base du marteau a permis d'augmenter légèrement la compaction finale. Or, ces accessoires refroidissent au contact de l'air entraînant par le fait même une diminution de la température du mélange. Il serait donc intéressant de trouver un système qui permettrait de chauffer la briquette tout au long de la compaction permettant de la garder à 15Ø celcius. Ceci aurait sûrement une influence positive sur le % de compaction final de la briquette bien que très minime (de l'ordre de Ø.1 ou Ø.2 %). Mais là où cette idée prend tout son intérêt c'est qu'elle permettrait sans doute d'obtenir des résultats plus précis ainsi qu'une diminution des erreurs d'installation. Une explication s'impose: il a été démontré que le fait d'observer une procédure de travail plus stricte a permis d'obtenir des résultats beaucoup

plus précis. Toutefois la procédure d'installation et de démarrage de l'essai demeure longue et ardue. Il faut sortir les accessoires et le mélange et les accessoires des étuves, installer la base du marteau, mettre environ 3350 g de mélange dans le moule et obtenir le poids exact à l'aide d'une balance, il faut mettre les papiers sous et sur la briquette, il faut l'installer sur le montage, fixer la base à l'aide d'une vis, placer le marteau, vérifier le capteur, entrer la masse à l'ordinateur et finalement on peut démarrer l'essai. Essouffant... En plus toutes ces étapes doivent se faire le plus rapidement possible pour empêcher le refroidissement du mélange et des accessoires. Dépendamment des circonstances et de la personne qui effectue les essais, le temps d'exécution de ces étapes peut varier entraînant ainsi une variation de la température initiale. Un système chauffant permettrait d'emmener et de stabiliser le mélange à une température fixe avant de démarrer l'essai. Comme le temps de préparation de l'essai ne serait plus une contrainte, les erreurs en seraient diminuées et la précision accrue.

Plusieurs méthodes permettant de garder le mélange à 150° celcius tout au long de la compaction peuvent être considérées. Deux options s'avèrent particulièrement intéressantes: Un tissu chauffant pourrait être enroulé autour du moule. Ce tissu chauffant se retrouve dans le livre "COLE-PARMER instrument company" 1991-1992 aux pages 429 et 430. De façon à simplifier l'installation, le tissu ne devrait pas être enroulé directement sur le moule mais bien sur un cylindre fait d'un métal conducteur thermiquement dans lequel le mélange et son moule seraient insérés. Un fond devrait alors être ajouté au moule. Ce fond devrait de plus être amovible lors du démoulage. Une autre technique pour garder le mélange à 150° celcius serait de plonger le moule dans un bain d'huile. Comme cela pourrait être légèrement salissant, le moule devrait aussi être muni d'un fond amovible et inséré dans un cylindre cylindre métallique conducteur thermiquement lequel serait en contact avec l'huile. L'huile est choisie puisqu'elle peut être chauffée à une température élevée et il est facile de la garder à une température précise.

Ces deux dernières techniques ne chaufferaient que la paroi verticale du moule. Il pourrait donc être aussi intéressant de chauffer le fond du moule et la base du marteau à l'aide d'un système électrique permettant de chauffer le métal à la température voulue. Un système de ce genre est actuellement utilisé au laboratoire central sur le compacteur californien.

D'autres modifications moins importantes pourraient être éventuellement apportées au montage.

4 - La base du marteau devrait être légèrement élargie de façon à obtenir des briquettes plus uniformes sur la surface en contact avec cette base. Ce problème a déjà été démontré à la page 9 et par le graphique de la même page.

5 - Le marteau n'est pas fixé directement au dessus du centre du moule. A la fin de la compaction il n'est donc pas parfaitement vertical donc la surface de la briquette n'est pas parfaitement horizontale. Cela n'est pas très grave en soi. Mais à cause de cela, le marteau perd un peu de sa force en frottant sur la paroi du moule. Ce problème pourrait être corrigé en modifiant d'environ 5 mm la position où le marteau est fixé.

6 - L'appareil est très bruyant. Et, actuellement, il est impossible de fermer complètement à cause des fils reliant le montage à l'ordinateur. De plus, pour effectuer un essai, il faut déplacer tout le système d'acquisition de données comprenant le multimètre, l'ordinateur, et le 'plotter'. Il pourrait donc être intéressant de faire une simple perforation par laquelle les fils pourraient sortir. Cela permettrait de fermer la porte de la chambre où se trouve le montage et ainsi limiter le bruit dans le laboratoire. Profitant de cette occasion, les fils devraient être allongés de façon à pouvoir emmener les fils jusqu'au système d'acquisition de données plutôt que d'emmener le système d'acquisition de données jusqu'au fils...

Toutes ces modifications trouveront ou non leur intérêt dépendamment de l'utilisation future de l'appareil.

## CONCLUSION

L'étude avait deux buts principaux: obtenir une compaction maximum et développer un programme informatique permettant de faire une acquisition de données et de gérer ces données. Il a été déterminé que dans les conditions actuelles, la compaction maximum s'obtient avec environ 3350 g de mélange. Des suggestions de modifications futures devraient permettre d'améliorer quelque peu les résultats. Le programme informatique est fonctionnel; il permet donc de faire l'acquisition des données en plus de fournir un rapport.

Un des éléments que fournit l'ordinateur est le % de compaction final de la brique. Cette valeur calculée par l'ordinateur s'est avérée assez précise. Ceci permettra éventuellement de se fier uniquement à cette valeur donc ne plus les calculer par volumétrie.

Dans l'avenir, cet appareil devra servir à classer et qualifier différents mélanges comme le fait la presse giratoire. Pour cela il n'est probablement pas nécessaire d'obtenir une compaction beaucoup plus élevée que celle obtenue actuellement. Les résultats actuels étant déjà assez précis. Les modifications apportées au montage dans l'avenir devraient donc viser à obtenir un % de compaction semblable à celui obtenu sur la route et non pas un % de compaction toujours plus grand. Après ce résultat obtenu, les modifications effectuées devraient viser à obtenir des résultats de plus en plus précis. Car la précision des résultats sera très importante pour bien classer différents mélanges.

Plusieurs modifications ont été suggérées. Leur application dépend donc de l'utilisation future que l'on fera de cet appareil et des budgets disponibles...

L'avenir nous dira donc si ce petit appareil fabriqué au MTQ avec plus d'imagination que de budget permettra de donner d'aussi bons résultats, voir même meilleurs, que la presse giratoire...

MINISTÈRE DES TRANSPORTS



QTR A 194 785