



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERANCANGAN UJI TRIAXIAL UNTUK MATERIAL
IKATAN LEMAH DAN MATERIAL TANPA IKATAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

NURAZIZ HANDIKA

0405017064

(Peserta Double Degree Universitas Indonesia – Ecole Centrale de Nantes)

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
JANUARI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Nuraziz Handika

NPM : 0405017064

Tanda Tangan : 

Tanggal : Januari 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Nuraziz Handika
NPM : 0405017064
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Perancangan Uji Triaxial untuk Material Ikatan
Lemah dan Material Tanpa Ikatan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

PENGAWAS

Dr. Ir. Wiwik Rahayu, DEA


(.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : Januari 2011

KATA PENGANTAR

Penulis memanjatkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan gelar Diplôme Ingénieur dari Ecole Centrale de Nantes, France, selaku universitas kerjasama dalam program *double degree*. Penulis menyadari sangatlah sulit menyelesaikan penulisan skripsi tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak semenjak masa perkuliahan. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Katili, DEA, dan Professeur Patrick Chedmail, selaku Kepala Departemen Teknik Sipil FT UI dan Dekan Ecole Centrale de Nantes yang telah memprakarsai program kerjasama Double-Degree ini.
2. Professeur Yvon Riou, selaku penanggung jawab, pembimbing dan penasihat bagi mahasiswa Universitas Indonesia di Ecole Centrale de Nantes.
3. Ir. Henki Wibowo Ashadi, DEA dan Mme. Myriam Servières selaku dosen pembimbing akademis di Departemen Teknik Sipil FT UI dan di Ecole Centrale de Nantes.
4. M. Michel Maze, selaku Direktur Pusat Penelitian Internasional Eurovia di Mérignac, Perancis (*Centre de Recherche d'Eurovia à Mérignac / CRM*) yang telah mengizinkan penulis melakukan penelitian.
5. M. Ivan Drouadaine, selaku Wakil Direktur Penanggung Jawab di Bidang Penelitian di Pusat Penelitian Internasional Eurovia, yang telah membuka kesempatan pelaksanaan penelitian ini.
6. M. Bertrand Pouteau, selaku penanggung jawab uji mekanik dan pembimbing dalam proses penulisan skripsi dan kerja praktek di Pusat Penelitian Internasional Eurovia.
7. M. Patrice Diez dan Guy Hurbin, selaku teknisi Laboratorium Mekanik Mesin MTS di Pusat Penelitian Internasional Eurovia, yang telah bersedia

membantu penulis dalam penelitian ini, terutama dalam hal pengoperasian mesin uji dan pembuatan sampel uji.

8. Mama, Papa, Agam dan Chacha yang senantiasa memberikan doa, semangat, dorongan dan dukungan saat berada jauh dari keluarga.
9. Alain Le Vaguerese, Nathalie Le Vaguerese, Carine Bernard dan Pierre-Yves Chailloux yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan melalui humor dan nasihat di saat kondisi apapun pada penulis pada saat kerja praktek.
10. Mme. Anne GUIDASCI, selaku teman yang telah bersedia memberikan tumpangan setiap harinya. Estefania del-Campo, Guillaume Rimonteille, Cristoph Losch, dan Yohann Maheut, teman sesama *stagiaire* yang senantiasa memberikan semangat dan membantu memeriksa tata bahasa perancis dalam penulisan skripsi ini.
11. Teman dari Perhimpunan Pelajar Indonesia di Nantes dan Bordeaux : Annie, Arii, Ira, Jaya, Mas Nino, Mas Irwin, Mba Ima, Mas Affandi, Olivia dan semuanya yang telah memberikan dukungan dan doa untuk penyusunan skripsi.
12. Mathieu, Manon, Sébastien, Loïc, Jacques, Pierre-Yves, Lucas, Anaïs, Amit, Thomas, Fabien, dan sahabat dari Ecole Centrale de Nantes yang memberikan dukungan moral untuk kelancaran skripsi ini.
13. Segenap staf dan karyawan di Pusat Penelitian Internasional Eurovia, di Ecole Centrale de Nantes dan di Departemen Teknik Sipil FT UI yang telah memberikan dukungan selama perkuliahan dan penelitian; dan
14. Semua pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu demi satu.

Penulis sangat mengharapkan agar penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar penelitian lebih lanjut terutama dalam penentuan tebal lapisan perkerasan jalan raya.

Depok, Januari 2011

Penulis

Nuraziz Handika

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nuraziz Handika
NPM : 0405017064
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**PERANCANGAN UJI TRIAXIAL UNTUK MATERIAL IKATAN LEMAH
DAN MATERIAL TANPA IKATAN**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : Januari 2011
Yang menyatakan,



(Nuraziz Handika)

ABSTRAK

Nama : Nuraziz Handika
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Perancangan Uji Triaxial untuk Material Ikatan Lemah dan Material Tanpa Ikatan

Pusat Penelitian EUROVIA Company di Mérignac, Perancis baru saja mendapatkan mesin uji triaksial hidrolik dinamis. Keuntungan dari perangkat ini adalah dalam mempelajari daya tahan material yang dikembangkan dan diproduksi oleh EUROVIA. Peralatan ini akan didedikasikan untuk mempelajari ketahanan material terhadap deformasi permanen. Pelaksanaan uji triaksial memerlukan banyak metodologi dan ide kritis. Selain peralatan yang mahal, pengujian ini memerlukan pengetahuan dan persiapan yang baik. Lebih lanjut, standar di Perancis dan kaidah teoritisnya sangat mendalam dalam mengatur pembuatan uji sampel dan pelaksanaan uji. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan kondisi percobaan dalam memproduksi tes triaksial untuk tiga jenis produk : material aspal, emulsi agregat sebagai material ikatan lemah, dan material tanpa ikatan. Hasil pengujian menuntut analisa kritis dalam pembahasan ketahanan material.

Kata kunci : *triaksial, material ikatan lemah, material tanpa ikatan*

ABSTRACT

Name : Nuraziz Handika
Study Program : Civil Engineering
Title : Triaxial Test Design for Unbound Gravel Material and Loosely Bound Material.

The Research Centre of EUROVIA Company in Mérignac, France has established new equipment: a hydraulic dynamic triaxial test machine. The advantage of such device is warranted to study the durability of the materials developed and manufactured by EUROVIA. This device primarily will be dedicated to the study of resistance of materials to permanent deformation. The developments of triaxial test require a lot of rigours, methodology and critical ideas. Besides the expensive tools, they require a perfect knowledge and preparation when conducting the tests. Sample preparation needs long and great preparation. Furthermore, the theoretical concept is relatively sharp. The aim of this research is to define the experimental conditions in producing a triaxial test on each of three products: bituminous materials, gravel emulsion as loosely bound material, and unbound gravel material and also to realize the tests. The research demands a critical analysis from its results.

Keyword: *triaxial, unbound gravel material, loosely bound material*

RÉSUMÉ

NOM, Prénom : HANDIKA, Nuraziz
Disciplinaire : Génie Civil
Titre de sujet : Mise en place d'un essai triaxial pour matériaux faiblement liés et non liés.

Le Centre de recherche de la société EUROVIA s'est doté d'un nouvel équipement de laboratoire : une presse hydraulique dynamique triaxiale. L'intérêt d'un tel appareil se justifie pour l'étude de la durabilité des matériaux développés, fabriqués et mis en œuvre. Cet équipement sera essentiellement dédiée à l'étude de la tenue aux déformations permanentes de matériaux plus ou moins liés : depuis les enrobés bitumineux jusqu'aux graves non traitées. Le développement et la maîtrise d'essais triaxiaux mobilisent des outils relativement coûteux, ils nécessitent une parfaite connaissance et une parfaite préparation lors de la conduite de l'essai. La préparation des éprouvettes joue un rôle crucial dans la réalisation de l'essai. De plus, le contexte théorique dans lequel baignent ces essais est relativement pointu. L'objectif du stage est de définir les modalités expérimentales permettant de réaliser un essai triaxial sur chacune des trois familles et de réalisés un essai complet et une exploitation sur chacune des familles de produits.

Mots-Clés : *triaxial, matériaux non liés, matériaux faiblement liés.*

TABLE DES MATIÈRES

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK.....	vii
TABLE DES MATIÈRES	x
TABLE DES ILLUSTRATION	xiii
TABLE DES TABLEAUX.....	xv
TABLE DES ANNEXES.....	xvi
CHAPITRE I. INTRODUCTION	17
I.1. Présentation de l'Entreprise.....	17
I.1.1. EUROVIA.....	17
I.1.2. Le Centre de Recherche de Mérignac (CRM).....	18
I.2. Présentation Le Sujet de Stage.....	20
I.3. Plan de Stage	21
I.4. Idée du test triaxial cyclique.....	22
I.4.1. Structure multicouche dans la route.....	23
I.4.1. Dégradation des chaussées.....	24
I.4.2. Test triaxial sur enrobé	26
CHAPITRE II. CONTEXTE D'ETUDES	29
II.1. Diagramme d'Ishikawa	29
II.2. Application du diagramme d'Ishikawa.....	30
II.2.1. M2 – Matériels : System d'essai triaxial au CRM.....	31
II.2.2. M3 – Matériaux	48
II.2.3. M5 – Méthodes	52
II.3. Diagramme d'Ishikawa de Problème au Centre de Recherche de Mérignac	54
CHAPITRE III. LES BESOINS DE L'ENTREPRISE	55
III. 1. Lecture de la norme.....	55
III.1.1. NF EN 12697-25 : Mélanges Bitumineux en Méthodes d'essai Pour Mélange Hydrocarboné à Chaud (Partie 25 : Essai de compression cyclique).....	55
III.1.2. Norme NF EN 13286-7 mélanges avec ou sans liant hydraulique, Partie 7 : Essai triaxial sous charge cyclique pour mélanges sans liant hydraulique	59
III. 2. Lecture du dossier technique de la cellule triaxial de type 656	60
III.2.1 Extensomètres	61

III.2.2. Logiciel : 793.62 (<i>Triaxial Rock Mechanics Software</i>).....	62
III. 3. Essai de pilotage	62
III.3.1. La démarche des capteurs de déplacement sans remplissage de l'huile	62
III.3.2. Le chargement cyclique du vérin.	62
III.3.3. Le chargement de la pression d'air, l'étanchéité de cellule, sans remplir de l'huile.....	65
III.3.4. Le remplissage de l'huile et la pression d'air	65
III.3.5. Le conditionnement de la température dans la cellule, sans utiliser le gaz d'azote et sans remplir de l'huile	66
III.3.6. L'utilisation du gaz d'azote.....	67
III.3.7. Le remplissage du liquide de confinement.....	69
III.3.8. L'étanchéité du système de l'embase, le joint torique, la membrane, le système membrane-lubrifiant-membrane.	70
III. 4. Conclusion les besoins aux matériels	71
III.4.1. Certain nombre de problèmes	71
III.4.2. Essai triaxial pour l'éprouvette en mélanges bitumineux	73
III.4.3. Essai triaxial pour l'éprouvette de matériau granulaire non traité et graves émulsions.	74
CHAPITRE IV. ESSAI PRELIMINAIRE	76
IV.1. Essai préliminaire : mélanges à chaud.....	76
IV.1.1. Epreuve.....	76
IV.1.2. Déroulement d'essai	76
IV.1.3. Problèmes	82
IV.1.4. Résultat d'essai	86
IV.2. Essai préliminaire : Graves non traitées.....	86
IV.2.1. Préparation.....	87
IV.2.2. Epreuve de GNT	87
IV.2.3. Fabrication d'éprouvette : méthode vibrocompression	88
IV.2.4. L'installation d'éprouvette dans la cellule triaxiale.....	90
CHAPITRE V. MÉTHODES D'ESSAI INTERNE	92
V.1. Domaine d'application	92
V.2. Référence	92
V.3. Principe de l'essai	92
V.4. Appareillage.....	93
V.5. Produits.....	93
V.6. Mode Opérateur	94
V.6.1. Epreuve.....	94
V.6.2. Système membrane-lubrifiant-membrane	94
V.6.3. Montage d'appareil et d'éprouvette	94

V.6.4. Chargement	95
V.7. Résultats	95
V.8. Rapport d'essai	97
CHAPITRE VI. CONCLUSION	98
CHAPITRE VII. BILAN PERSONNEL : RETOUR D'EXPÉRIENCE	99
VII.1. Bilan Technique	99
VII.2. Bilan Humain	99
BIBLIOGRAPHIE	100
ANNEXE	102

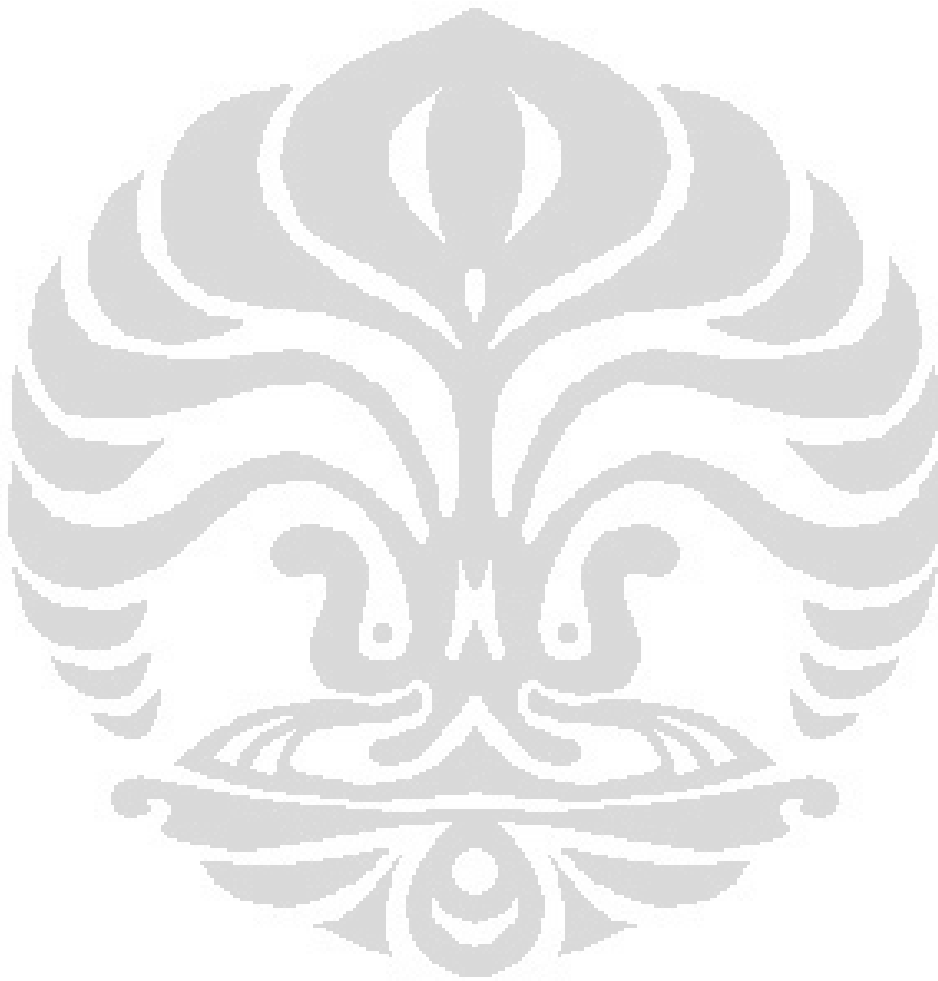


TABLE DES ILLUSTRATION

Figure 1.1.	Organigramme Fonctionnel du Centre de Recherche de Méridnac (CRM).....	19
Figure 1.2.	Schéma le plan de stage	22
Figure 1.3.	Terminologie de multicouches.....	23
Figure 1.4.	Ornière petit rayon.	25
Figure 1.5.	Ornière grand rayon apparait depuis la couche de forme.	26
Figure 1.6.	La transmission du chargement de trafic par contact inter granulaires.....	26
Figure 1.7.	Exemple de chargement que pourrait subir une éprouvette dans la multicouche.	27
Figure 2.1	Diagramme d'Ishikawa.....	30
Figure 2.2	Système d'essai triaxial	31
Figure 2.3	L'unité de chargement de type 318.10.....	33
Figure 2.4	Le group d'alimentation hydraulique de type 510.10.....	35
Figure 2.5	Schéma d'alimentation le vérin de chargement.....	36
Figure 2.6	Schéma du système de réseau local.	38
Figure 2.7	Schéma de trajectoire de signal	39
Figure 2.8	Impression d'écran de la Gestionnaire de Station « FlexTest GT »	40
Figure 2.9	Schéma de la forme d'onde.	41
Figure 2.10	Cellule triaxiale de type 655.05	43
Figure 2.11	Boîtier de puissance réglant le système de conditionnement de température.....	44
Figure 2.12	Les embases et leur montage.	46
Figure 2.13	Cellule triaxiale de type 655.05	47
Figure 2.14	D'autres équipements.	48
Figure 2.15	Les trois familles de liants hydrocarbonés.....	50
Figure 2.16	Application du diagramme d'Ishikawa.....	54
Figure 3.1	Positionnement les extensomètres sur l'éprouvette	61
Figure 3.2	Schéma de mesurage de déplacement axial et la pression axiale.....	63
Figure 3.3	Schéma de la commande en boucle fermée du chargement et de la mesure des capteurs.....	64
Figure 3.4	Schéma de la commande du système de chargement.	64
Figure 3.5	Système de chargement de la pression comprimée.	65
Figure 3.6	Système de mesurage de la pression de confinement.	66
Figure 3.7	Ecoulement du gaz d'azote dans le tuyau en cuivre.....	67
Figure 3.8	Schéma du système de conditionnement de température.	68
Figure 3.9	Schéma de remplissage du liquide de confinement.	69
Figure 3.10	Les mousses qui se produisent pendant le remplissage de l'huile	69
Figure 3.11	Ensemble de matériel pour observer l'étanchéité.....	70
Figure 3.12	Gouttes de l'huile de confinement après essai de pilotage.....	71
Figure 3.13	Solution pour le problème de l'étanchéité.....	71

Figure 3.14	Problème de vidange de l'huile de confinement : orifice de drainage de l'huile avec filtre.	72
Figure 3.15	Le vérin n'arrive pas à appuyer l'éprouvette.	73
Figure 4.1	Photo de l'éprouvette de dimension 95 : 200 mm.	76
Figure 4.2	Montage de la cellule triaxiale.	77
Figure 4.3	Esquisse du principe de chargement.	79
Figure 4.4	Impression d'écran de déroulement de chargement.	80
Figure 4.5	Représentation des contraintes exercées en mises en charge cyclique sinusoidal avec décalage d'origine 200 kPa.	81
Figure 4.6	Niveau de sécurité de remplissage du liquide de confinement.	83
Figure 4.7	Schéma du système de remplissage, vidange et circulation de l'huile de silicone.	83
Figure 4.8	Le problème de fuite au joint de la résistance chauffante.	84
Figure 4.9	Problème de l'huile dans la cellule.	85
Figure 4.10	Outil d'évacuation du gaz nitrogène.	86
Figure 4.11	Ensemble de matériel pour faire essai Proctor.	88
Figure 4.12	Ensemble de matériels pour fabriquer l'éprouvette avec méthode vibrocompression.	89
Figure 4.13	Esquisse de moule approprié.	89
Figure 4.14	Etapes de fabrication d'éprouvette ($\varnothing = 93,5$ mm et hauteur 200 mm) types graves non traitées.	91
Figure 5.1	Principe de l'essai de triaxial.	92

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Spécification technique de l'unité de chargement de type 318.10	34
Tableau 2.2	Niveaux d'accès dans la gestionnaire de station.	38
Tableau 2.3	Propriétés chimiques et physiques de l'huile de silicone de type DC 200 Fluid.	47
Tableau 2.4	Famille de granulats.....	49
Tableau 3.1	Spécification générale de système d'appareillage de type 656....	60
Tableau 3.2	Dimensions minimales de l'éprouvette.	72



TABLE DES ANNEXES

- Annexe 1. L'unité de chargement de type 318.10
- Annexe 2. Appareillage d'essai triaxial
- Annexe 3. Schéma logique du système d'essai triaxial
- Annexe 4. L'esquisse d'éprouvette faite à partir de la norme NF EN 12697-25
- Annexe 5. Présentation en tableaux la norme NF EN 12697-25
MELANGES BITUMINEUX (Méthode d'essai B)
- Annexe 6. Présentation en tableaux la norme NF EN 13286-7 mélanges
avec ou sans liant hydraulique
- Annexe 7. Essai Triaxial Graves Non Traitées
 - A. L'esquisse de positionnement d'extensomètre
 - B. Détail de vis approprié
 - C. L'esquisse du moule pour fabriquer l'éprouvette
- Annexe 8. Résultat d'essai préliminaire sur l'éprouvette enrobe mélange
hydrocarboné a chaud

CHAPITRE I

INTRODUCTION

I.1. Présentation de l'Entreprise

I.1.1. EUROVIA

Eurovia est l'un des leaders mondiaux des travaux d'infrastructures routières, ferroviaires et d'aménagement urbain. Elle est également l'un des principaux producteurs européens de matériaux routiers.

L'entreprise constitue l'un des quatre pôles d'activités du groupe VINCI, premier groupe mondial de concessions et de construction, dont il représente 24 % du chiffre d'affaires en 2008 avec 8,2 milliards d'euros. Réalisant plus de 90 % de son chiffre d'affaires en Europe, principalement en France, en Allemagne, au Royaume-Uni, en République Tchèque, en Slovaquie, en Pologne et en Espagne, Eurovia détient également des positions fortes aux États-Unis, au Canada et au Chili.

L'activité d'Eurovia est structurée selon trois métiers complémentaires :

- **La réalisation d'infrastructures de transport et d'aménagements urbains.** Cette entreprise construit, rénove et entretient des infrastructures routières, autoroutières, aéroportuaires, ferroviaires, des lignes tramway ainsi que des plateformes industrielles et commerciales. Eurovia maîtrise les savoir-faire associés aux aménagements qualitatifs urbains, à la sécurisation des infrastructures de transport et à la protection de l'environnement.
- **La production de matériaux** est faite dans 381 postes d'enrobages, 46 usines de liants, 303 carrières, 130 installations et sites de recyclage (valorisant les déchets de construction et les mâchefers d'incinération) et 15 usines produisant des équipements pour les routes (signalisation, béton préfabriqué, mur antibruit, etc.).
- **La maintenance et les services.** Eurovia intervient en amont de projets d'infrastructures conception-coordination, conseil et assistance technique, et en

aval avec la maintenance sur site, la gestion informatique de réseaux, la viabilité hivernale et les interventions d'urgence.

Avec 8 milliards d'euros de chiffres d'affaires en 2009, Eurovia a 41 500 collaborateurs dans le monde repartis dans 17 pays. Cette entreprise a 875 sites de production industrielle avec 2,1 milliards de tonnes de granulats en réserve. En moyenne, Eurovia a 40 000 chantiers par an avec ses 300 agences et filiales de travaux.

I.1.2. Le Centre de Recherche de Mérignac (CRM)

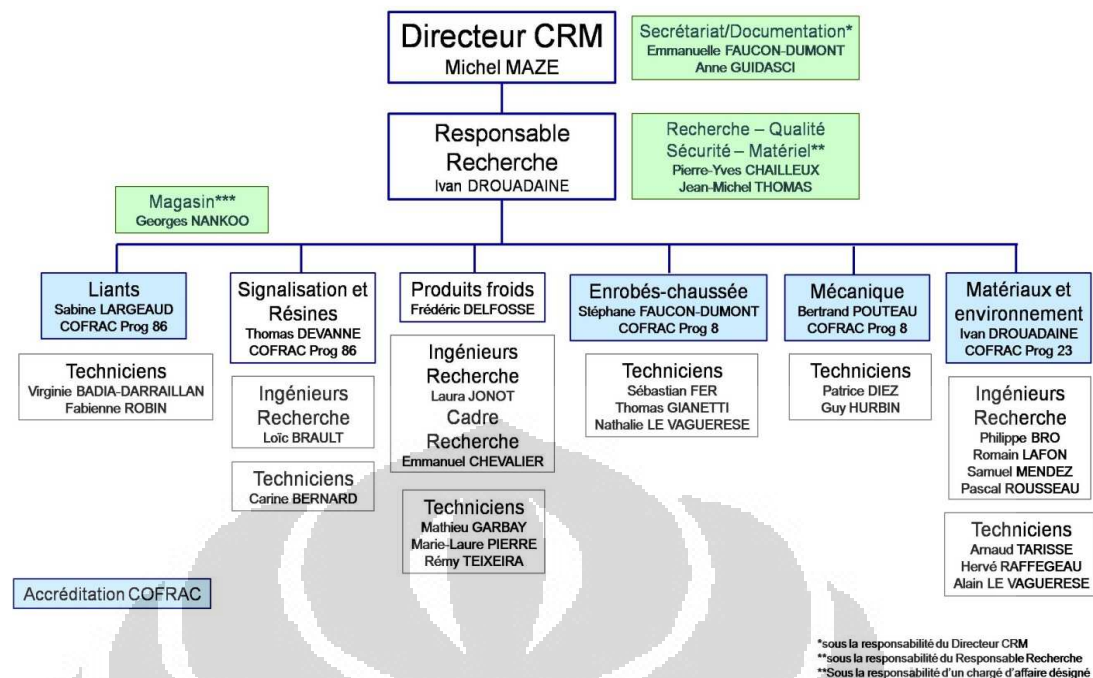
Le programme de recherche et développement d'Eurovia est orienté vers trois thèmes principaux : le développement durable (recyclage de sous-produits industriels, protection contre le bruit, etc.), la sécurité routière (amélioration de l'adhérence des revêtements, création de voies de circulation dédiées, etc.) et la gestion du patrimoine routière.

Inauguré en novembre 2003, le Centre de recherche d'Eurovia est au cœur des programmes de recherche de l'entreprise. Il met en œuvre une politique R&D internationale.

Situé à Mérignac, près de Bordeaux, le centre de recherche s'étend sur une surface de 4000 m², dont 1900 m² de laboratoires, et dispose d'un parc matériel exceptionnel : 150 machines d'essai permettant de réaliser 250 essais, dont la moitié ont été développés au centre, depuis l'identification des granulats jusqu'à la chimie fine du bitume, depuis les essais mécaniques jusqu'à l'analyse d'image.

Le CRM est rattaché aux services centraux (EUROVIA MANAGEMENT) sous la direction des Ressources Techniques. Le centre emploie 38 employés permanents et de nombreux stagiaires temporaires. Ce centre a obtenu les certifications ISO 9000 et Labo route, ainsi qu'une accréditation ISO 17025 pour 10 essais.

Sur la figure ci-dessous, nous pouvons voir l'organigramme du CRM.



Source : Intranet EUROVIA (2010)

Figure 1.1. Organigramme Fonctionnel du Centre de Recherche de Mérignac

Il y a six secteurs d'activité au CRM : Liants bitumineux ; Signalisation et Résine ; Produit à froid ; Enrobés et matériaux de chaussées ; Essai mécanique ; Matériaux et environnements. À chaque secteur, il y a de chargés d'affaires, des ingénieurs de recherche, et des techniciens. Quatre des six secteurs d'activités ont l'accréditation COFRAC¹.

Le centre de recherche remplit trois missions principales :

- C'est le lieu privilégié des recherches de l'entreprise : les objectifs généraux y sont transformés en projets détaillés d'essais qui sont ensuite réalisés pour la plupart sur place. Les chercheurs analysent les résultats, préparent et supervisent les phases expérimentales sur le terrain, puis participent à la diffusion des produits et procédés nouveaux.

¹ COFRAC (Comité Français d'Accréditation) est une organisation qui a précisément pour mission d'attester que des organismes sont compétents et impartiaux et permet d'obtenir sur les plans européen et international la reconnaissance des prestations qu'ils effectuent.

- C'est un centre d'expertise de haut niveau mobilisable par l'ensemble de l'entreprise tant pour des transferts de compétences que pour résoudre des problèmes difficiles.
- C'est un vivier de formateurs techniques : le personnel participe à la formation technique dispensée au sein de l'entreprise.

La section mécanique consiste à des activités sur pilotage de la rhéologie d'enrobés, des presses béton, et des essais mécaniques enrobés. Ce stage était fait dans la section mécanique, plus précis dans la section MTS pilotage rhéologie enrobés. Dans cette salle, il y a trois machines presses hydrauliques qui sont pilotées par informatique et équipées de caissons climatiques. Ces machines d'essai permettent de réaliser d'essais mécaniques normalisés (les essais qui sont conformes aux normes) ou autres essais demandés, sur certains types de matériaux par exemple enrobés bitumineux, résines, polymères, bétons, etc.) ou sur une structure (corps d'épreuves multicouches, joints de dilatations, procédés d'étanchéité pour tablier de pont métallique). Les essais peuvent être simulés dans une large gamme de conditions climatiques (de l'été caniculaire, plus de 60 °C, à la rigueur de l'hiver de -40 °C).

I.2. Présentation Le Sujet de Stage

Le Centre de recherche de la société Eurovia, basé à Mérignac s'est doté, en 2010, d'un nouvel équipement de laboratoire : une presse hydraulique dynamique triaxiale. L'intérêt d'un tel appareil se justifie pour l'étude de la durabilité des matériaux développés, fabriqués et mis en œuvre par l'entreprise au travers de ses diverses activités dans le secteur de travaux publics. La nouvelle presse triaxiale sera essentiellement dédiée à l'étude de la tenue aux déformations permanentes de matériaux plus ou moins liés : depuis les enrobés bitumineux jusqu'aux graves non traitées en passant par les matériaux traités aux émulsions.

Le développement et la maîtrise d'essais triaxiaux nécessitent beaucoup de rigueur, de méthode ainsi qu'un regard critique de tous les instants. Outre le fait qu'ils mobilisent des outils relativement coûteux, ils nécessitent une parfaite

connaissance et une parfaite préparation lors de la conduite de l'essai. La préparation des éprouvettes joue un rôle crucial dans la réalisation de l'essai. Cette préparation est en effet longue et requiert une grande minutie. De plus, le contexte théorique dans lequel baignent ces essais est relativement pointu.

L'objectif du stage est de définir les modalités expérimentales permettant de réaliser un essai triaxial sur chacune des trois familles de produit suivant : **matériaux bitumineux, graves émulsions** et **graves non traitées** et de réaliser un essai complet et une exploitation sur chacune des familles de produits. Le travail comportera une grande part d'analyse bibliographique qui guideront l'étudiant dans son travail et permettront une fois les essais réalisés de porter un œil critique sur les résultats obtenus.

I.3. Plan de Stage

Le stage qui s'est déroulé pendant quinze semaines était commencé par une étude de condition au tour de la nouvelle machine au CRM Eurovia. La condition initiale nous indique que les dossiers techniques n'ont pas suffi d'expliquer le pilotage de la machine. L'absence de l'assistance fabricant a aussi provoqué des difficultés. D'autre, Eurovia souhaite avec la présence de cette machine, elle peut réaliser l'essai sur différents types d'éprouvette comme indiqué dans la partie précédente. Afin de ne pas manquer toute la condition initiale, tous les besoins, nous essayons d'analyser les « cinq M » autour de ce problème à l'aide de diagramme d'Ishikawa. Nous nous intéressons particulièrement aux trois domaines : matériels, matériaux et méthodes. Ensuite, il faut connaître et identifier les besoins de l'entreprise à partir des normes, des dossiers techniques des machines et de la réalisation des essais pilotage. Après avoir rempli tous les besoins, l'essai préliminaire peut être réalisé.

La réalisation d'essai préliminaire a été faite sur une éprouvette bitumineuse (matériaux fortement liés). Cet essai nous donne les défauts, les manques et toutes les astuces à considérer pour améliorer le processus d'essai. Ensuite, les essais triaxiaux seront faits sur les éprouvettes de types : graves émulsions et graves non

traitées. Pendant le déroulement d'essai, nous déciderons de la meilleure méthode, qui sera ensuite décrite dans la MEI (Méthode d'Essai Interne).

À partir du résultat de cet essai, il faut en évaluer le déroulement pour améliorer le prochain essai. Au final, il faut exploiter les résultats d'essai pour connaître le comportement mécanique, surtout le phénomène de déformation permanente de chaque famille de produit. Le diagramme ci-dessus résume le plan de ce stage.

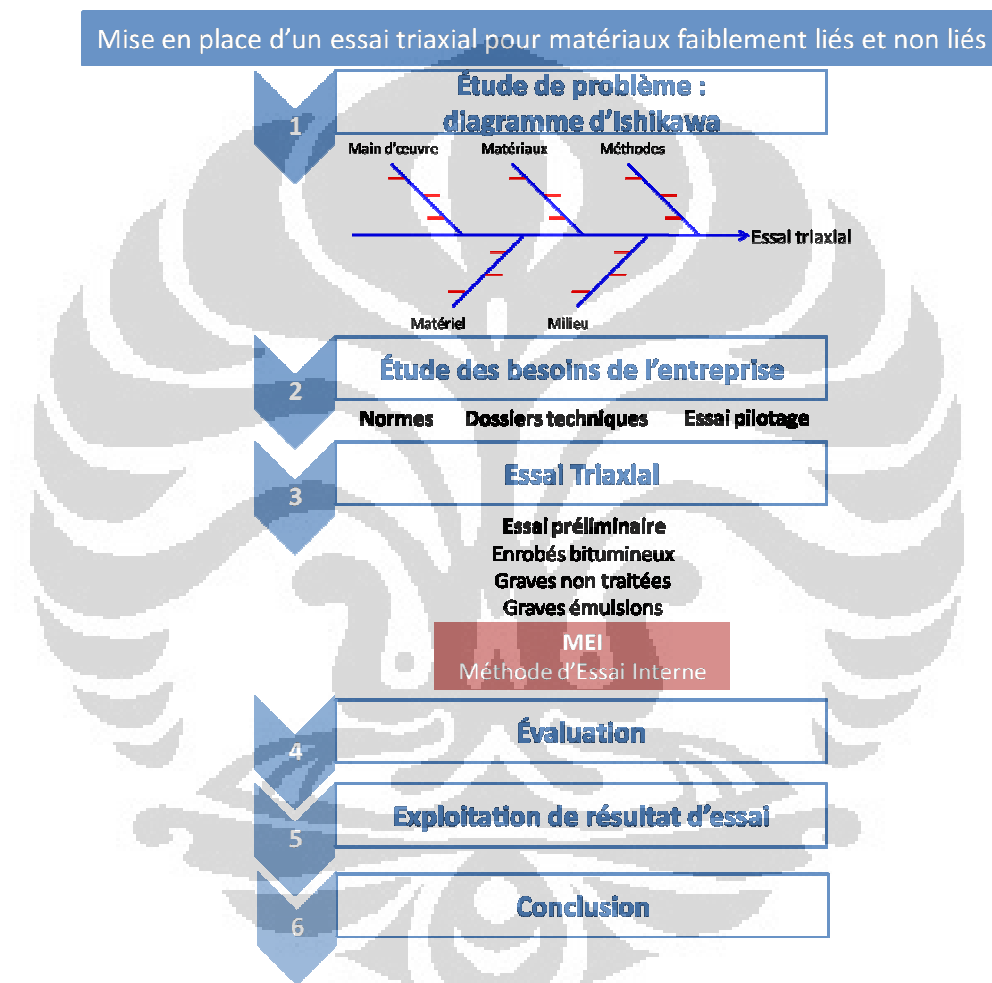


Figure 1.2. Schéma le plan de stage

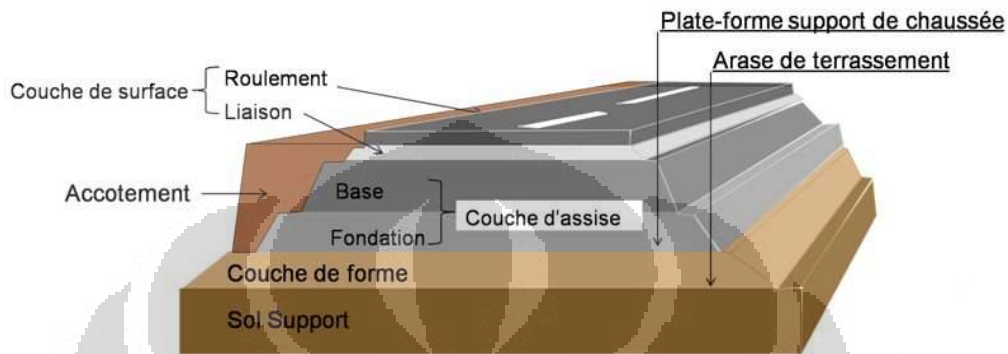
I.4. Idée du test triaxial cyclique

Afin d'appréhender le test triaxial, il faut connaître la structure multicouches d'une route. Le but est d'étudier le comportement mécanique des différentes couches d'une chaussée en utilisant le test triaxial, pour en évaluer les

dégradations possibles, par exemple, l'orniérage causé par le chargement cyclique dynamique des véhicules.

I.4.1. Structure multicouche dans la route

Les chaussées se présentent comme des structures multicouches.



Source : LCPC, 1994 [1]

Figure 1.3. Terminologie de multicouches.

L'esquisse est refaite à partir de la guide technique LCPC

Nous distinguons trois couches de chaussée au-dessus du sol support :

1. La couche de forme

Cette couche se situe entre le sol support et le corps de la chaussée. Ses fonctions principales sont :

- a. Protéger le sol support et établir une qualité de nivellement et permettant la circulation des engins pour l'approvisionnement des matériaux et la construction des couches de chaussée pendant la phase de travaux.
- b. Rendre plus homogènes et améliorer les caractéristiques des matériaux de remblai ou du terrain en place.

2. Les couches d'assise

Cette partie est constituée de deux couches : la couche de fondation et la couche de base qui apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic. Elles répartissent les pressions sur la plate-forme support afin de maintenir la déformation à ce niveau dans des limites admissibles.

3. La couche de surface

Cette partie est constituée de :

- a. La couche de roulement, qui est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat.
- b. La couche de liaison, qui n'est pas obligatoire. Ses objectifs principaux sont la sécurité et le confort des usagers, la protection des couches d'assise des infiltrations des eaux pluviales et de tous les polluants susceptibles d'être répandus en surface, la réduction du bruit de roulement et les possibilités de régénération des caractéristiques de surface.

I.4.1. Dégradation des chaussées

Les chaussées évoluent et se dégradent essentiellement sous l'effet du trafic lourd et des conditions climatiques. La rapidité de cette évolution et les désordres qui apparaissent sont également liés à la nature et à l'épaisseur des matériaux utilisés et à leurs conditions de fabrication et de mise en œuvre. Il existe plusieurs phénomènes de dégradations. Les dégradations les plus couramment rencontrées se classent en deux grandes familles : les dégradations structurelles et les dégradations superficielles. Les premières apparaissent au sein de la structure de chaussée ou de son support et mettent en cause le patrimoine. Les secondes prennent naissance dans la couche de surface de la chaussée et affectent d'abord ses qualités superficielles (LCPC, 1998 [2]).

I.4.1.1. Dégradations superficielles

- a. **Remontées de liant** en excès à la surface de la couche de roulement pendant la période chaude.
- b. **Usure** de la couche de roulement se traduisant par le polissage des gravillons sous l'effet du frottement des pneumatiques et des efforts tangentiel exercés par les charges roulantes.
- c. **Ornière** par fluage (ornière à petit rayon) sous l'effet du trafic lourd.
La dégradation ne se fait que sur la couche de roulement (couche de surface).
La déformation permanente longitudinale se crée sous le passage des roues. La largeur est inférieure de 80 cm.

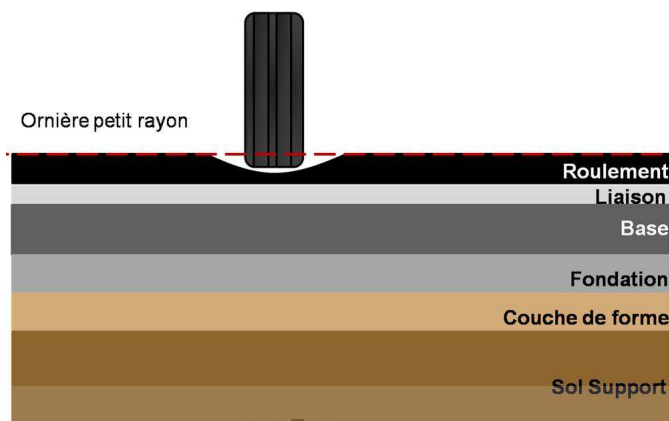


Figure 1.4. Ornière à petit rayon.

- d. **Fissuration** de la couche de roulement liée à une mauvaise exécution des joints de construction, au vieillissement du liant ou à une sensibilité du bitume aux contraintes thermiques.

I.4.1.2. Dégradations structurelles

- a. **Fissuration de fatigue** des assises de chaussée puis de la couche de roulement due à la répétition des efforts de traction par flexion au passage des charges. Cette dégradation apparaît dans les bandes de roulement parallèlement à l'axe de la chaussée ; elle évolue vers un faïençage à mailles de plus en plus fines pouvant prendre l'aspect, sur certaines structures, d'une fissuration en dalles. La première occurrence de cette dégradation peut seulement apparaître quand la chaussée a été en service pendant un certain nombre d'années. Dans cette phase de déclenchement de dégradation, la fissuration se produit d'abord au fond des couches inférieures. Avec le temps, les fissures de fatigue amorcées au dessous des couches liées propagent vers le haut, et par la suite. Elles deviennent apparentes sur la surface de la chaussée (TABBOUCHY [3]).
- b. **Déformations structurelles** dues à un sol support peu portant et insuffisamment protégé par la chaussée, ou à des matériaux de chaussée de mauvaise qualité. Il peut s'agir d'ornière à grand rayon, d'affaissements de rive ou de flache suivant la localisation et l'extension des déformations.

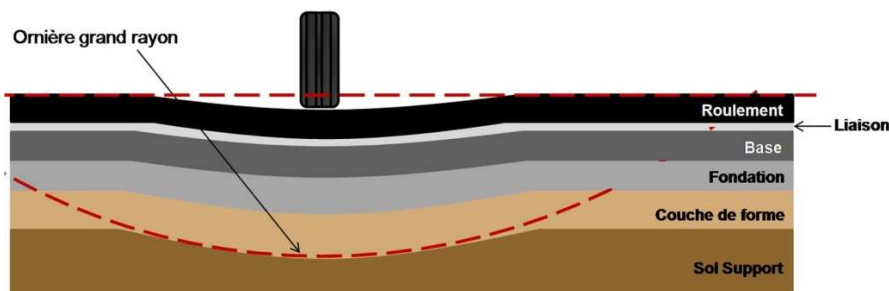
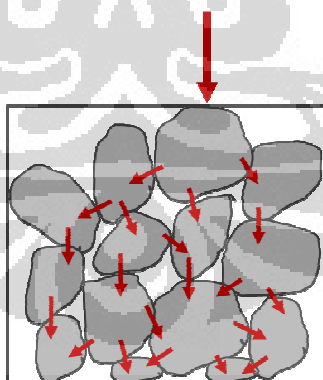


Figure 1.5. Ornière grand rayon apparaît depuis la couche de forme.

La déformation permanente ornière à grand rayon est une dégradation longitudinale qui se crée sous le passage des roues et dont la largeur est supérieure à 80 cm. Elle peut apparaître à cause d'un sous-dimensionnement ou d'une mauvaise qualité de l'assise entraînant des contraintes verticales excessives à la surface du sol support et/ou des couches non traitées (LCPC, 1998 [2]). L'évolution prévisible et dégradations associées est l'approfondissement de l'ornière accompagné de fissuration longitudinale et de faïençage.

L'orniérage de la chaussée commence, par exemple, théoriquement, quand le premier camion passe au-dessus de la section de route et s'accumule avec chaque passage suivant.

I.4.2. Test triaxial sur enrobé



Source : CUISINIER, 2007 [4]

Figure 1.6. La transmission du chargement de trafic par contact inter granulaires.

Les charges de trafic interviennent dans les multiples couches d'une route. Dans une chaussée les granulats forment un milieu granulaire constitué par un assemblage d'éléments solides qui interagissent entre eux. Les enrobés donc

reprentent et transmettent en profondeur les charges de trafic par contact inter granulaires, voir la figure 1.6 à la page précédente. Ces points de contact présentent une sensibilité thermique et cinématique importante, cette propriété étant directement liée à la présence du liant bitumineux visqueux dans le mélange (CUISINIER, 2007 [4]). Ce chargement nous donne une idée où il y a une condition de confinement dans la multicouche.

Si nous prenons une partie cylindrique (une éprouvette de forme cylindre) dans cette multicouche, il y a donc des chargements qui viennent autour de cette éprouvette et celui qui vient de l'axe verticale. Les chargements qui sont autour de l'éprouvette, on les appelle le chargement de confinement. La figure 1.7 ci-dessus nous indique ces chargements.

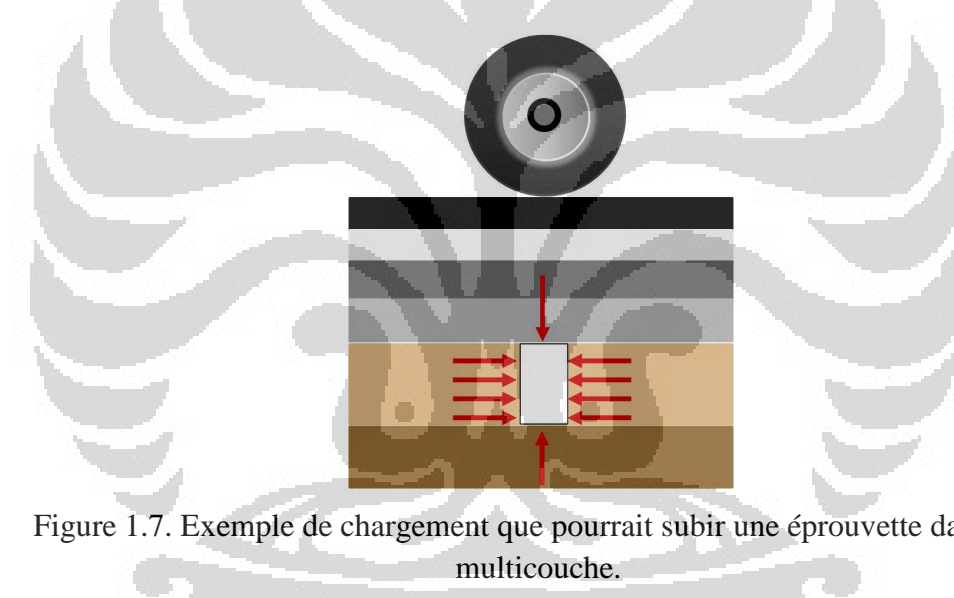


Figure 1.7. Exemple de chargement que pourrait subir une éprouvette dans une multicouche.

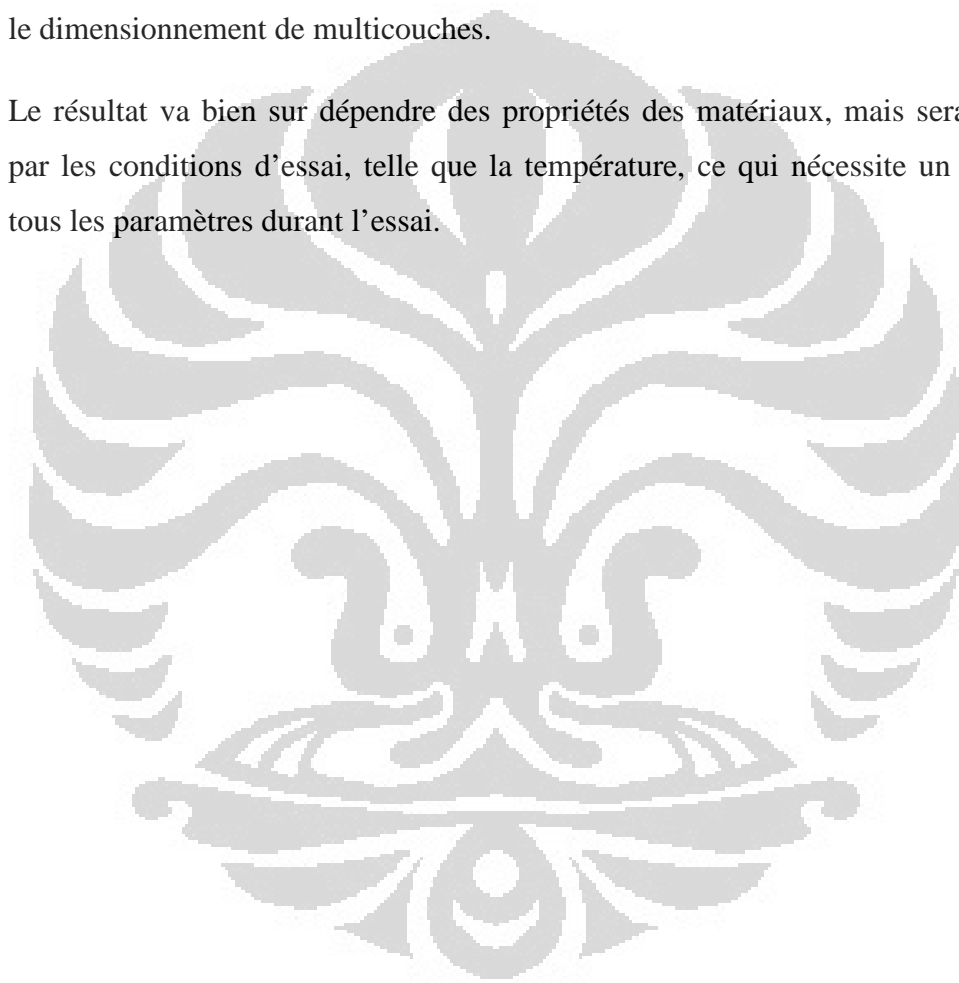
L'idée du test triaxial est de reproduire la condition de chargement appliqué sur les matériaux. Une éprouvette de forme cylindrique est installée dans une cellule triaxiale avec un système de chargement de confinement (ce chargement peut être appliqué en utilisant l'air, l'eau ou d'autres éléments). Ce confinement permet de reproduire les conditions de chargement autour de l'éprouvette. Un chargement axial est appliqué par un contrôle hydraulique pour observer la réponse de l'éprouvette à différentes charges et fréquence.

En générale, le test triaxial est utilisé dans le domaine géotechnique pour contrôler la réponse d'une éprouvette en sol après le chargement de pression variée. De

même façon, cet essai est appliqué pour déterminer la réaction de matériaux de types mélanges bitumineux en statique et cyclique (FRANK, 2004 [4]).

L'essai triaxial est fait sur les couches de forme, base et fondation. L'application de cet essai est très importante pour connaître la valeur du module, surtout, des éprouvettes graves non traitées. Cette valeur donne la classe de matériaux qui, dans le futur, peut être utilisée pour calculer la valeur nominale de la hauteur de couche. Jusqu'à maintenant, nous utilisons la méthode empirique pour déterminer le dimensionnement de multicouches.

Le résultat va bien sur dépendre des propriétés des matériaux, mais sera affecté par les conditions d'essai, telle que la température, ce qui nécessite un série de tous les paramètres durant l'essai.



CHAPITRE II

CONTEXTE D'ETUDES

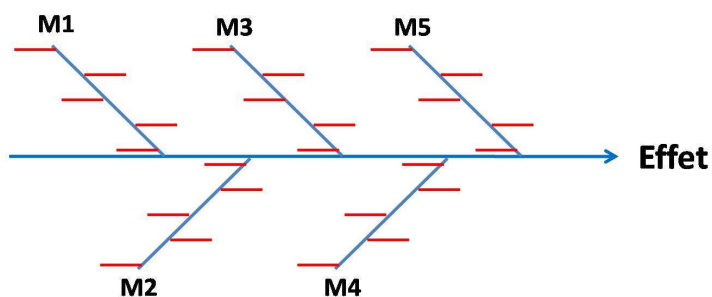
Le Centre de recherche de Mérignac a fait l'acquisition d'un nouvel équipement de laboratoire : une presse hydraulique dynamique triaxiale. Cette machine est destinée à l'essai sur l'éprouvette de mélanges bitumineux à chaud. En revanche, dans le cadre de ses activités d'infrastructures routières qui est basé en développement durable, Eurovia souhaite faire des essais sur différents types de matériaux.

Le contexte d'étude couvre tous les choses importantes depuis le type de matériaux jusqu'à la capacité de pouvoir faire des choses du centre de recherche. Afin de rédiger le contexte d'étude, il faut utiliser le diagramme de causes à effet pour identifier précisément le problème qui arrive au CRM. Le diagramme de cause à effet ou diagramme d'Ishikawa ou encore méthode des 5M est une démarche qui permet d'identifier les causes possibles d'un problème. Il convient ensuite d'agir sur ces causes pour corriger le défaut en mettant en place des actions correctives appropriées.

II.1. Diagramme d'Ishikawa

Le diagramme d'Ishikawa est une représentation graphique simple qui, pour un effet, tente d'identifier l'ensemble des causes, des facteurs potentiels pouvant l'affecter. Il est utilisé pour comprendre bien un phénomène, ou un processus ; par exemple les étapes de recherche de panne sur un équipement, en fonction des symptômes.

Ce diagramme se présente sous la forme d'un graphe en arêtes de poisson. Dans ce dernier, sont classées par catégorie les causes selon la loi des 5M (Main d'œuvre, Matériels, Matériaux, Milieu et Méthode).



Source : Wikipédia, 2010

Figure 2.1. Diagramme d'Ishikawa

Dans l'intention de constituer un outil d'analyse exhaustif des causes et des connaissances, il faut étudier ces cinq éléments :

1. M1 – Main d'œuvre : directe, indirecte, motivation, formation, absentéisme, expérience, problème de compétence, d'organisation, de management.
2. M2 – Matériels : recense les causes probables ayant pour origine les supports techniques et les produits utilisés. Machines, outils, équipements, capacité, âge, nombre, maintenance.
3. M3 – Matériaux : matières premières, pièces, ensemble, éprouvettes, etc.
4. M4 – Milieu : environnement physique, éclairage, bruit, aménagement, relations, température, climat, marché, législation.
5. M5 – Méthodes : instructions, manuels, procédures, modes opératoires.

II.2. Application du diagramme d'Ishikawa

Le CRM a l'intention de faire l'essai triaxial sur chacune des trois familles de produit suivant : matériaux bitumineux, graves émulsions et graves non traitées. À la fin de cette étude, l'entreprise désire synthétiser une méthode d'essai interne (MEI). Sur cette partie, nous allons appliquer la méthode 5M de façon différente. Nous nous sommes inspirés de cette méthode pour pouvoir identifier notre capacité de faire les essais triaxiaux, la capacité de la machine et des matériels, notre capacité de produire des éprouvettes, etc. Dans ce cas, nous nous intéressons plutôt aux matériels, matériaux et méthodes.

La **main d'œuvre**, nous considérons que le personnel de l'entreprise possède la compétence pour utiliser cet appareillage.

Le **milieu** de cet essai est le centre de recherche d'Eurovia à Mérignac où nous considérons que nous pouvons régler la condition de travail. La température de conditionnement peut être réglée, la machine s'installe dans une salle où il n'y a pas de soleil en direct, etc.

Alors, nous supposons que ces deux éléments sont bien contrôlés par CRM.

II.2.1. M2 – Matériels : System d'essai triaxial au CRM

Le système d'essai au laboratoire de CRM est constitué des parties indiquées ci-dessous.



Figure 2.2. Système d'essai triaxial

Système d'essai triaxial :

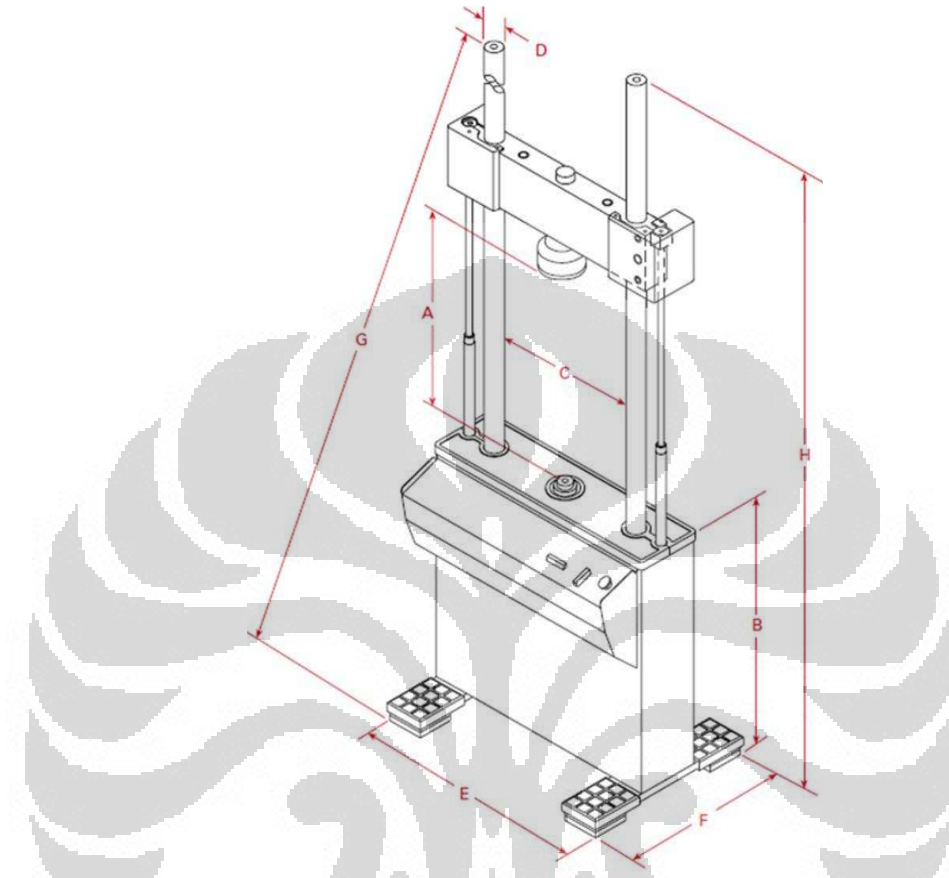
1. Le système 810
 - 1.1. Bâti de charge équipe modèle MTS 318.10

- 1.2. Groupe hydraulique MTS 505.10
- 1.3. Station de travail FlexTest GT (FTGT)
- 1.4. Logiciel d'application
 - 1.4.1. Logiciel Multi-usage TestWare de type 793.10
 - 1.4.2. Option voies calculées MTS 793.03
 - 1.4.3. Logiciel d'essais uni axiaux pour asphalte MTS 793.67
 - 1.4.4. Civil Engineering Testing SWCD
- 1.5. Ensemble cellule triaxial
 - 1.5.1. Cellule triaxial de type 655.05
 - 1.5.2. Contrôleur de température
2. Accessoires d'essais triaxiaux
 - 2.1. Le système de contrôle de la pression de confinement
 - 2.2. Capteur de force en cellule triaxiale
 - 2.3. Plateaux traction-extension
 - 2.4. Ensemble de mesure de contrainte axiale en cellule triaxiale
 - 2.5. Autres accessoires
 - 2.5.1. Fluide de confinement
 - 2.5.2. Pompe de remplissage
 - 2.5.3. Membranes

Toutes les informations suivantes découlent d'une étude des dossiers techniques, des inspections et d'essai pilotage des matériels. Les dossiers techniques de la société de fournisseur ne permettent pas de connaître le fonctionnement des différents matériels. Les difficultés concernent notamment la sécurité et la sûreté lors d'utilisation du matériel. Il a donc fallu contacter le fournisseur, les experts, ou d'autres qui ont déjà effectué les essais triaxiaux afin de régler ce problème. Heureusement, le personnel du CRM connaît l'utilisation des matériels qui rassemblent aux matériels du système d'essai triaxial, surtout le système de chargement hydraulique et le logiciel d'essai. Il faut cependant trouver les informations liées à tous les équipements d'essai triaxial, comme par exemple, le système de remplissage du liquide de confinement, le système de conditionnement de température, le système de mesure de la pression de confinement etc.

II.2.1.1. Le système 810

1. Bâti de charge équipe modèle MTS 318.10



Source : MTS², 2006 [6]

Figure 2.3. L'unité de chargement de type 318.10.

Sur l'image 2.3 ci-dessus, nous voyons un appareil de l'unité de chargement de type 318.10 avec les spécifications écrites dans le tableau 2.1.

Nous comparons l'appareil de l'unité de chargement du dossier technique de MTS à celui du CRM (cf. Annexe 1). Le CRM a un appareil d'unité de chargement de type 318.10B-01. La machine est constituée de :

- Des *actuateurs manifolds*³ sont situés en haut. Ils sont liés avec un *actuateur hydraulique*.

² MTS Système est une entreprise, le fournisseur principal de systèmes d'essai mécanique pour des essais de matériaux, essais de fatigues et des essais de traction ainsi que des systèmes de simulation de mouvement et d'étalonnage. Son siège social se situe aux États-Unis.

- Le système 810 au laboratoire CRM est muni d'un *actuateur hydraulique*⁴ 50 kN, avec une possibilité de mouvement allant jusqu'à 150 mm. Ce vérin hydraulique se connecte au système des *actuateurs manifolds*. Ce vérin se situe au-dessus de l'espace de test.
- Un transducteur⁵ de force de hauteur 150 mm s'installe au fond de l'espace de test. Ce transducteur permet de mesurer la force en dynamique et en statique.
- Deux colonnes en acier hautes rigidité pour préciser la précision de la machine et maintenir l'alignement de l'unité de chargement.
- Une traverse de type 318.10 qui se déplace sur ces colonnes est un outil pour améliorer la performance dynamique et préciser le mesurage de déplacement.
- Deux colonnes hydrauliques avec leur système de verrouillage et leur contrôleur permettent de positionner et bloquer la traverse.

Tableau 2.1. Spécification technique de l'unité de chargement de type 318.10 (MTS, 2006 [6])

Type	318.10
Capacité de la force de deux colonnes	100 kN
Espace de test vertical (A)	1308 mm
Hauteur de travail (B)	889 mm
Espace entre colonnes (C)	533 mm
Diamètre de la colonne (D)	64 mm
Largeur à la base (E)	864 mm
Profondeur de base (F)	610 mm
Clearance diagonale (G)	2718 mm
Hauteur totale (H)	2540 mm
Distance vérin	1570 mm
Rigidité du bâti	$2,6 \times 10^8$ N/m
Poids sans accessoires	540 kg

Source : MTS, 2006 [6]

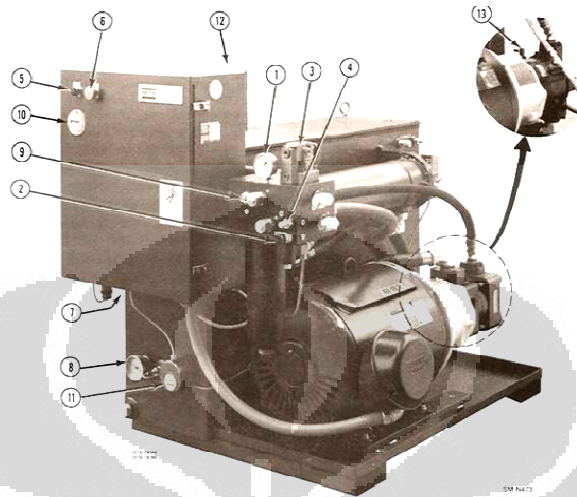
2. Groupe hydraulique MTS 510.10

³ *Actuateur manifold* vient de mots anglais : *actuator manifold*. C'est un outil qui permet de monter les deux servovalves différentes dimensions. La définition de mot *actuateur* est un système de commande conçu pour engendrer une force capable de produire un mouvement.

⁴ *Actuateur hydraulique* ou on l'appelle plutôt vérin hydraulique, vient de mots anglais : *hydraulic actuator*.

⁵ Un transducteur est un dispositif qui permet la transformation d'une forme d'énergie en autre, d'une grandeur physique en une autre. Un capteur est un dispositif qui enregistre et convertit une grandeur physique ou numérique susceptible d'être traitée. Un extensomètre est un instrument qui sert à mesurer les déformations produites dans un corps sous l'effet des contraintes mécanique. En générale, nous les appelons capteur. Dans ce rapport, nous utilisons ces trois termes pour préciser leur fonctionnement.

La machine MTS de type 510.10 est une machine qui alimente hydrauliquement (*hydraulic power supply*) le système de chargement hydraulique (le système 810). Cette machine peut fonctionner en base pression (inférieure à 1 MPa) ou en haute pression (inférieure à 21 MPa).



Source : MTS, 1992 [7]

Figure 2.4. Le group d'alimentation hydraulique de type 510.10

Dans la figure 2.4 ci-dessus, nous pouvons voir les éléments constitutifs de cette machine d'alimentation :

1. Gauge de la pression sortie
2. Vanne à aiguille pour contrôler la pression faible
3. Vanne pour contrôler la pression
4. Vanne de pilotage secondaire
5. Commutateur de la pression sortie
6. Bouton marche
7. Gauge de niveau de fluide
8. Gauge de température
9. Indicateur de saleté
10. Chronomètre
11. Commutateur de la température
12. Commutateur de niveau bas
13. Réglage du compensateur de pression

La machine d'alimentation hydraulique utilise l'échangeur de chaleur qui permet de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers l'eau de refroidissement en traversant la surface d'échange. Cet appareil alimente en huile comprimée les *actuateurs manifolds*. La pompe met l'huile en pression. Ensuite, ce liquide s'écoule dans la tuyauterie en acier vers les *actuateurs manifolds*. Pendant la mise en pression de l'huile, ce liquide va s'échauffer. Quand le liquide revient au système, il sera refroidi par l'eau. Après, il va revenir et sera échauffé. Le système marche comme un cycle.

Un schéma de processus d'alimentation du système de chargement est disponible à la page précédente. Un group d'alimentation (*Hydraulic Power Unit HPU*) fournit l'énergie hydraulique au vérin de chargement. Le HSM (*Hydraulic Service Manifold*) permet la mise sous pression (haute ou base) à l'aide d'électrovanne. Le HSM peut être intégré dans la machine ou indépendant. Une servovalve au dessus d'actuateur met le vérin en mouvement. Elle dirige l'huile dans l'une ou l'autre chambre du vérin proportionnellement à la commande envoyée. La taille de la servovalve influence la quantité d'huile envoyée au vérin, c'est-à-dire sa vitesse et sa stabilité. Le vérin (actuateur) applique le mouvement et la force au spécimen. C'est cela qu'on veut contrôler. Un vérin est dimensionné en fonction des caractéristiques voulues, comme par exemple, la vitesse, la fréquence, l'effort maximale, etc.

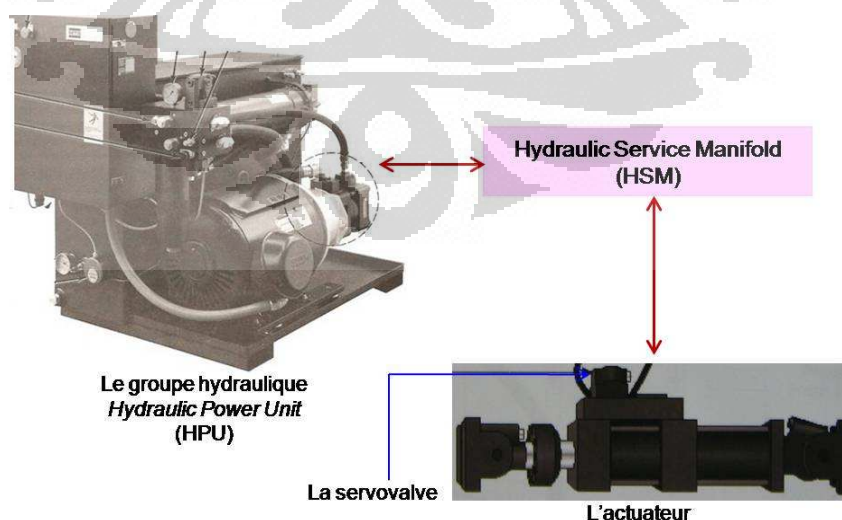


Figure 2.85. Schéma d'alimentation le vérin de chargement.

3. Station de travail FlexTest GT (FTGT)

Station de travail FlexTest GT nous permet de contrôler et de gérer plusieurs stations depuis un PC. Cet outil fonctionne avec logiciel MTS 793 et un système multitâche d'exploitation Windows™. Cette station possède aux plusieurs parties :

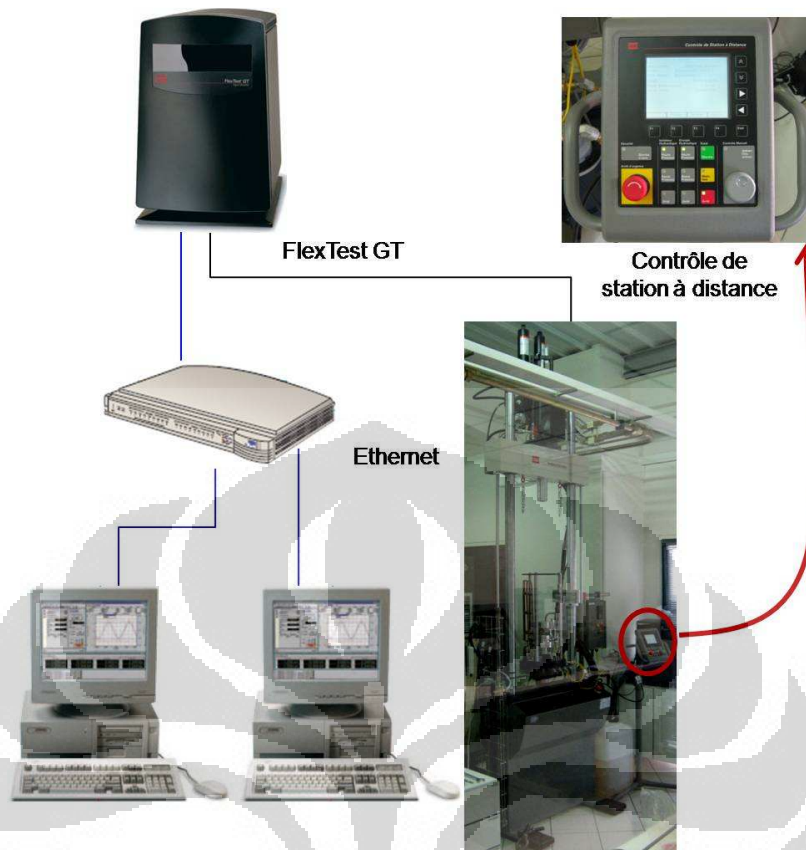
- Une partie électronique numérique,
- Un boîtier local de commande MTS 493.01,
- Un ordinateur pour l'opérer,
- Un logiciel du système FlexTest MTS 793.00.

3.1. Logiciel du système FlexTest MTS 793.00

Ce logiciel nous permet de contrôler tous les appareils (les capteurs, le conditionnement de la température, etc.) depuis l'ordinateur en traversant le contrôleur FTGT. Nous pouvons aussi piloter de façon manuelle en utilisant un outil de contrôle de stations à distance (voir la figure 2.6 ci-dessous). Ces deux types de système de pilotage sont liés l'un à l'autre, si l'opérateur a changé quelque chose sur l'ordinateur, l'appareillage *contrôle de station à distance* (POD) va être synchronisé automatiquement.

Le schéma du système de réseau local à la page précédente nous indique que toute la commande depuis ordinateur passe le contrôleur FTGT. Dans le sens contraire, toutes les données de l'appareillage (de capteur, etc.), aussi traversent le contrôleur FTGT. Il y a des outils spécifiques avec des caractéristiques spéciales qui peuvent nous aider à piloter des machines. Ce sont :

- Le « *Project manager* »
- La « *station desktop organiser* »
- L'organisateur d'écran
- La gestionnaire de station avec logiciel d'application de base le « *Basic TestWare* (BTW)»



Source : MTS, 2006 [6]

Figure 2.69. Schéma du système de réseau local (MTS, 2006 [6]).

a. Gestionnaire de station

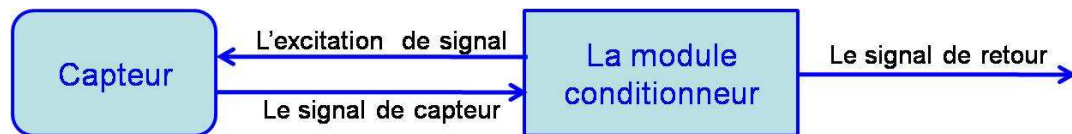
Cette application nous permet de faire charger la station, de créer des paramètres de station, de réglage de calibration, d'utiliser l'application de base le « *Basic TestWare (BTW)* ». Il y a quatre niveaux d'accès dans cette station : *Opérateur*, *Optimiser*, *Étalonnage*, et *Configuration*.

Tableau 2.2. Niveaux d'accès dans la gestionnaire de station.

Nom de niveaux	Niveau d'accès
<i>Opérateur</i>	L'opérateur peut piloter et utiliser la station et ne peut pas changer les paramètres d'opération.
<i>Optimiser</i>	L'opérateur peut faire réglage d'optimiser.
<i>Étalonnage</i>	L'opérateur peut faire réglage tout la fenêtre d'application sauf la fenêtre d'éditeur de calculs et d'éditeur d'évènements-actions.
<i>Configuration</i>	L'opérateur peut faire réglage tout la fenêtre d'application. La fenêtre d'éditeur de calculs et la fenêtre d'éditeur d'évènements-actions sont incluses.

b. Calibration de capteur et configuration de retour

Le système d'asservissement de capteur va transformer la valeur mécanique mesurée comme la force, le déplacement et la pression en signal électrique. Après ce signal a passé la module conditionneur, il est appropriée au contrôle boucle fermé.



Source : Le schéma est traduit de dossier technique MTS, 2006 [9]

Figure 2.7. Schéma de trajectoire de signal

c. Les applications de panneau de configuration

Il y a cinq applications principales : le générateur de fonctions, la commande extérieure, le réglage automatique d'asservissement, et le BTW.

Générateur de fonctions

Pour gérer la commande simple, on peut utiliser ce type de fonction. Sur le panneau de configuration de cette fonction, il y a neuf postes principaux :

1. Le type de canal et son mode de pilotage

Sur cette partie, nous avons le canal de type axial, température et pression. L'opérateur peut ajouter la valeur de la consigne statique projetée, l'amplitude, et la fréquence.

- Le type de canal « axial », il y a trois choix de mode de pilotage : « *displacement* », « force », « CLC » (canal *limitant canal*⁶).
- Le deuxième type est la température. Il n'y a qu'une seul mode de pilotage : « température ».
- Le troisième type est la pression. Il n'y a qu'une seul mode de pilotage : « air ». La valeur de la pression d'air va nous donner la valeur qui sera appliquée à l'air dans la cellule de triaxial. L'air sous pression va « transmettre » la pression au liquide : l'huile de silicone.

⁶ Le *canal limitant canal* est la traduction de CLC « *channel limited channel* ».

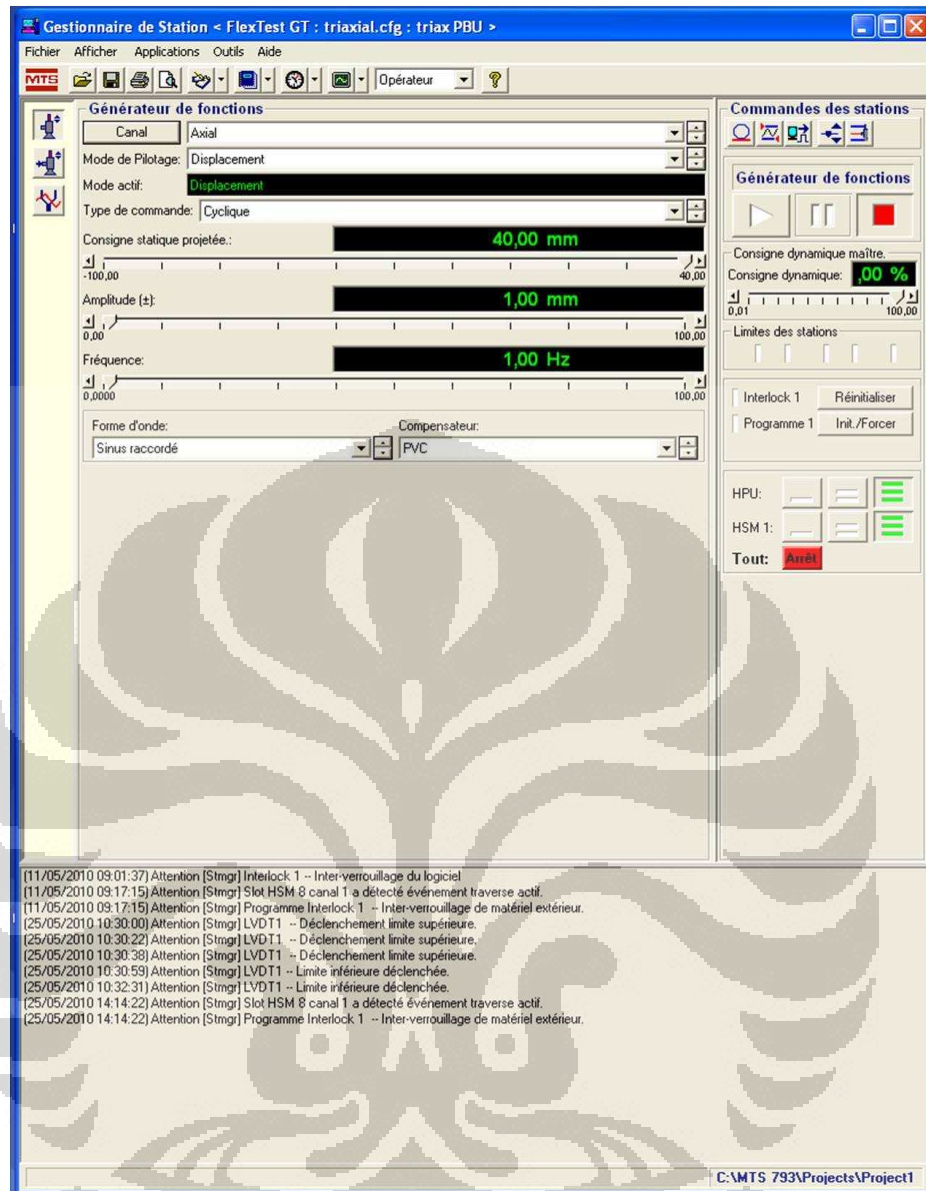


Figure 2.8. Impression d'écran de la Gestionnaire de Station « FlexTest GT »

2. Le mode actif : affiche le mode actuel utilisé.
3. Le type de commande : cyclique, aléatoire et balayage sinusoïdal.
 - Cyclique : la fonction se roule à une amplitude et fréquence spécifique
 - Balayage : la fonction balaie le signal de commande dans l'intervalle fréquence limite spécifiée.

- Aléatoire : la fonction balais aléatoirement dépendant d'amplitude RMS⁷ et la limite de la fréquence spécifiée.

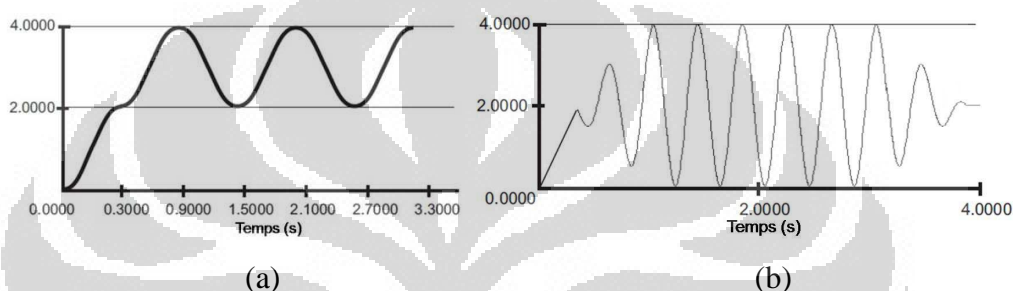
4. La consigne statique projetée (« *target setpoint* »).

5. L'amplitude

6. La fréquence

7. La forme d'onde

Il y a six types de la forme d'onde : carré, rampe, sinus, carré raccordé, rampe amortie, et sinus raccordé. Nous utiliserons plutôt la forme sinus raccordé.



Source : MTS, 1997 [8]

Figure 2.9. Schéma de la forme d'onde.

(a). Graphe sinusoïde. (b). Graphe sinusoïde raccordé.

L'image 2.9 ci-dessus nous indique que le signal a une forme d'onde sinusoïdale qui commence de la valeur zéro et il se discontinue un moment où on s'arrête tracement de graphe. La forme d'onde sinus raccordé, l'onde se forme de 0% à 100% d'amplitude au début, et de 100% à 0% d'amplitude à la fin d'exécution.

8. Le type de compensateur : PVC, aucun.

Logiciel Peak/Valley/Mean Control (PVC) ou en anglais « Peak/Valley Compensation » est un algorithme de compensation de pics et de valeur moyenne pour systèmes linéaires et non linéaires.

La commande extérieure

Ce type de contrôle va choisir et ajuster la commande extérieure.

⁷ RMS : *Root Mean Square*, est une valeur efficace (moyenne quadratique).

Le réglage automatique d'asservissement

Ce type de contrôle calcule automatiquement la valeur d'asservissement pour le mode de contrôle PIDF (Proportionnel, Intégral, Différentiel (ou Dérivée), Réglage Hautes Fréquences).

Le «Basic TestWare »

Cette application nous permet de créer et de sauver des tests simples qui ne nécessitent pas la gestion des signaux complexes.

4. Logiciels d'application

4.1. Logiciel Multi-usage TestWare de Type 793.10

Logiciel Multi-usage TestWare, ou en anglais « MultiPurpose TestWare (MPT)» est un logiciel universel d'essais. En tant que programme universel d'essais monotones et dynamiques, ce logiciel génère et exécute aisément des essais mécanique, tels que : traction, compression, flexion, tests simples de fatigue, etc.

Le MPT fonctionne avec le contrôleur d'asservissement FlexTest. Il nous permet d'intégrer la génération de fonction, le déroulement de tests et l'acquisition de données sur le disque, facilitant la mise en œuvre d'essais et comprenant les fonctions suivantes :

- pilotage du système en force, déplacement vérin ou déformation d'éprouvette.
- séquences de signaux simples ou complexes
- génération de fréquence jusqu'à 100 Hz
- acquisition de données : en fonction du temps, sur pic et vallée, min/max, par tranches de niveaux, cycliques ou logarithmiques.

5. Ensemble dans la cellule

Afin de connaître l'appareillage d'essai de CRM, voir [Annexe 2. Appareillage d'essai triaxial.](#)

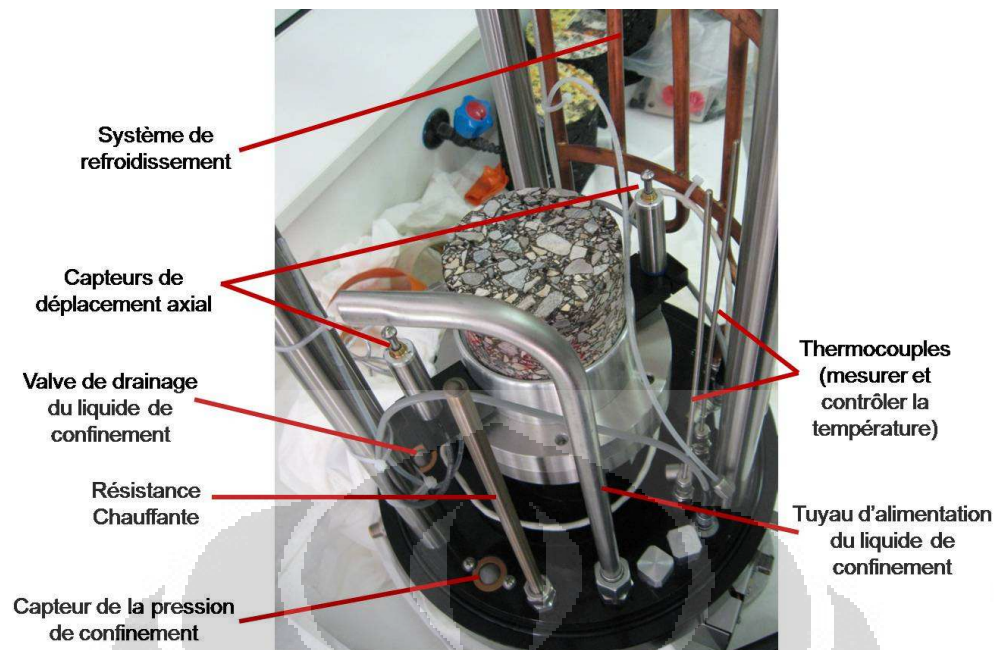


Figure 2.1010. Cellule triaxiale de type 655.05

5.1. La cellule triaxial de type 655.05

La configuration de la cellule triaxiale:

- Cet appareillage est développée pour des éprouvettes de diamètre de 38 mm jusqu'à 150 mm. Le rapport de hauteur et diamètre est 2:1.
- La cellule triaxiale est conçue pour travailler avec trois types de fluides de confinement : air, eau et l'huile de silicone.
 - L'air est utilisé pour des faibles pressions statiques de confinement (2 bar)⁸.
 - L'eau est utile pour des contrôles dynamiques de la pression de confinement.
 - L'huile de silicone est pour des pressions dynamiques de confinement et des contrôles en basse température.
- Un tube en aluminium pour couvrir la cellule triaxiale a la valeur de la résistance mécanique de 2.100 kPa (300 Psi)⁹. Un tube en acrylique transparent a la valeur maximale de la pression de confinement maximale de 1.000 kPa (150 Psi) où 1 Psi = 6894,76 Pa.

⁸ 1 bar = 10⁵ Pa.

⁹ Cette valeur est aussi la valeur maximale de la pression de confinement qui pourra être appliquée pendant l'essai triaxial.

- Plaque supérieure amovible avec trappe de ventilation air.
- Plaque de base avec 4 pores pour fluide (deux pour le plateau/embase supérieure et deux pour le plateau/embase inférieure)
- Colonnes de réaction
- Six traversées électriques pour mesurer en cellule des forces et déformations.
- Système d'échauffement et refroidissement pour l'éprouvette en mélanges bitumineux. La gamme de température est de -30 °C à 60 °C.
- Deux thermocouples pour mesurer et contrôler la température.
- Tuyau d'alimentation du liquide de confinement.

5.2. Contrôleur de température



Figure 2.11. Boîtier de puissance réglant le système de conditionnement de température.

Ce système est constitué de :

- Un contrôleur automatique de température en boucle fermée.
- Deux thermocouples où un pour mesurer la température dedans, un autre est destiné à contrôler la condition (sécurité) avec gamme de contrôle de -30 à + 60 °C. Une pompe pour circuler liquide de confinement (l'huile de silicone) est reliée à un tuyau d'alimentation du liquide de confinement.

- Un outil pour alimenter la cellule triaxiale en LN2 (Liquide Nitrogène). LN2 va circuler dans un tuyau en acier en forme que l'on peut voir sur la figure 2.10 à la page précédente, une partie appelée système de refroidissement.
- Une résistance chauffante nous permet de régler la température est situé juste à côté de tuyau d'alimentation d'huile.
- Un boîtier de puissance (ou coffret de puissance) règle la démarche de la pompe. Grâce à une pompe qui fait circuler l'huile, l'échauffement de cette dernière est uniforme.

II.2.1.2. Accessoires d'essais triaxiaux

1. Ensemble de contrôle de la pression de confinement

Ce système sera contrôlé par le contrôleur « FlexTest GT ». Le système de mesurage de la pression de confinement est rempli par un transducteur qui se situe à coté la valve de remplissage d'huile. La régulation de la pression de gaz contrôlée par logiciel de 0 à 1000 kPa.

2. Capteur de force (capteur de la pression axiale) en cellule triaxiale 5000 lbf¹⁰.

3. Plateaux (embases) traction-extension

Les embases sont destinées à l'essai sur l'éprouvette de diamètre 100 mm et 150 mm. Il y a un pore de drainage sur la surface de l'embase qui est lié au pore sur la plaque de base. La partie numéro (3) indiquée dans l'image 2.12 à la page précédente est constituée d'acier et permet de mesurer la déformation axiale. En regardant la partie (7) et (8), On voit que l'adaptateur embase-capteur touche le capteur. La partie numéro (4) est un matériel pour adapter le chargement cyclique par vérin.

4. Ensemble de mesure de contrainte axiale en cellule triaxial

Deux capteurs de déplacement axial mesurant le changement total de la hauteur de l'éprouvette s'installent dans la cellule. Changement de dimension de l'éprouvette pourra déplacer l'embase supérieure. Ensuite cette embase va

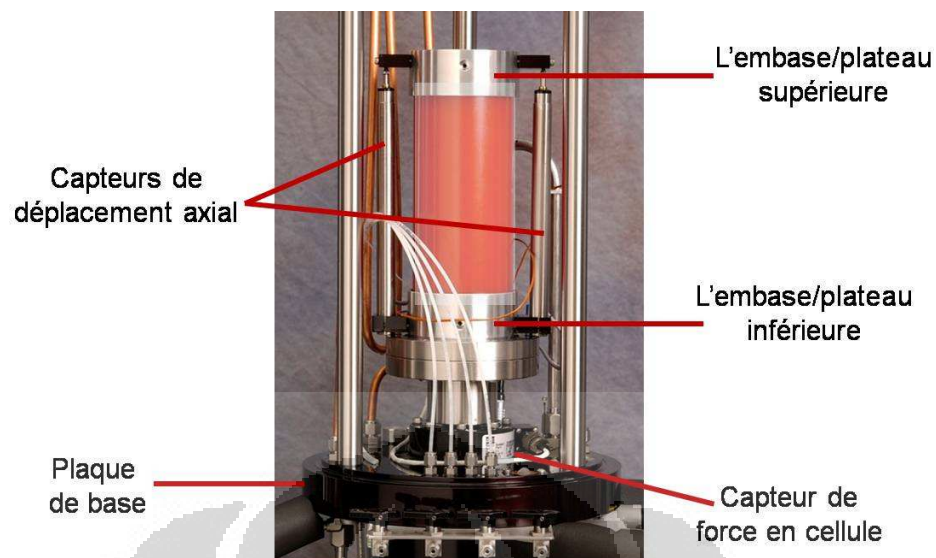
¹⁰ 1 lbf = 4,448184652 N

toucher les capteurs qui vont donner les informations au système d'asservissement. Le capteur de type LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) a une capacité de mesurer le déplacement axial jusqu'à 10 mm.



Figure 2.12. Les embases et leur montage.

(1). L'embase supérieure pour l'éprouvette de diamètre maximum 150 mm. (2). L'embase inférieure pour l'éprouvette de diamètre maximum 150 mm. (3). Adaptateur embase-capteur. (4). Adaptateur embase-vérin. (5). L'embase supérieure et (6). L'embase inférieure pour l'éprouvette de diamètre maximum 100 mm. (7). Le montage de capteur, des embases et leurs adaptateurs. (8). Esquisse de montage précise de point contact adaptateur et capteur.



Source : MTS, 2008

Figure 2.13. Cellule triaxiale de type 655.05

5. Autres accessoires

5.1. Fluide de confinement : l'huile de silicone

Le fluide de confinement utilisé est l'huile de silicone (nom chimique : polydimethylsiloxane, nom de produit de *Meriam Instrument* : *Drow Corning 200 Fluid*). Les propriétés chimique et physique de ce fluide sont décrites dans ce tableau 2.3 ci-dessous.

Tableau 2.3. Propriétés chimiques et physiques de l'huile de silicone

Propriétés physique/chimique	Valeur/Description	Dimension
Point d'ébullition	149	°C
Taux d'évaporation	< 1%	-
Apparence	Claire	
Odeur	Très peu d'odeur	
Densité	0,94	gram/cm ³
Solubilité dans l'eau	< 0,1%	-
Pression de vapeur	< 5	mm Hg
Réactivité dans l'eau	Non	-

Source : *Meriam Instrument*

5.2. Membranes

Les membranes sont développées pour l'éprouvette en mélanges bitumineux de diamètres 100 mm et 150 mm (12 membranes pour chaque taille) sont donnés pour protéger l'éprouvette de l'huile de confinement. Vingt joints toriques (les « *o-rings* ») sont disponibles pour assurer l'étanchéité au niveau de raccordement entre la membrane et les embases.

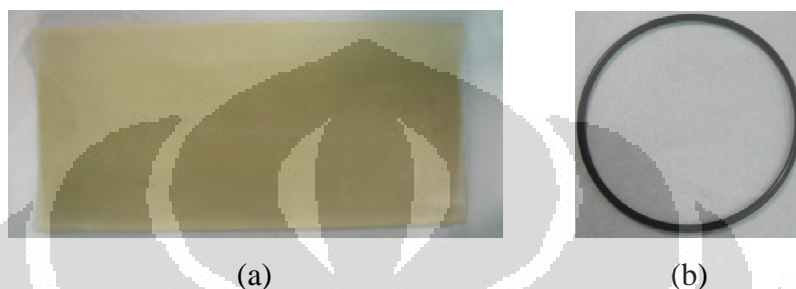


Figure 2.14. D'autres équipements.

(a). Membrane de diamètres 950 mm. (b). Joint torique

Pour savoir le schéma logique de système d'essai triaxial complet, voir [Annexe 3. Schéma logique du système d'essai triaxial](#). Le schéma nous décrit la démarche du système simplifié.

II.2.2. M3 – Matériaux

Le Centre de recherche de Méridnac a l'intention de faire l'essai triaxial sur chacune des trois familles de produit suivant : matériaux bitumineux, graves émulsion et graves non traitées. Il existe un contexte technique permettant la caractérisation des performances mécanique (durabilité) pour les matériaux de types mélanges bitumineux. Par contre, pour les matériaux de types graves non traitées et graves émulsions, les contextes sont absences. Ainsi nous allons étudier ces trois familles d'éprouvette. Afin de comprendre l'enrobage, il faut savoir d'abord les granulats et le bitume.

1. Granulats

Les granulats sont des grains de dimensions comprises entre 0 et 125 mm. Les granulats sont désignés par leurs plus petite et plus grande dimensions d et D ,

l'intervalle d/D étant appelé classe granulaire. Cette désignation admet que des grains puissent être retenus sur le tamis D et que d'autres puissent passer au travers du tamis d , dans les limites précisées par la norme. Six familles de granulats sont distinguées :

Tableau 2.4. Famille de granulats

Familles	Explication
Fillers	$0/D$ où $D < 2$ mm avec ou moins 70 % de passant à 0,063 mm
Sablons	$0/D$ où $D \leq 1$ mm avec moins 70 % de passant à 0,063 mm
Sables	$0/D$ où $1 < D \leq 6,3$ mm
Graves	$0/D$ où $D > 6,3$ mm
Gravillons	d/D où $d \geq 1$ mm et $D \leq 125$ mm
Ballast	où $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm

Source : RGRA, 2001 [13]

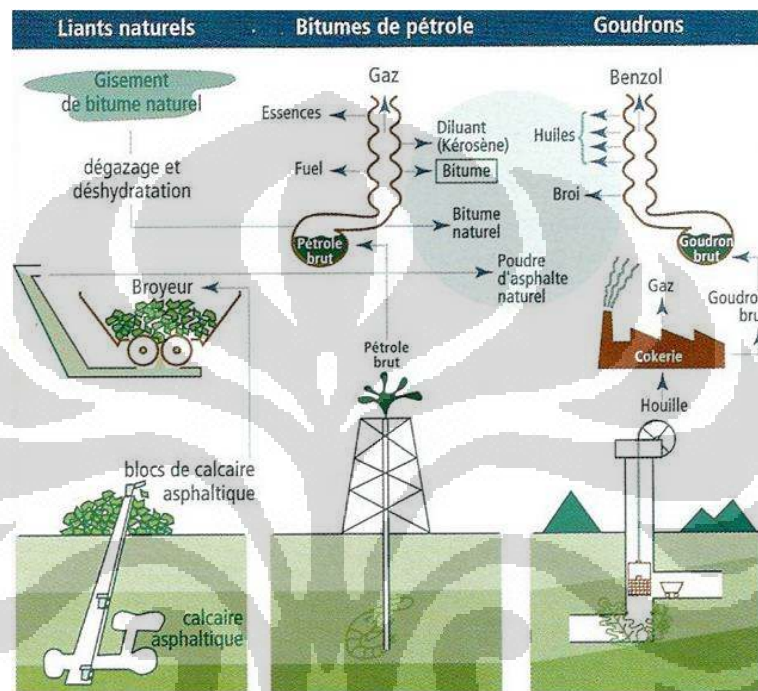
Les granulats sont d'origine naturelle ou artificielle. Les granulats naturels sont issus de roches meubles ou massives et ne subissent aucun traitement autre que mécanique. Les granulats artificiels proviennent de la transformation thermique de roches ou de minerais, de la démolition d'ouvrages de la récupération et du recyclage de sous-produits et déchets.

2. Bitume (liant hydrocarboné)

Les liants hydrocarbonés sont des substances constituées essentiellement d'assemblages d'atomes de carbone et d'hydrogène qui, au contact de particules solides telles que les granulats par exemple, développent des forces d'adhésion et de cohésion assurant, de la sorte, une certaine rigidité, des résistances à la déformation en traction, compression et cisaillement.

Il y a trois familles de liants hydrocarbonés : les liants naturels, les goudrons et les bitumes (de pétrole). **Les liants naturels** sont trouvés en l'état dans la nature, le plus souvent associés avec des substances minérales. **Les goudrons** proviennent de la pyrogénéation à labri de l'air de matières d'origine végétale, telles que le lignite, la tourbe et le bois. **Les bitumes** proviennent du raffinage et du traitement des pétroles bruts. Dans la figure 2.15 ci dessous, nous pouvons voir les trois familles de liants hydrocarbonés.

Les caractéristiques essentielles de bitume : corps viscoélastique, le bitume suivant sa composition et les conditions de sollicitations auxquelles il est soumis, a un comportement plus ou moins viscoplastique ou élastique. Il se présente, à l'ambiante, sous l'aspect d'un corps plus ou moins viscoélastique, de couleur noire. Il est liquide à chaud à des températures supérieures à 100°C.



Source : RGRA, 2001 [13]

Figure 2.1511. Les trois familles de liants hydrocarbonés

3. Matériaux traités aux liants hydrocarbonés à chaud (matériaux bitumineux, matériaux fortement liés)

Les matériaux traités aux liants hydrocarbonés à chaud sont des mélanges de granulats et de liant hydrocarboné avec éventuellement des additifs, dosés, chauffés et malaxés en centrale. A température ambiante, bitume est en solide. Afin d'utiliser le bitume en tant qu'un liant hydrocarboné, il faut donc l'échauffer au moins 100 °C. De suite, nous le traitons en utilisant certain méthode, par exemple fabrication d'une plaque d'enrobé, depuis l'étape de malaxer, mouler, compacter, jusqu'à démouler. La valeur du module élastique de ce type matériaux est de 9.000 jusqu'à 10.000 MPa.

4. Matériaux non-traités/graves Non-traités (GNT)

En général, matériaux graves non traitées sont les divers mélanges de granulats et d'eau sans liant hydraulique. Les GNT existent en deux types, selon la façon dont elles sont produites :

- Ce sont des matériaux obtenus en une seule fraction, sans mélange, sans ajout d'eau, tels que sortie du crible de la carrière. En France, on les qualifie de « graves naturelles ».
- Ce sont des matériaux obtenus en au moins 2 fractions granulaires distinctes (par exemple un sable 0/4, avec un gravillon 4/10, et un autre 10/20, pour former une grave 0/20), et, au besoin, un ajout d'eau. La recombinaison et le malaxage se font dans une centrale spéciale nommée « centrale de graves » ou « centrale de blanc ».

Les matériaux granulaires ont un comportement non-linéaire. Les caractéristiques mécaniques affectées à ces couches dans un calcul de dimensionnement devraient donc en toute rigueur dépendre de la structure (épaisseur et rigidité des couches liées, portance du support). La valeur du module élastique de ce type matériaux à l'âge jeune est de 200 jusqu'à 300 MPa.

5. Matériaux faiblement liés (Graves émulsions)

Emulsion est un système hétérogène à deux ou plusieurs phases liquides, constitué par une phase liquide continue et au moins une deuxième phase liquide, dispersée dans la première sous forme de fines gouttelettes.

Graves émulsions est un type de matériaux mélanges bitumineux traités à froid. Elles sont utilisées notamment pour construire ou réhabiliter des routes à faible trafic à moyen terme. Ils sont caractérisés par une évolution importante de leur comportement mécanique avec le temps, en raison de l'assèchement progressif et le durcissement de l'émulsion de bitume.

La fabrication d'émulsion est faite en mélangeant de bitume et d'eau. A température ambiante, bitume est en solide. Pour fabriquer 100% d'émulsion, nous avons besoin de 60 jusqu'à 65% de bitume et de 30 jusqu'à 35% d'eau.

Nous avons donc émulsion de bitume où il ya de particule solide de bitume dans l'eau. Alors, la fabrication des éprouvettes de matériaux graves émulsions peut être faite à température ambiante. Nous faisons donc diminuer l'utilisation de l'énergie chaleur pour fabriquer enrobé. Celui-ci nous indique l'activité orientée vers le développement durable.

La valeur du module élastique de ce type matériaux à l'âge jeune est de 100 jusqu'à 200 MPa. Après 14 jours le période de durcissement, cette éprouvette peut atteindre 200-300 MPa la valeur du module élastique. La valeur typique de module in situ des graves émulsions dans la chaussée après plusieurs mois, allant de 1000 jusqu'à 3000 MPa.¹¹

II.2.3. M5 – Méthodes

Dans cette partie nous allons identifier les divers d'essai triaxial. Afin de pouvoir bien faire l'essai triaxial, il faut savoir la capacité de pouvoir faire du CRM dans le cadre de fabrication de l'éprouvette, du fonctionnement de la machine (dans ce cas là l'opérateur ou personnel) et la maintenance de matériels.

1. Méthode de fabrication des éprouvettes

En tant que centre de recherche, le CRM a 150 machines d'essai permettant de réaliser 250 essais. Dans cette partie nous allons identifier les essais permettant de fabriquer les éprouvettes pour l'essai triaxial.

a. Fabrication des éprouvettes matériaux traités aux liants hydrocarbonés à chaud (matériaux bitumineux, matériaux fortement liés)

Il y a plusieurs méthodes de fabrication pour ce type d'éprouvettes. Laboratoire au CRM est capable de fabriquer les éprouvettes en utilisant les méthodes suivantes :

- Fabrication des éprouvettes préparées en laboratoire par compactage giratoire (NF EN 12697-31).
- Fabrication des éprouvettes extraites d'une plaque d'enrobé préparée en laboratoire (NF EN 12697-33).

¹¹ A partir d'une étude faite par LCPC, voir Bibliographie [13]

- Fabrication des éprouvettes préparées à partir d'une carotte extraite de la chaussée (NF EN 12697-27).
 - Fabrication des éprouvettes préparées en laboratoire par compacteur à impact (NF EN 12697-30).
- b. Fabrication des éprouvettes matériaux non-traités/graves Non-traités (GNT)
- Le but de fabrication d'éprouvette très important est d'avoir des éprouvettes étant homogènes en densité et en teneur en eau. Les éprouvettes de graves non traitées peuvent être fabriquées en utilisant les méthodes :
- Compactage par vibrocompression
 - Compactage au marteau vibrant
- c. Fabrication des éprouvettes matériaux faiblement liés (Graves émulsions)
- Gaves émulsion est un type de matériaux qui sont faiblement liés. En général, toute la méthode de fabrication des éprouvettes matériaux traités aux liants hydrocarbonés à chaud peut être appliquée en adaptant aux certains conditions. Pour fabriquer les éprouvettes avec dimension contrôlée, la meilleure méthode de fabrication est la fabrication des éprouvettes par compacteur à impact.
2. Méthode de fonctionnement de la machine
- a. Montage et démontage les matériels
 - b. Fonctionnement de chargement axial cyclique, chargement de confinement et sa combinaison
 - c. Fonctionnement d'enregistrement de donnés
3. Méthode de maintenance de la machine et ses matériels
- La maintenance est une action de maintenir des matériels techniques en état de fonctionner. Cette activité est très importante pour que nous puissions utiliser les matériels pendant longue durée. Il s'agit donc de faire préparer une condition unique pour conserver des matériels.
- a. Maintenance de la machine
 - b. Maintenance des matériels accessoire
 - i. L'huile de silicone en tant que le fluide de confinement
 - ii. Les membranes

II.3. Diagramme d'Ishikawa de Problème au Centre de Recherche de Mérignac

Après avoir étudié les problèmes au CRM, diagramme d'Ishikawa ci-dessous nous donne les idées de contexte d'études de ce stage. En centralisant aux trois parties : matérielles, matériaux et méthodes, nous allons faire les actions pour faire le but de ce stage, pour pouvoir faire l'essai triaxial sur l'éprouvette de type graves non traitées, graves émulsions et bitumineux à chaud au CRM.

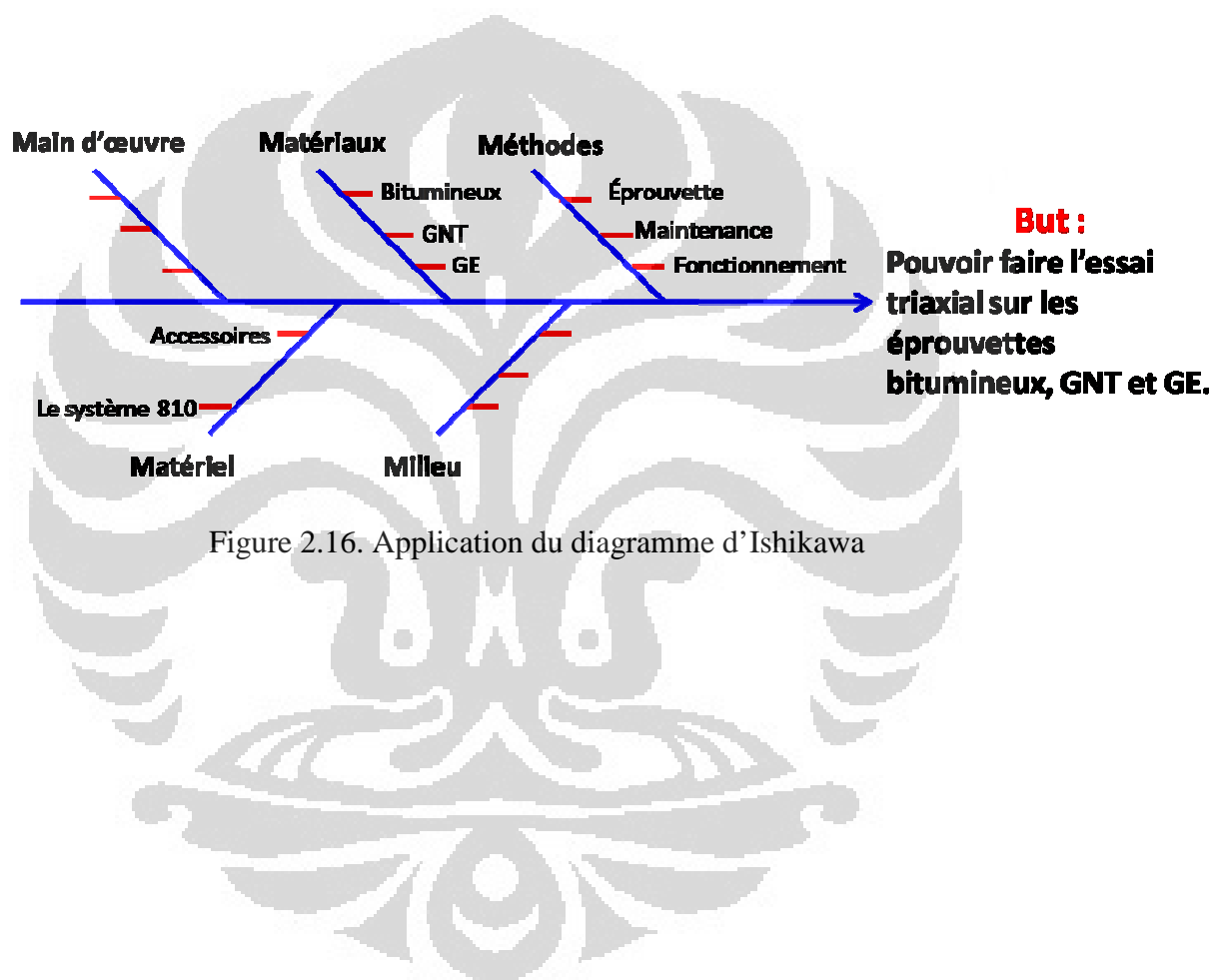


Figure 2.16. Application du diagramme d'Ishikawa

CHAPITRE III

LES BESOINS DE L'ENTREPRISE

Comme mentionné au début, le CRM a l'intention de faire des essais triaxiaux sur des éprouvettes de matériaux non traités et faiblement liés dans le cadre de ses activités dans l'infrastructure routières. L'appareillage d'essai triaxial du laboratoire du CRM (type 655.05) est destiné à des éprouvettes constituées de mélanges bitumineux. Pour cela, il faut connaître les besoins du CRM pour qu'il puisse s'équiper des outils adéquats. Afin de lister les besoins de façon plus précise, il faut étudier les normes qui encadrent ce type d'essais sur ce type de matériaux et aussi concernant la machine qui est destinée à l'essai triaxial de roche et/ou béton (type 656). Ces normes nous donnent la méthode de réalisation des essais. Comme les dossiers techniques n'expliquent les choses que de façons générales, il faut chercher des informations ailleurs. Plusieurs fois, la machine ne pouvait pas répondre aux spécifications de la norme. Il s'agit donc de prendre des décisions avec l'approbation de personnel du CRM.

III. 1. Lecture de la norme

Il y a des normes spécifiques qui encadrent les essais triaxiaux avec différents types d'éprouvettes. Ici, nous avons deux normes : **NF EN 12697-25** (Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud : parti 25 Essai de compression cyclique) et **NF EN 13286-7** (mélanges avec ou sans liant hydraulique : partie 7 Essai triaxial sous charge cyclique pour mélanges sans liant hydraulique).

III.1.1. NF EN 12697-25 : Mélanges Bitumineux en Méthodes d'essai Pour Mélange Hydrocarboné à Chaud (Partie 25 : Essai de compression cyclique)

À partir d'une étude de cette norme nous constatons que nous allons faire des essais triaxiaux en utilisant méthode B (essai de compression cyclique triaxial).

- Cette méthode d'essai est destinée à déterminer la résistance à la déformation permanente d'un **mélange bitumineux** par des essais de compression cyclique sous confinement.
- Cet essai nous permet :
 - de classer différents mélanges
 - de vérifier l'acceptabilité d'un mélange donné.
 - de déterminer les caractéristiques de fluage de mélanges bitumineux au moyen d'un essai de compression cyclique triaxial
 - d'évaluer et de développer de nouveaux types de mélanges.

Mais, il ne nous permet pas de réaliser une prédiction quantitative de l'orniérage sur le terrain.

Bilan de la norme NF EN 12697-25 :

1. Spécification de l'éprouvette

- Éprouvette est préparée en laboratoire ou extraite de la chaussée
- L'extrémité de l'éprouvette doit être plane et plan parallèle, ce qui est réalisable en sciant ses deux extrémités. Il est conseillé d'utiliser une scie de diamantée dotée de lames parallèles.
- Les extrémités doivent être parallèles et perpendiculaires à l'axe du cylindre (s'écarter de moins de 2° à 3° environ d'angle droit).
- Après le sciage/polissage, l'éprouvette doit être séchée à une température ne dépassant pas 25°C.
- Éprouvette en mélanges bitumineux avec $\varnothing_{\text{éprouvette}} = 100 \text{ mm}$ ou 150 mm
- Doit être de forme cylindrique avec la dimension :
 - i. Si la granulométrie maximale nominale $\leq 16 \text{ mm}$
 1. $\varnothing_{\text{éprouvette}} = 100 \text{ mm}$, $h_{\text{éprouvette}} = 60 \text{ mm}$
 2. $\varnothing_{\text{éprouvette}} = 100 \text{ mm}$, $h_{\text{éprouvette}} = 80 \text{ mm}$
 - ii. Si la granulométrie maximale nominale $> 16 \text{ mm}$
 1. $\varnothing_{\text{éprouvette}} = 150 \text{ mm}$, $h_{\text{éprouvette}} = 90 \text{ mm}$
 2. $\varnothing_{\text{éprouvette}} = 150 \text{ mm}$, $h_{\text{éprouvette}} = 120 \text{ mm}$

- iii. La hauteur de l'éprouvette ne doit pas varier de plus de 1,0 mm et le diamètre ne doit pas varier de plus de 2 mm.

Voir Annexe 4. L'esquisse d'éprouvette faite à partir de la norme NF EN 12697-25

2. Conditionnement

- **Température**

- i. L'éprouvette cylindrique est maintenue à une température de conditionnement élevée où l'exactitude de la régulation de température doit être $\leq \pm 1$ °C.
- ii. L'éprouvette doit être stockée à une température allant de 5 °C à 25 °C.
- iii. Les essais ne doivent pas démarrer avant 2 jours à compter du compactage en laboratoire ou sur la chaussée.

- **Chargement**

- i. L'éprouvette est soumise à une contrainte de confinement σ_c , à laquelle vient se superposer une contrainte axiale cyclique $\sigma_a(t)$.
- ii. La contrainte de confinement peut-être statique ou dynamique
- iii. Une contrainte sinusoïdale avec décalage d'origine $\sigma_a(t)$, d'une amplitude σ_v . La contrainte axiale totale qui en résulte, $\sigma_A(t)$ est comme suit :

$$(\sigma_a)_{totale} = \sigma_c + \sigma_a(t) = \sigma_c + \sigma_v \cdot (1 + \sin(2\pi \cdot f \cdot t))$$

Des périodes de repos peuvent être appliquées :

Où :

σ_c = la contrainte de confinement (tout au tour de l'éprouvette), en kPa.

$\sigma_a(t)$ = la contrainte axiale cyclique en fonction du temps, en kPa.

σ_v = l'amplitude de la contrainte sinusoïdale avec décalage d'origine, en kPa.

f = la fréquence (Hz)

t = le temps

- Les éprouvettes doivent être nettoyées, le cas échéant, par brossage ou par lavage, selon le cas.
- Les éprouvettes doivent être séchées à température ambiante jusqu'à la masse constante, à une humidité relative de l'air inférieure à 80 %.
- Pour réduire le frottement entre les pistons, il faut :
 - i. Mettre les faces d'extrémité soit lisses et planes.
 - ii. Mettre un système membrane-lubrifiant-membrane

3. Mode opératoire d'essai

- Éprouvette
 - i. Au moins deux éprouvettes
 - ii. Température d'essai entre 30 °C et 50 °C.
 - iii. Pré-charge aux éprouvettes
- Chargement
 - i. Pré-charge

L'éprouvette doit être à nouveau mise en pré-charge pendant 120 s au moyen d'une charge statique égale à $0,02(2\sigma_v + \sigma_c)$ dans le cas d'une mise en charge sinusoïdale avec décalage d'origine et $0,02(2\sigma_B + \sigma_c)$ dans le cas d'une mise en charge en créneau. Cette charge doit être appliquée progressivement et doucement.
 - ii. Chargement la contrainte de confinement après la mise en pré charge.

$\sigma_c = 50kPa$ à $200 kPa$
 - iii. Dans un délai de 10 s, appliquer la charge axiale cyclique
 1. Fréquence = 1 Hz à 5 Hz.
 2. L'amplitude de la contrainte sinusoïdale avec décalage d'origine

$\sigma_v = 100kPa$ à $300 kPa$
- Mesurage
 - i. Mesurer la variation de hauteur de l'éprouvette au fur et à mesure de l'essai à l'aide des capteurs de déplacement et d'un système d'acquisition de données. Au minimum, des relevés doivent être effectués toutes les 10

applications de charge (jusqu'à 100), toutes les 100 applications de charge (jusqu'à 1000), puis toutes les 500 applications de charge.

- ii. L'essai doit prendre fin après au moins 10 000 cycles de mise en charge. L'essai peut être arrêté plus tôt si la déformation est trop grande et qu'il existe endommagement de l'appareillage.

Pour voir le résumé en tableaux, voir Annexe 5. Présentation en tableaux la norme NF EN 12697-25 mélanges bitumineux (Méthode d'essai B)

III.1.2. Norme NF EN 13286-7 mélanges avec ou sans liant hydraulique, Partie 7 : Essai triaxial sous charge cyclique pour mélanges sans liant hydraulique

- Cet essai consiste à soumettre une éprouvette cylindrique de **matériau granulaire non traité (GNT)** à des chargements cycliques, simulant les contraintes existant dans une couche d'assise de chaussée et à mesurer les déformations axiales et radiales
- Cet essai nous permet de :
 - faire une étude de comportement réversible (module d'élasticité, paramètres des modèles élastiques non linéaires),
 - faire une étude des déformations permanentes et des chargements par paliers.
- Domaine d'application :
 - Permettre de déterminer le comportement réversible ou les déformations permanentes des mélanges non traités dans des conditions simulant les conditions d'état et les états de contrainte de ce matériau dans les couches de chaussées soumises à des charges roulantes.
 - Permettre de déterminer des propriétés mécaniques qui peuvent être utilisées pour classer les matériaux suivant leurs performances mécaniques, et pour effectuer des calculs de structures de chaussées.

Pour voir le résumé en tableaux, voir Annexe 6. Présentation en tableaux la norme NF EN 13286-7 mélanges avec ou sans liant hydraulique.

III. 2. Lecture du dossier technique de la cellule triaxial de type 656

Comme indiqué au début sur ce chapitre, il faut étudier ensemble de l'appareille de test triaxial de type 656. C'est un équipement destiné à faire des essais mécaniques des roches et du béton. Ce dossier technique nous permet de connaître des équipements de la machine d'essai à avoir pour que nous puissions savoir les besoins de CRM. À partir de dossier technique de MTS : « *MTS Rock and Concrete Mechanics Testing Systems* » (MTS, 2004 [12]), nous avons fait analyser tous les besoins.

À la base d'une étude de comportement mécanique des graves émulsions en utilisant triaxial fait par LCPC basé à Nantes, l'éprouvette de type graves émulsions a de la valeur de résistant qui rassemble à celle de l'éprouvette de types graves non traitées (HORNYCH, 2009 [1])

Tableau 3.1. Spécification générale de système d'appareillage de type 656.
Traduction de dossier technique.

Type	656.04	656.05	656.06
Pression de confinement maximum	80 MPa	140 MPa	140 MPa
Pression de pore maximum	80 MPa	140 MPa	140 MPa
Diamètre intérieur	190 mm	165 mm	190 mm
Hauteur maximale d'éprouvette	254 mm	152 mm	254 mm
Diamètre maximale d'éprouvette	102 mm	54 mm	102 mm
Température d'opération maximale	200°C	200°C	200°C
Température minimale	-23°C	ambiante	-23°C
Poids	750 kg	800 kg	1500 kg

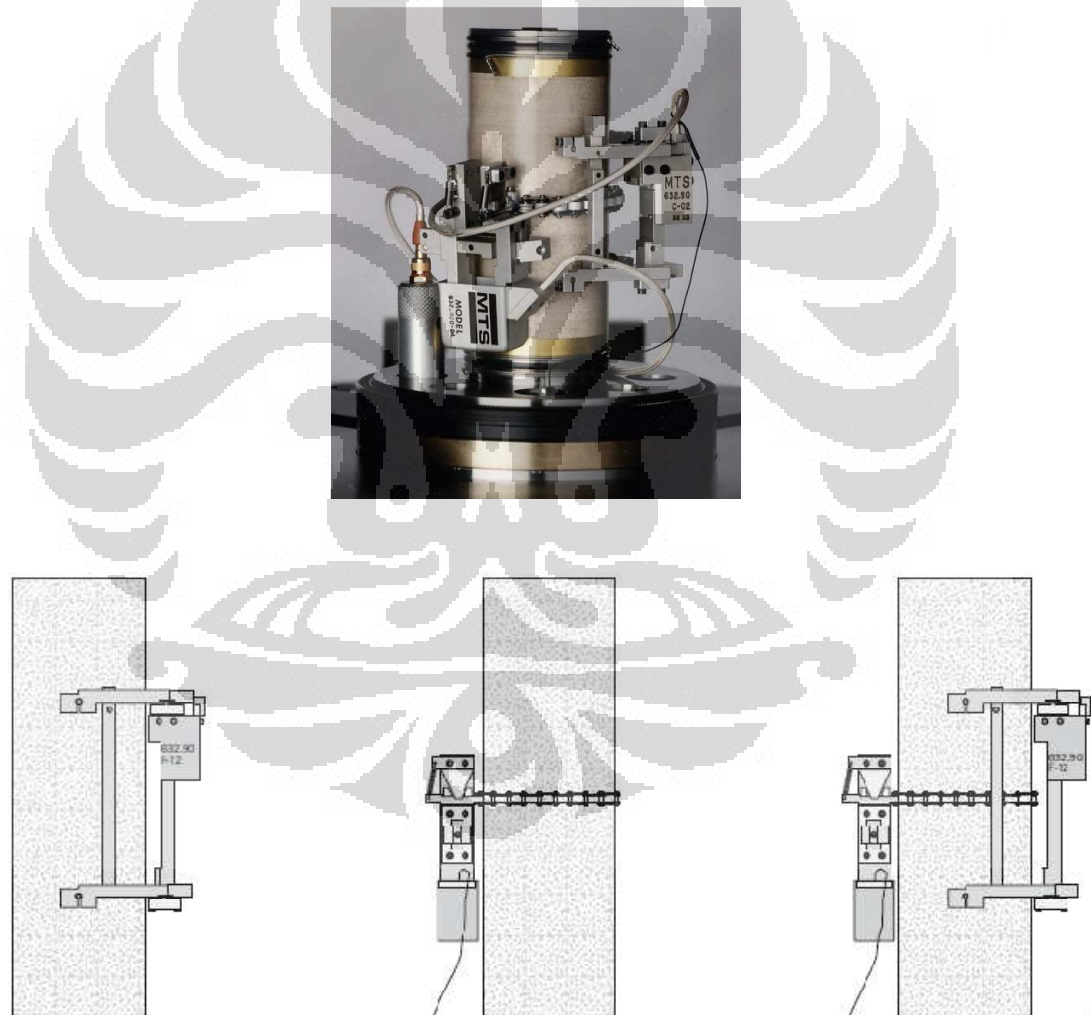
Source : MTS, 2004 [12]

En général, l'appareillage de type 656 a des spécifications en grande valeur qu'on peut voir dans le tableau 3.1 ci-dessus. La valeur maximale de la pression de confinement peut atteindre jusqu'à 80 MPa. Comme nous n'allons faire l'essai que sur des matériaux graves non traités, qui ont une résilience plus faible que celles du béton ou des roches, nous supposons que les caractéristiques de

l'appareil soit suffisants. Ensuite il faut étudier encore le dossier technique pour connaître des éléments ou des matériels à avoir.

III.2.1 Extensomètres

L'extensomètre est un instrument qui sert à mesurer les déformations produites dans un corps sous l'effet des contraintes mécanique. Selon le type de l'éprouvette, il y a de spécification importante, le système d'intégration d'asservissement, etc. La performance des extensomètres peut être améliorée en utilisant la membrane de type *Teflon* ou *Viton*.



Source : MTS, 2004 [12]

Figure 3.1. Positionnement les extensomètres sur l'éprouvette

1. Extensomètre axial (type 632.90)

Ce type d'extensomètre mesure la déformation sur la partie centrale de l'éprouvette. La partie centrale de l'éprouvette de type béton ou roche est toujours le point de départ de déformation, ou encore de la rupture.

2. Extensomètre circonférentiel (type 632.92)

Cet extensomètre a des chaînes à rouleaux en acier inoxydable qui permet d'avoir le résultat précis.

III.2.2. Logiciel : 793.62 (*Triaxial Rock Mechanics Software*)

Ce logiciel permet de contrôler l'ordinateur dans le cadre de calcul et système de pression de confinement. Un système de mesurage la déformation radiale et la déformation axiale (de capteur de déplacement qui s'appuie sur la partie milieu de l'éprouvette) sont disponibles sur le logiciel.

III. 3. Essai de pilotage

Afin de connaître le fonctionnement de tout l'équipement dans la cellule, le chargement, les capteurs, etc., nous avons fait les essais de pilotage. Ces essais se sont déroulés en plusieurs étapes pour connaître :

III.3.1. La démarche des capteurs de déplacement sans remplissage de l'huile

En touchant les deux capteurs, nous pouvons savoir le fonctionnement de ces équipements. Ils peuvent bouger jusqu'à 100 mm.

III.3.2. Le chargement cyclique du vérin.

Après avoir commandé depuis l'ordinateur une force axiale cyclique, nous pouvons voir le mouvement du vérin. Dépendant du type de pilotage, si nous choisissons le mode « *displacement* », la consigne donnée au vérin est de déplacer en quelque valeur.

A partir d'essai pilotage sur deux capteurs de déplacement et d'essai le chargement cyclique, voici le schéma de mesure de déplacement axial et de mesure de la force exercée dans la cellule.

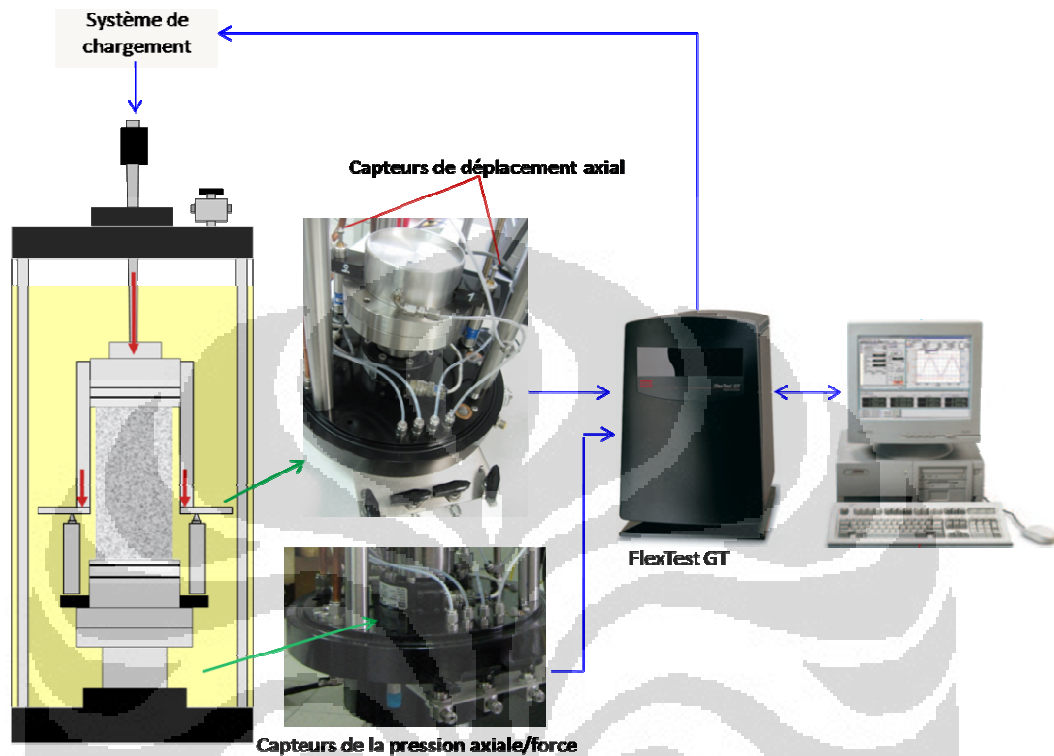


Figure 3.2. Schéma de mesurage de déplacement axial et la pression axiale.

L'opérateur peut donner les commandes de chargement cyclique par vérin (*la consigne*) depuis un ordinateur qui va les donner à FlexTest GT. Ensuite, le FTGT va commander le système de chargement. La force est exercée et se propage à l'embase, à l'éprouvette, à l'embase inférieure et en fin au capteur de force. Les adaptateurs de capteur LVDT se bougent à cause de changement de l'éprouvette. Ce mouvement donne la valeur de déplacement axial total de l'éprouvette. La consigne qui est arrivé au capter de force, sera comparée au retour capteur (*mesure*). La différence entre la consigne et le mesure s'appelle *erreur*. En suite, le FTGT (contrôleur) génère une commande de servovalve en fonction de l'erreur et du PID.

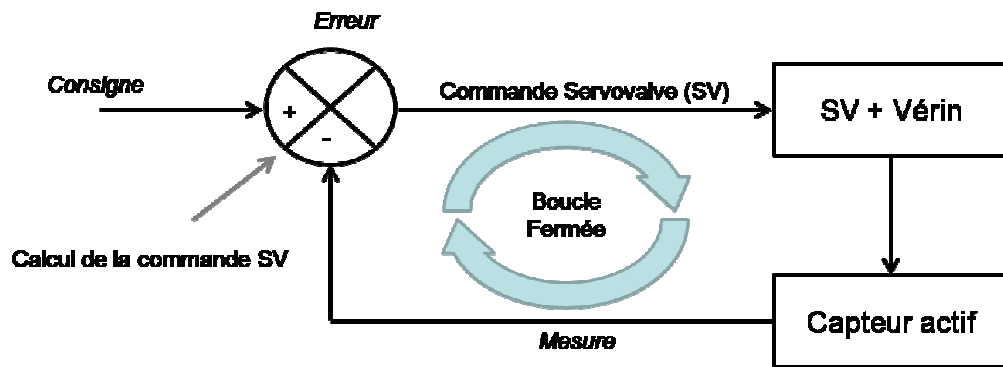


Figure 3.312. Schéma de la commande en boucle fermée du chargement et de la mesure des capteurs.

Un système de contrôle en boucle fermé s'applique pour le fonctionnement de chargement. Une commande va être transmise au groupe hydraulique que l'on peut voir dans l'image 2.5. En suite, la servovalve va bouger le vérin de chargement et la mesure de capteur (retour) va être transmise au FTGT. En suite cet outil va générer une commande de servovalve en fonction de l'erreur et du PID. Il y a donc un boucle entre le FTGT, la servovalve et les capteurs.

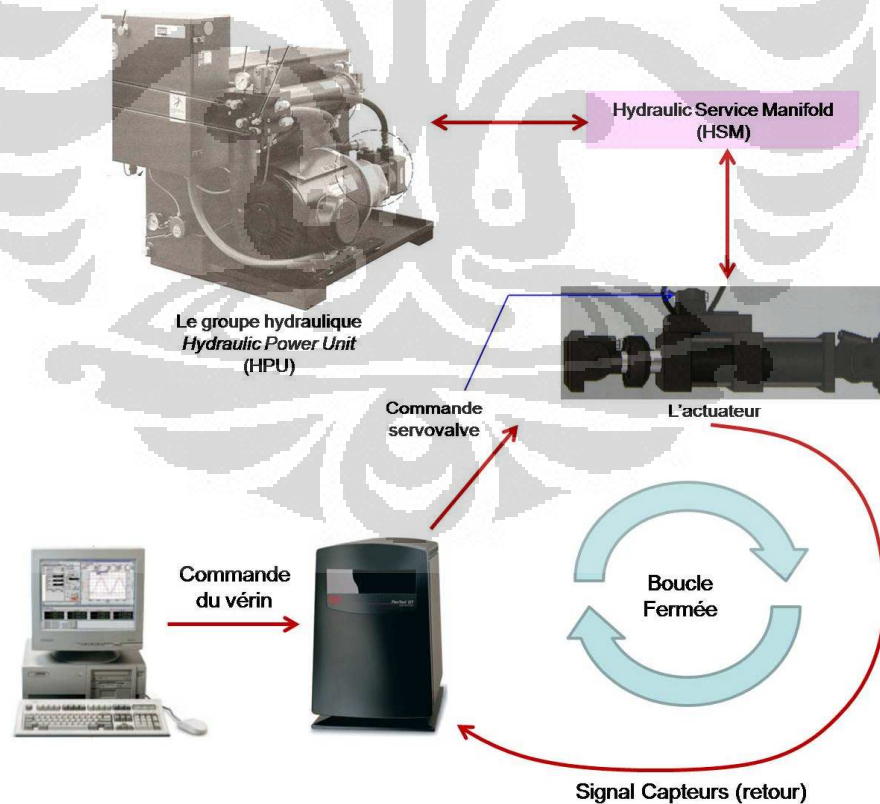


Figure 3.4. Schéma de la commande du système de chargement.

III.3.3. Le chargement de la pression d'air, l'étanchéité de cellule, sans remplir de l'huile

Afin d'atteindre la bonne condition d'étanchéité de la cellule, il faut bien serrer tous les éléments qui se relient à la cellule. Alimentation de l'air comprimé peut nous aider de vérifier l'étanchéité de la cellule. Comme indiqué dans l'image 3.5 ci-dessous, il faut bien serrer tout le joint de tuyau pour qu'il n'y ait pas de fuite.

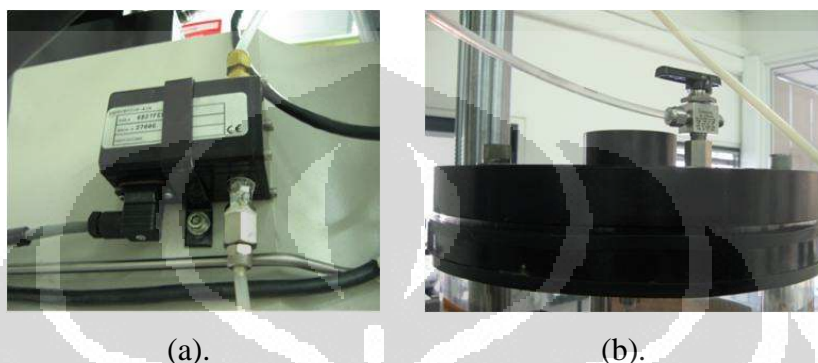


Figure 3.5. Système de chargement de la pression comprimée.
(a). électrovanne. (b). Entrée air comprimée sur plaque supérieure amovible.

Nous pouvons connaître la pression d'air (qui sera la pression de confinement dans l'huile de silicone) en regardant la valeur donnée de capteur sur la plaque de base dans la cellule. L'étanchéité de la cellule peut être contrôlée en regardant la valeur de la pression d'air sur l'écran d'ordinateur. Si nous fermons la vanne d'alimentation air comprimée sur la plaque supérieure amovible comme indiquée dans l'image, il n'y aura pas de gaz qui va entrer dans la cellule. Si la mesure de la pression air indiquée à l'écran d'ordinateur change de manière significative, nous avons alors un problème d'étanchéité dans la cellule, il faut donc revérifier tous les joints.

III.3.4. Le remplissage de l'huile et la pression d'air

L'air de pression statique 7 bars est comprimé à la cellule. Nous pouvons voir la pression mesurée dans l'huile en utilisant le capteur de la pression sur la plaque de base dans la cellule (l'essai est fait comme expliqué dans la partie III.3.3.).

Le schéma de mesure de la pression de confinement (figure 3.6 ci-dessous) nous indique que l'air comprimé est appliquée dans la cellule pour comprimer le liquide de confinement.

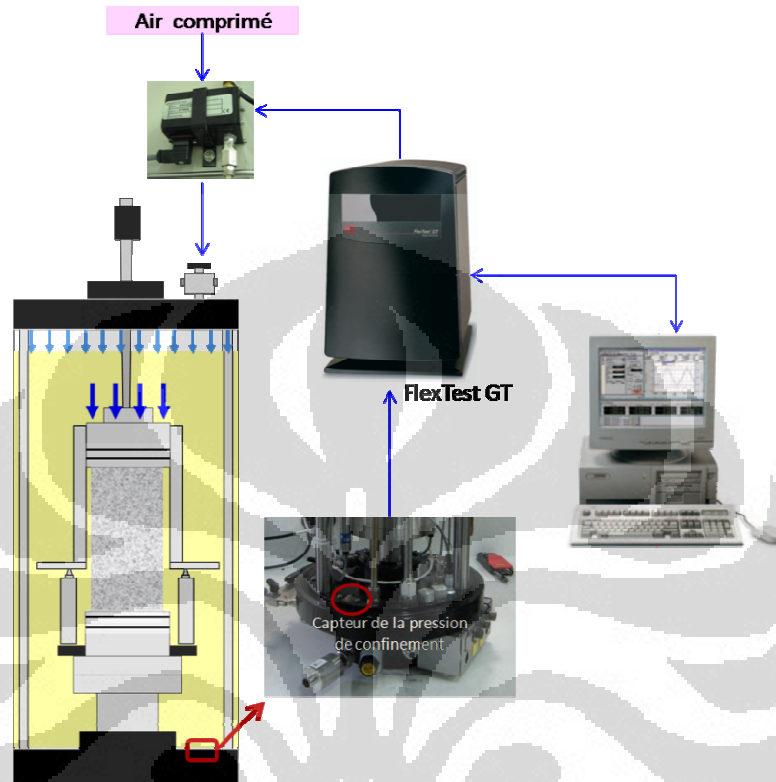


Figure 3.6. Système de mesure de la pression de confinement.

Un capteur sur la base de la cellule va mesurer la valeur de la pression dans l'huile. Le FTGT contrôle l'électrovanne pour régler la pression d'air appliquée. Pour des raisons de sécurité, la pression de confinement maximale appliquée est de 150 Psi (1 MPa). La pression d'air comprimé qui est donnée sur la partie de l'air (au dessus de l'huile de silicone, dans la cellule triaxiale) permet d'éviter le phénomène de dilatation de cette huile.

III.3.5. Le conditionnement de la température dans la cellule, sans utiliser le gaz d'azote et sans remplir de l'huile

L'outil pour échauffer la cellule est comme un cylindre de hauteur 30 cm et de diamètre environ 9 mm en acier (la résistance chauffante). L'outil pour refroidir est un système de refroidissement liquide nitrogène avec le tuyau en cuivre. Les

capteurs de température sont deux thermocouples, un d'entre eux est utilisé pour mesurer la température dans le liquide de confinement, l'autre est utilisé pour sécuriser le processus d'échauffement.

Nous avons testé le système d'échauffement et son capteur. Nous avons commandé depuis l'ordinateur la température dont nous avons besoin. Le système va s'échauffer et se refroidir automatiquement. Lorsque la température dans la cellule est plus froide que la température de consigne, l'outil d'échauffement va s'échauffer et va donner la chaleur au liquide de confinement, en même temps, la LED¹² L1 s'allume. Dans le cas contraire où la température de consigne est plus froide que la température actuelle, le robinet du gaz nitrogène va s'ouvrir et va refroidir le liquide, en même temps la LED L2 s'allume. Le système marche jusqu'à la consigne atteinte.

III.3.6. L'utilisation du gaz d'azote.

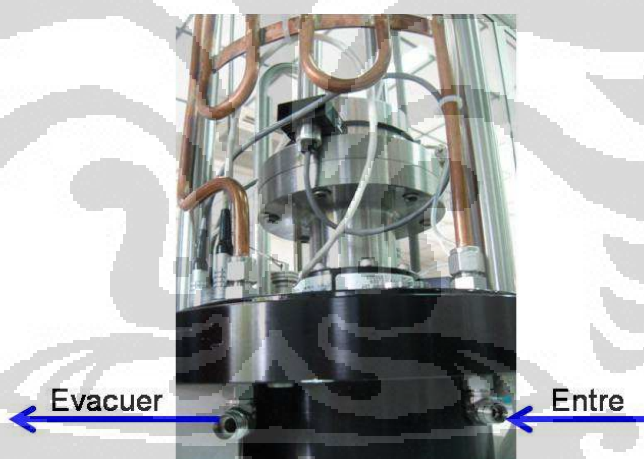


Figure 3.713. Ecoulement du gaz d'azote dans le tuyau en cuivre.

Le système d'écoulement du gaz d'azote a besoin d'un tuyau d'entrée et d'un système d'évacuation. Un système d'évacuation doit être assuré l'écoulement du gaz d'azote pour qu'il n'y ait pas de problème de concentration d'oxygène dans le laboratoire.

¹² *Light-Emitting Diode*

Les données qui viennent de l'ordinateur sont contrôlées par le FTGT. Ensuite le FTGT donne les commandes au boîtier de puissance (coffret de puissance). Le boîtier de puissance va commander la résistance chauffante pour s'échauffer (échauffer le liquide de confinement). Puis l'un de deux thermocouples va mesurer la température dans l'huile de silicone. Il donne l'information de température au FTGT. Si la température n'est pas encore atteinte, le processus d'échauffement sera toujours appliqué. Le deuxième thermocouple (sécurité) se fonctionne pour assurer l'échauffement dans la cellule soit dans l'écart réglé, notamment avec utilisation de l'huile de silicone avec point d'ébullition 149 °C. Une autre chose, la valeur de coefficient de dilatation de l'huile de silicone est assez grande. Pour le conditionnement en température 30 °C pendant l'essai préliminaire, l'huile s'est dilatée jusqu'à 307 cm³ (diamètre intérieure de la cellule = 28 cm et dilatation de l'huile 5 mm). Dans le boîtier de puissance, nous pouvons régler l'écart de température du liquide de confinement.

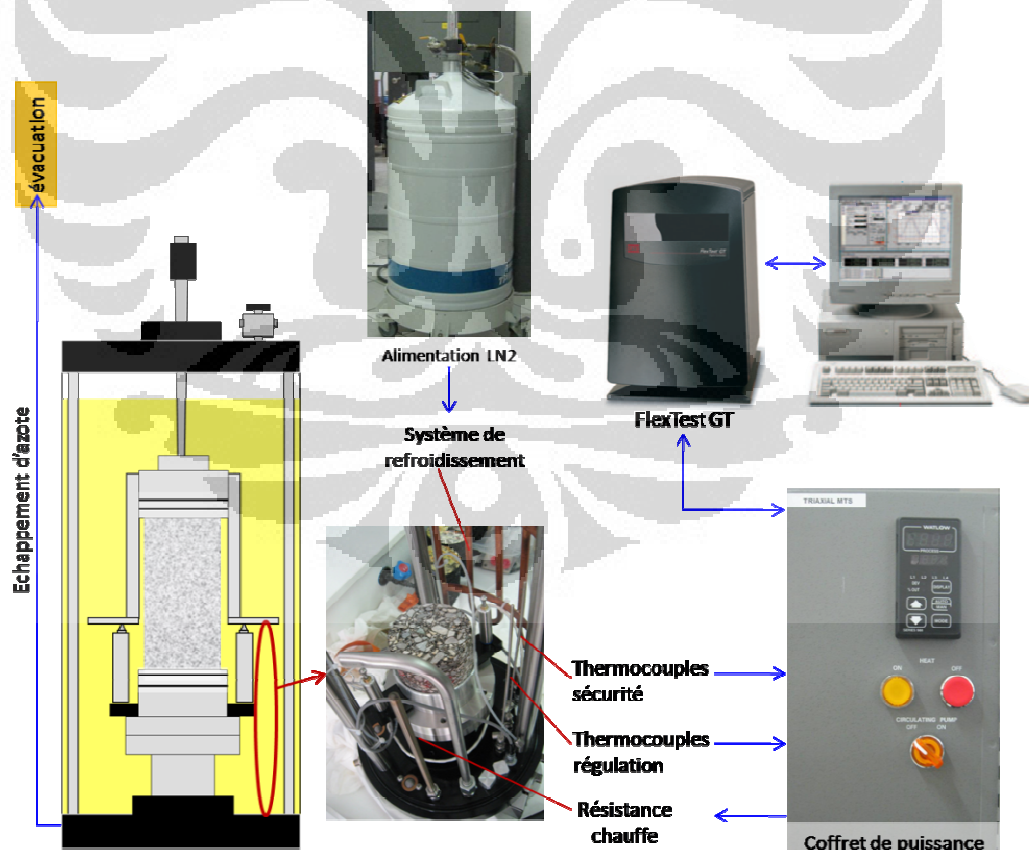


Figure 3.814. Schéma du système de conditionnement de température.

III.3.7. Le remplissage du liquide de confinement

Le remplissage de l'huile de silicone se fait par une pompe. Sur la figure 3.9 ci-dessous, les lignes bleues décrivent le processus du remplissage de l'huile. Les lignes rouges décrivent la vidange de l'huile. Ensuite, l'huile s'écoule dans la cellule. Nous avons trouvé des mousses à cause de phénomène de turbulence. Nous n'avons rempli l'huile que jusqu'à 5 cm de hauteur. Les lignes vertes sur l'image 3.9 ci-dessous décrivent le procédé de circulation de l'huile pour bien mélanger la chaleur et le froid.



Figure 3.915. Schéma de remplissage du liquide de confinement.

(a). Remplissage-vidange de l'huile de silicone. (b). Circulation de l'huile de silicone pour mélanger la chaleur et le froid dans la cellule.

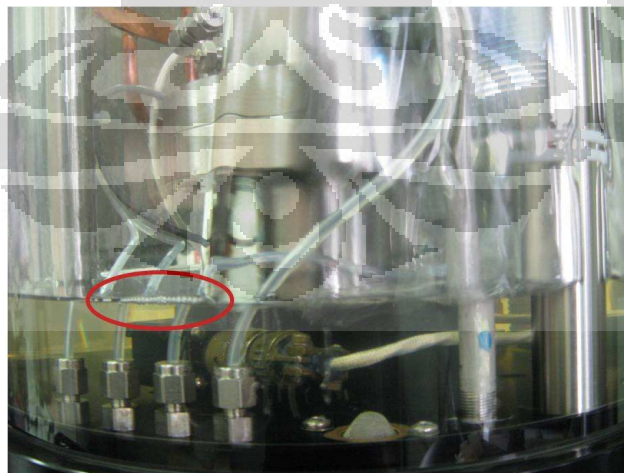


Figure 3.10. Les mousses qui se produisent pendant le remplissage de l'huile

III.3.8. L'étanchéité du système de l'embase, le joint torique, la membrane, le système membrane-lubrifiant-membrane.

Nous avons trempé un ensemble (voir la figure 3.11 ci-dessous) qui est constitué de l'embase, du joint torique, de la membrane, du système membrane-lubrifiant-membrane dans l'eau. Pour le système membrane-lubrifiant-membrane, nous utilisons le lubrifiant de type graisse silicone. Après 24 heures, nous avons trouvé de l'huile dans l'eau. Les gouttes d'huile qui viennent de l'embase se sont déposées sur la base de seau en aluminium.

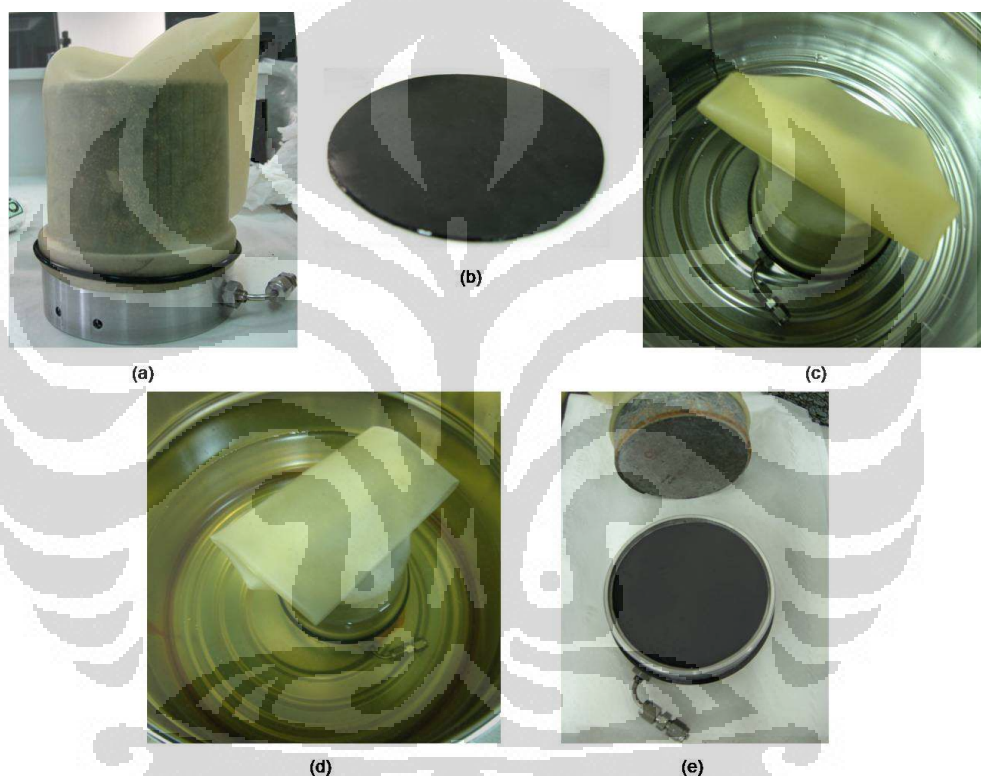


Figure 3.1116. Ensemble de matériel pour observer l'étanchéité.

(a). Ensemble de l'embase, joint torique, membrane-lubrifiant-membrane et membrane en latex. (b). Système membrane-lubrifiant-membrane avec type de lubrifiant : graisse silicone. (c). Début de trempage dans l'eau. (d). Fin de trempage dans l'eau (après 24 heures). (e). Système est étanche. Il y a de partie de la graisse silicone qui est sortie du système membrane-lubrifiant-membrane (après 24 heures).

Cette condition nous indique que la valeur de densité est plus ou moins égale à celle de l'eau (dossier technique de MTS nous informe que la densité est de $0,94 \text{ gram/cm}^3$). Après avoir fait inspection dans l'ensemble de l'embase, le joint

torique, le système membrane-lubrifiant-membrane, et la membrane en latex, nous avons constaté qu'il n'y ait pas de problème d'étanchéité. Il y a eu de la graisse silicone sur l'embase, elle est sortie de la capote à cause du poids de l'éprouvette.

III. 4. Conclusion les besoins aux matériels

III.4.1. Certain nombre de problèmes

Après avoir fait l'essai de pilotage, nous avons été confrontés à un certain nombre de problèmes :

1. Gouttes d'huile (problème d'étanchéité au niveau de joint du capteur de pression). Sur la figure 3.12 ci-dessous, nous avons trouvé des gouttes d'huile de confinement qui viennent de joint de capteur de la pression de confinement. La partie marquée en rouge nous montre le joint où l'huile s'écoule. Il faut serer ce joint et utiliser du téflon pour le rendre étanche.

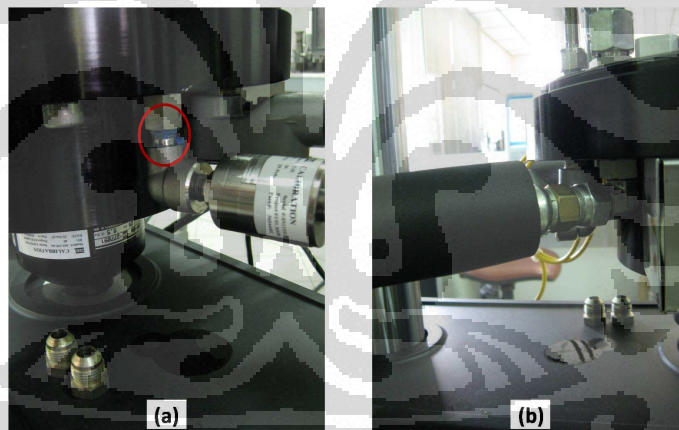


Figure 3.12. Gouttes de l'huile de confinement après essai de pilotage.
(a). vue de face. (b). vue de l'arrière.



Figure 3.13. Solution pour le problème de l'étanchéité.

2. Vidange de l'huile prend beaucoup de temps



Figure 3.1417. Problème de vidange de l'huile de confinement : orifice de drainage de l'huile avec filtre.

Dans la figure 3.14 ci-dessus, nous pouvons voir qu'à cause du système de vidange comme indiqué, l'huile de confinement va rester dans la cellule. Il prend donc beaucoup de temps pour drainer. Nous avons trouvé un autre orifice. Il s'agit donc pour nous de le remplir un tuyau pour faciliter le vidange de l'huile.

3. La dimension de l'éprouvette :

3.1. À partir de la norme NF EN 12697-25 MELANGES BITUMINEUX (Méthode d'essai B)

La norme donne les dimensions minimales de l'éprouvette que sont les suivantes :

Tableau 3.2. Dimensions minimales de l'éprouvette.

Granulométrie maximale nominale	Diamètre minimal	Hauteur minimale	Rapport Hauteur/Diamètre
≤ 16 mm	50 mm	50 mm	0,6
> 16 mm	75 mm	75 mm	0,8

Avec hauteur de l'éprouvette ne doit pas varier de plus de 1 mm et le diamètre ne doit pas varier de plus de 2 mm.

3.2. À partir de dossier « *Pavement Testing Solutions* » (MTS, 2005 [11]): Cette machine est utilisée pour des éprouvettes de diamètre de 38 mm jusqu'à 150 mm. Le rapport de hauteur et diamètre est 2:1. Si nous respectons aux critères expliqués dans la norme, le vérin de chargement n'arrive pas à appuyer l'éprouvette.

Pour ce problème, nous avons regardé une étude d'essai triaxial faite chez LCPC Nantes (HORNYCH, 2009 [18]). Les chercheurs ont utilisé les éprouvettes de dimension de 100 mm de diamètre et de 200 mm de hauteur. Dans la norme, on utilise des éprouvettes de rapport hauteur/diamètre 0,6 afin de faciliter les essais sur des carottes extraites de la chaussée. Comme la machine est réglée pour des éprouvettes de hauteur 200 mm, nous ne respectons donc pas cette condition. Nous avons fait déroger.



Figure 3.1518. Le vérin n'arrive pas à appuyer l'éprouvette.

III.4.2. Essai triaxial pour l'éprouvette en mélanges bitumineux

Besoin : capotes (un système membrane-lubrifiant-membrane pour recouvrir les zones plan-parallèles de l'éprouvette). Ce système permet à l'éprouvette de se déplacer sous l'effet de certaine contrainte.

III.4.3. Essai triaxial pour l'éprouvette de matériau granulaire non traité et graves émulsions.

Pour effectuer les essais triaxiaux, nous avons besoin de plusieurs éléments :

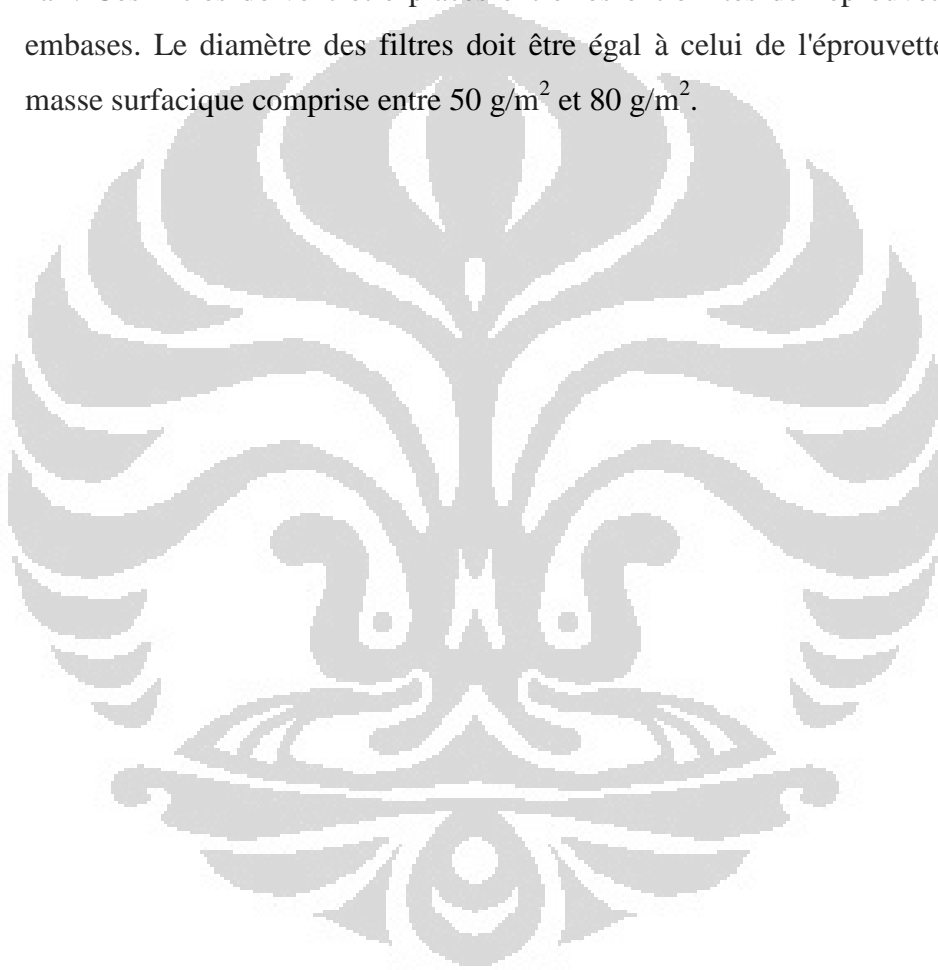
- Les extensomètres de type 632.92 (capteur de déplacement radial, plus précis capteur de circonférence) et extensomètres de type 632.90 (capteur de déplacement axial mis au milieu de l'éprouvette).
 - Nous avons besoin au moins deux capteurs de déplacement axial et un capteur de déplacement radial. Les deux capteurs axiaux se situent 180° l'un de l'autre. Le capteur circonférence (radial) se situera de l'autre côté de l'éprouvette (voir Annexe 7. Essai Graves Non Traitées partie A).
- L'embase appropriée pour l'éprouvette de diamètre Ø embases de 160 mm.
- La membrane de diamètre Ø 152 mm (pour l'éprouvette de diamètre Ø éprouvette de 160 mm) et membrane de diamètre 95 mm (pour l'éprouvette de diamètre de 100 mm) avec des trous appropriés pour mettre les vis. Il faut savoir si les membranes ce qu'on a, sont appropriés aux : *heat-shrink Teflon* ou *Viton jackets*.
- Pour fabriquer les éprouvettes :
 - Les vis, les rondelles, les plots appropriés (voir Annexe 7. Essai Graves Non Traitées partie B).
 - Le moule pour l'éprouvette avec des trous appropriés pour mettre les vis (voir Annexe 7. Essai Graves Non Traitées partie C).
- Le système d'asservissement approprié.
- Le logiciel approprié
- Les disques poreux (au moins deux).

Les éprouvettes doivent être séparées des embases par des disques poreux rigides, d'un diamètre égal ou légèrement inférieur à celui de l'éprouvette. Les

disques doivent être vérifiés régulièrement en faisant circuler de l'air ou de l'eau sous pression à travers eux afin de déterminer s'ils ne sont pas colmatés.

- Les filtres semi-perméables (au moins deux).

Pour réaliser des essais à teneur en eau constante, et avec des conditions d'humidité ou de succion contrôlées, il est nécessaire d'utiliser des filtres semi-perméables, qui ont la propriété d'être imperméables à l'eau et perméables à l'air. Ces filtres doivent être placés entre les extrémités de l'éprouvette et les embases. Le diamètre des filtres doit être égal à celui de l'éprouvette et leur masse surfacique comprise entre 50 g/m^2 et 80 g/m^2 .



CHAPITRE IV

ESSAI PRELIMINAIRE

Nous avons fait les essais préliminaires afin de savoir la démarche et le fonctionnement de la machine. Les essais étaient faits en adaptant avec les conditions de la machine triaxiale au CRM.

IV.1. Essai préliminaire : mélanges à chaud

IV.1.1. Eprouvette

Une plaque d'enrobé était faite au laboratoire à partir de la norme française NF EN 12697-33 : Confection d'éprouvettes au compacteur de plaque. Nous avons carotté cette plaque en dimension de diamètre 95 mm et de hauteur 200 mm.



Figure 4.119. Photo de l'éprouvette de dimension 95 : 200 mm.

IV.1.2. Déroulement d'essai

Nous avons fait quatre fois l'essai sur la même éprouvette de type mélanges bitumineux. Le premier essai était fait pour savoir le remplissage de l'huile jusqu'à la hauteur maximale de niveau de remplissage d'huile. Nous avons appliqué le chargement axial et la pression de confinement. Après quatre heures d'essai, nous avons trouvé un problème de fuite. Nous avons donc vidé la cellule et essayé de trouver la solution pour résoudre ce problème. Ensuite nous avons fait le deuxième essai sur la même éprouvette avec le chargement cyclique comme décrit dans la norme. Nous n'avons fait que pour 5000 cycles avec la valeur de fréquence 3 Hertz. Le troisième essai était fait pour 10 000 cycles avec la fréquence 3 hertz. A la fin, nous avons fait le dernier essai pour 100 000 cycles

avec la fréquence de 5 Hertz. Le dernier essai nous a donné des données de 200 000 segments (dans un cycle il y a deux segments). Nous avons analysé des données. Les informations qui sont décrites ci-dessous sont tous les données et les étapes pour appliquer le dernier essai

IV.1.2.1. Montage

Dans l'image 40 ci-dessus nous pouvons voir le montage d'essai. Afin d'adapter à la condition de matériels de l'essai, nous avons fait une éprouvette de dimension 95 :200 mm. Il faut deux adaptateurs en acier pour appuyer bien les capteurs de déplacement axial. Deux joints toriques sont nécessaires pour assurer l'étanchéité du système des embases, d'éprouvette et de membrane.

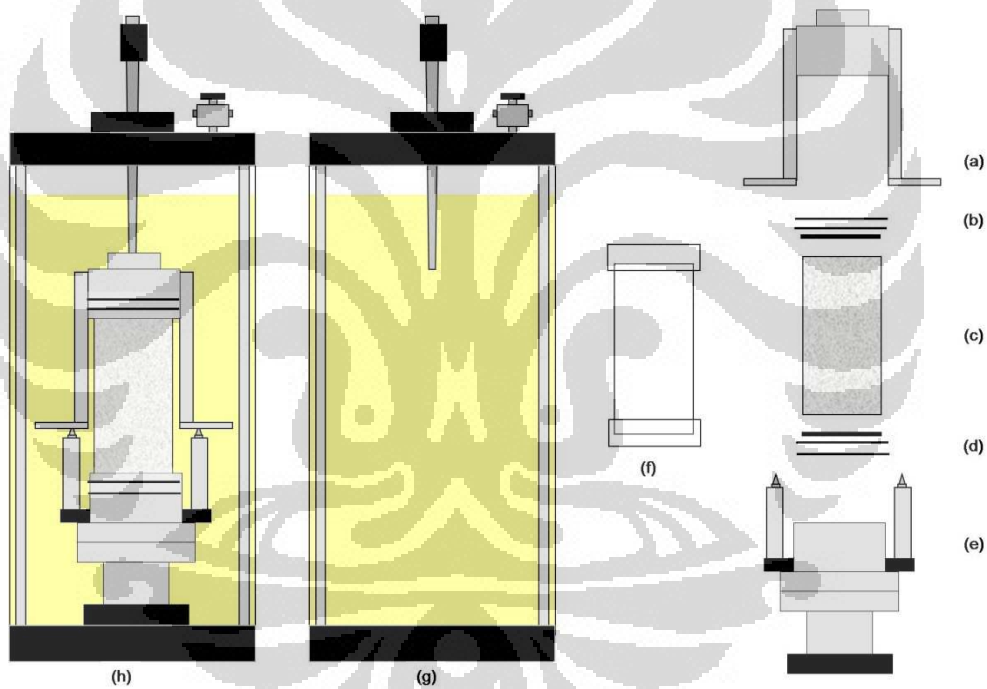


Figure 4.220. Montage de la cellule triaxiale.

(a). L'embase supérieure avec les matériels pour adapter le système de mesure sur capteur de déplacement axial. (b) et (d). Deux joints toriques et un système membrane-lubrifiant-membrane. (c). l'éprouvette de dimension 100 :200 mm. (e). Système de l'embase inférieure avec deux capteurs de déplacement axial total. (f). Membrane en latex. (g). Cellule triaxiale avec liquide de confinement (l'huile de silicone). (h). Système de montage pour essai triaxial.

Pendant le montage de tous les matériels, il faut faire étape par étape comme décrit ci-dessous :

- Mettre le système membrane-lubrifiant-membrane sur l'embase inférieure.
- Couvrir l'éprouvette avec la membrane en latex. Il faut mettre l'éprouvette au milieu de la hauteur de membrane. Plier la partie base et haute de la membrane, mettre les joints toriques autour de la partie base.
- Monter l'éprouvette sur l'embase inférieure. Ajuster la position de membrane en latex et aussi la position des joints toriques. Il faut mettre bien les deux joints toriques pour qu'ils ne puissent pas se glisser sur l'embase.
- Mettre le deuxième système membrane-lubrifiant-membrane au dessous de l'éprouvette. Après, mettre l'embase supérieure. Ajuster la position de membrane et les deux joints toriques sur l'embase.
- Mettre le tube en acrylique bien serré sur la plaque de base. Ensuite installer la plaque supérieure amovible et régler bien le tuyau d'alimentation d'air comprimé.
- Pour nous assurer l'étanchéité de cellule, il faut donner la pression d'air, et assurer qu'il n'y a pas de perte de la pression d'air en utilisant le capteur de la pression d'air. S'il y a une perte significative de la pression, il faut bien assurer tous les joints et l'installation de la plaque supérieure amovible.
- Assurer le vérin bien placé dans l'actuateur.
- Remplir l'huile de silicone dans la cellule. Laisser le robinet sur la plaque supérieure ouvrir.
- Régler la température de la condition d'essai.
- Donner la pression de confinement.
- Appliquer la charge cyclique du vérin.

IV.1.2.2. Chargement

Le chargement fait conformément à la norme NF EN 12697-25. L'essai consiste à déterminer la résistance à la déformation permanente d'une éprouvette cylindrique de mélange bitumineux. Une éprouvette cylindrique est maintenue à une température de conditionnement élevée, est placé entre deux pistons de

chargement parallèles et plans. L'éprouvette est soumise à une contrainte de confinement, σ_c , à laquelle une contrainte axiale cyclique $\sigma_a(t)$ vient de superposer.

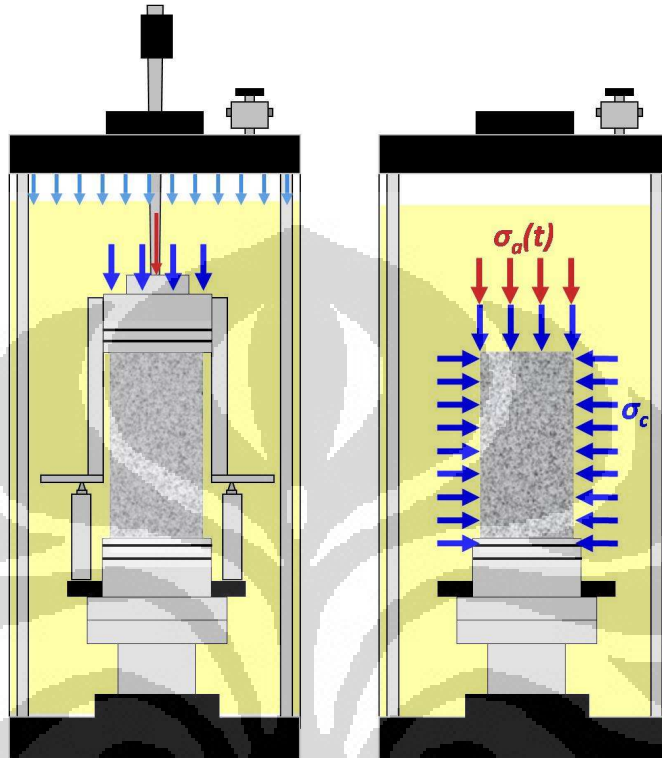


Figure 4.3. Esquisse du principe de chargement.

Une contrainte sinusoïdale avec décalage d'origine $\sigma_a(t)$, d'une amplitude σ_v . La contrainte axiale totale qui en résulte, $\sigma_A(t)$ est comme suit :

$$(\sigma_a)_{totale} = \sigma_c + \sigma_a(t) = \sigma_c + \sigma_v \cdot (1 + \sin(2\pi \cdot f \cdot t))$$

Des périodes de repos peuvent être appliquées :

Où :

σ_c = la contrainte de confinement (tout au tour de l'éprouvette), en kPa.

$\sigma_a(t)$ = la contrainte axiale cyclique en fonction du temps, en kPa.

σ_v = l'amplitude de la contrainte sinusoïdale avec décalage d'origine, en kPa.

f = la fréquence (Hertz)

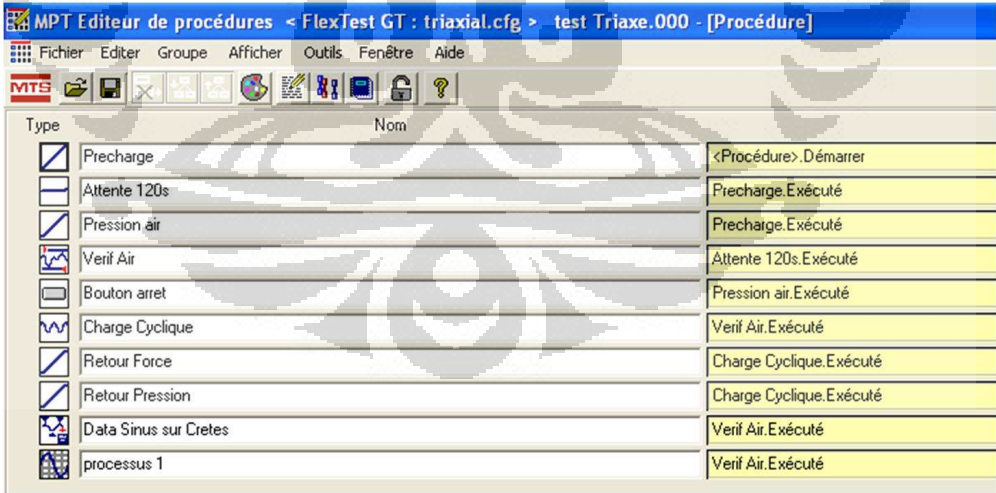
t = le temps

L'étape de chargement doit être faite comme ci-dessous :

- a. Pré charge pendant 120 s au moyen d'une charge statique égale à $0,02(2\sigma_v + \sigma_c)$ dans le cas d'une mise en charge sinusoïdale. Cette charge doit être appliquée progressivement et doucement.
- b. Chargement la contrainte de confinement $\sigma_c = 50kPa$ à $200kPa$

Dans un délai de 10 s, appliquer la charge axiale cyclique en fréquence = 1 Hz à 5 Hz avec l'amplitude de la contrainte sinusoïdale avec décalage d'origine $\sigma_v = 100kPa$ à $300kPa$

Nous avons donné le chargement sur l'éprouvette comme indiqué dans l'image impression écran ci-dessous. Le logiciel MPT à été utilisé pour régler la procédure de l'essai. La figure 4.4 ci-dessous nous montre les étapes de chargement dans la fenêtre de l'éditeur de MPT.



Type	Nom	Statut
<input checked="" type="checkbox"/>	Precharge	<Procédure>.Démarrer
<input type="checkbox"/>	Attente 120s	Precharge.Exécuté
<input checked="" type="checkbox"/>	Pression air	Precharge.Exécuté
<input checked="" type="checkbox"/>	Verif Air	Attente 120s.Exécuté
<input type="checkbox"/>	Bouton arret	Pression air.Exécuté
<input checked="" type="checkbox"/>	Charge Cyclique	Verif Air.Exécuté
<input checked="" type="checkbox"/>	Retour Force	Charge Cyclique.Exécuté
<input checked="" type="checkbox"/>	Retour Pression	Charge Cyclique.Exécuté
<input checked="" type="checkbox"/>	Data Sinus sur Cretes	Verif Air.Exécuté
<input checked="" type="checkbox"/>	processus 1	Verif Air.Exécuté

Figure 4.421. Impression d'écran de déroulement de chargement.

Nous avons commencé l'essai préliminaire avec un pré charge de 71 N pendant deux minutes. En même temps le pré charge a été commencé, nous avons commandé la pression d'air dans la cellule. Nous avons appliqué une contrainte

de confinement de $\sigma_c = 100\text{kPa}$. Il faut d'abord vérifier la pression de l'air dans la cellule atteint la commande. De suite, appliquer le chargement axial cyclique. Comme nous voulons faire l'essai avec contrainte sinusoïdale, un décalage d'origine $\sigma_v = 200\text{kPa}$ avec une valeur de fréquence 5 Hertz ont été choisis. Un bouton d'arrêt est fait pour sécurité. Afin de faire la manipulation, il faut donner les valeurs de chargements en newton. La valeur de contrainte de confinement et la valeur de décalage d'origine doivent être multipliées par la valeur d'aire de surface de l'éprouvette.

Dans la figure 4.5 ci-dessous, nous voyons la représentation des contraintes exercées pendant la manipulation comme expliqué ci-dessus.

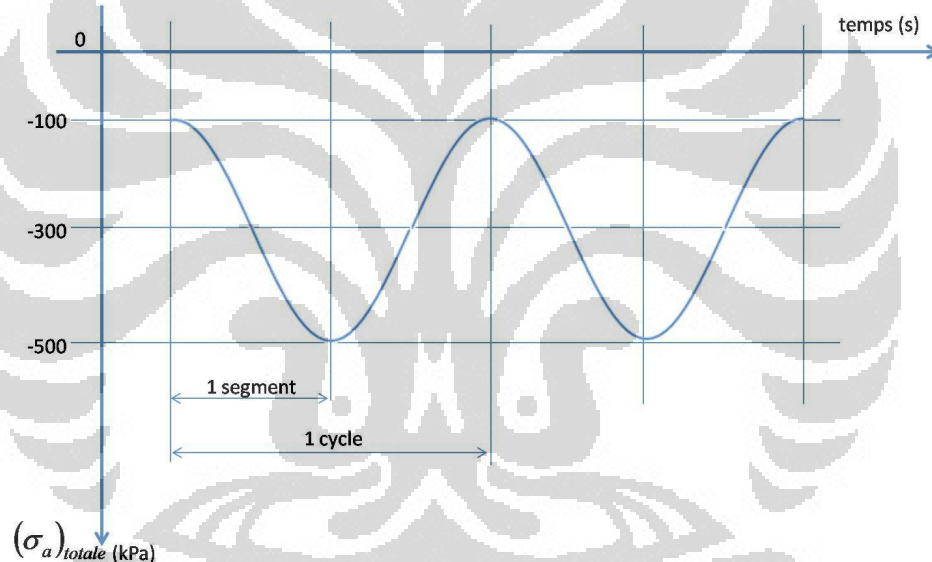


Figure 4.5. Représentation des contraintes exercées en mises en charge cyclique sinusoïdal avec décalage d'origine 200 kPa.

IV.1.2.3. Mesure

La figure 4.4 indique que nous avons commandé l'acquisition de la crête/valle (le nom est Data Sinus sur Crêtes et l'affichage des données (processus 1). La mesure de déplacement axial est faite sur chaque segment. Le résultat complet d'essai nous donne les valeurs chaque condition de chargement, c'est-à-dire pendant la prise au niveau maximal et minimal du signal. Il faut éliminer les valeurs prises au niveau maximal du signal. Ensuite, au minimum des relevés doivent être effectués

toutes les 10 applications de charge (jusqu'à 100), toutes les 100 applications de charge (jusqu'à 1 000), toutes les 500 applications de charge. L'essai doit prendre fin après au moins 10 000 cycles. Pour cet essai nous avons pris jusqu'à 100 000 cycles.

IV.1.2.4. Démontage

Après avoir fait l'essai triaxial, nous avons démonté l'ensemble d'appareil. L'étape importante pour démonter la cellule est décrite ci-dessous :

- Assurer que le vérin ne donne plus le chargement axial sur l'éprouvette, l'essai est fini, il n'y a plus de chargement, d'échauffement.
- Monter le vérin de chargement axial cyclique pour qu'il ne touche plus l'embase supérieure.
- Commander depuis l'ordinateur pour baisser la pression de confinement (la pression d'air comprimé). Nous pouvons ouvrir doucement la vanne sur la plaque supérieure amovible pour faire facilement vidange de la pression.
- Vider l'huile de silicone de la cellule de triaxiale. Il faut faire attention pour la température de l'huile.

IV.1.3. Problèmes

Nous avons trouvé des problèmes après avoir fait l'essai préliminaire de triaxiale :

1. Le capteur de niveau de remplissage de l'huile n'a pas marché.

Après avoir ouvert et vérifié le boîtier de puissance, nous avons trouvé qu'il y a une diode qui ne marche plus.

En moment où le niveau touche le capteur, la résistance chauffante dans la cellule triaxiale sera permise d'échauffer le liquide de confinement. Ce système ne va pas couper la pompe de remplissage de l'huile automatiquement. Il faut couper la pompe manuellement.

A partir d'essai pilotage remplissage d'huile, conditionnement de température et le problème de niveau de l'huile pendant l'essai préliminaire, nous pouvons faire un schéma du système de remplissage du liquide de confinement.

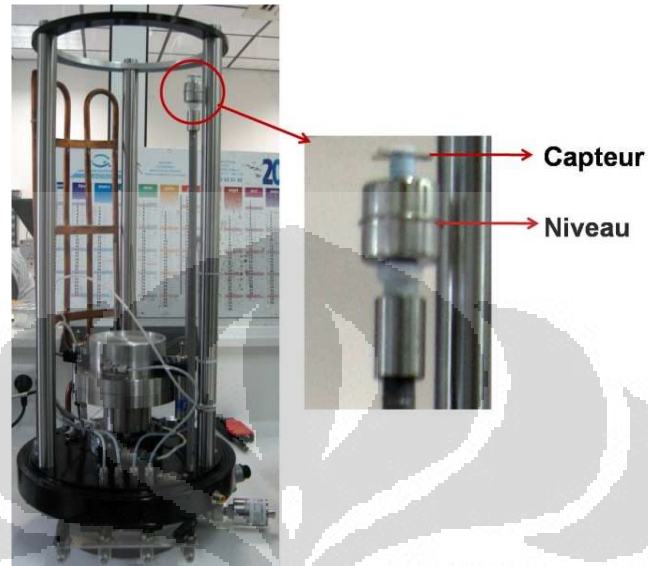


Figure 4.6. Niveau de sécurité de remplissage du liquide de confinement.

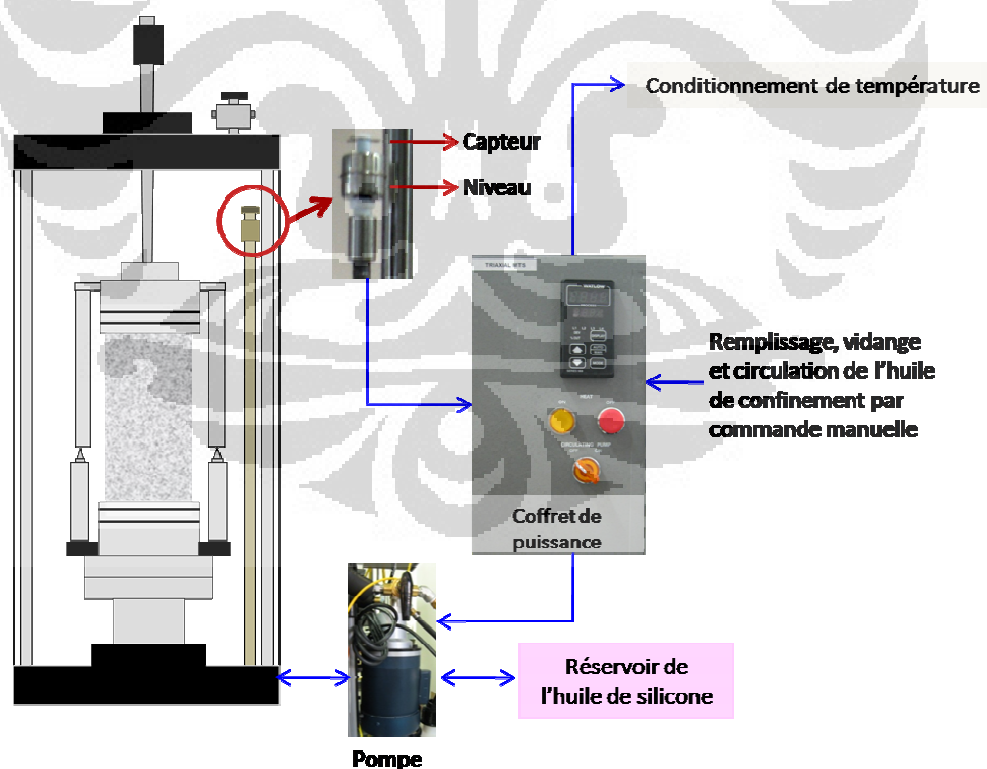


Figure 22. Schéma du système de remplissage, vidange et circulation de l'huile de silicone.

Le schéma ci-dessus nous indique que le processus de conditionnement de température ne sera fait qu'après l'huile de silicone touche le niveau. Cette condition est parfaite pour éviter l'échauffement s'il n'y a pas de l'huile dans la cellule.

2. Gouttes de l'huile (problème d'étanchéité au niveau de joint de la résistance chauffante/système d'échauffement).

Après avoir fait le premier essai préliminaire, nous avons trouvé les gouttes de l'huile au joint de la résistance chauffante avec la plaque inférieure.

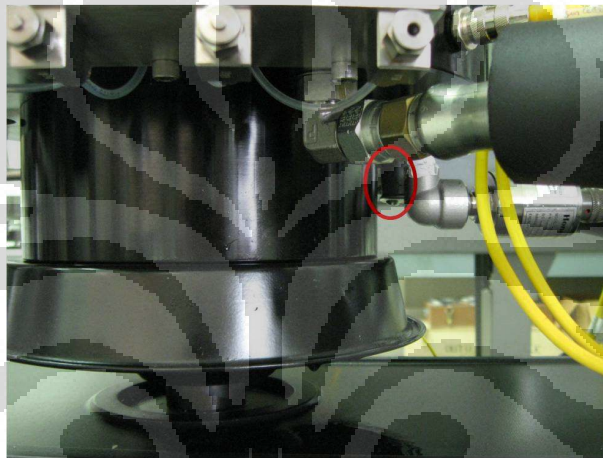


Figure 4.8. Le problème de fuite au joint de la résistance chauffante.

Il faut bien serer le joint depuis l'intérieure de la cellule.

3. Film de l'huile pendant la vidange

Sur l'image 4.9, nous pouvons voir un film de l'huile qui reste dans la cellule. Nous avons pensé que nous pouvons dévisser une vis que l'on peut voir dans la partie (a), marquée en rouge, pour vider de l'huile qui est restée. Cette vis est une vis de sécurité de type *check valves swagelock SS-4CPA2-150*. Ça fonctionne à un moment où la pression totale dans la cellule dépasse de la résistance mécanique maximale du tube (1 MPa pour le tube acrylique transparent). Cette vis a donc besoin un tuyau pour qu'il puisse drainer le liquide de confinement. Normalement, il ne faut pas la dévisser.

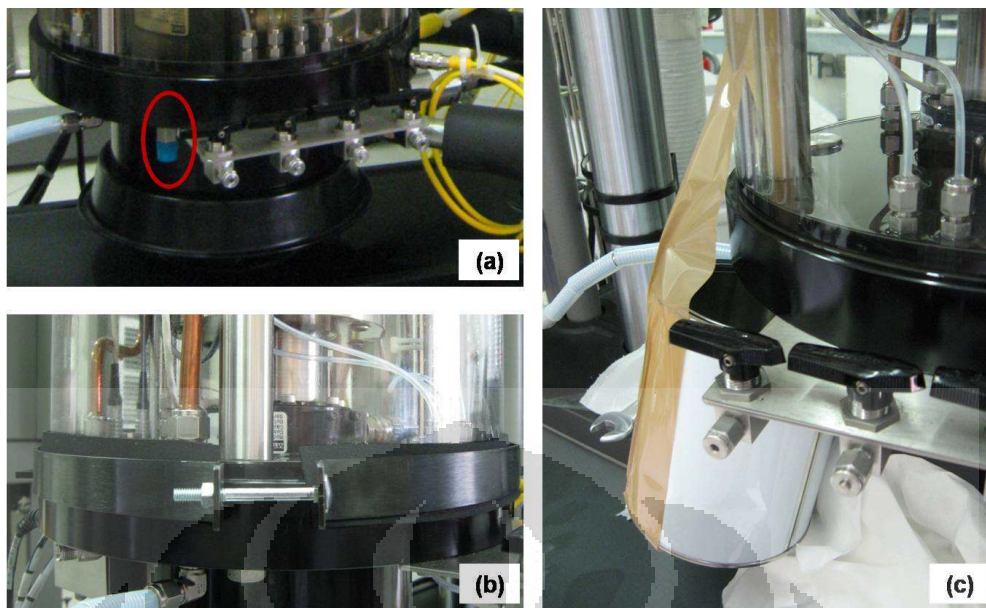


Figure 4.923. Problème de l'huile dans la cellule.

(a) La vis de sécurité qui était devisée. (b). Le système avec la mousse de caoutchouc. (c). Une cylindre pour mettre l'huile qui était restée dans la cellule.

A la fin, nous avons décidé d'utiliser la mousse de caoutchouc noir que l'on peut voir dans l'image 4.9. (b), pour que nous puissions vider et mettre en direct l'huile qui reste sur la base de cellule. Nous avons mis un anneau en acier (couleur noir) et une vis pour tenir la mousse caoutchouc.

4. Liquide de nitrogène

Nous avons toujours besoin d'un système d'évacuation du gaz d'azote. Nous avons décidé de remplir un système d'évacuation que l'on peut voir dans la figure 4.10. Un tuyau gris est utilisé pour évacuer l'azote.

5. La sécurité d'usage de la résistance chauffante

Il s'agit de savoir comment nous pouvons contrôler l'écart de la résistance chauffante. Après avoir ouvert le boîtier de puissance, nous avons trouvé un outil pour le régler.

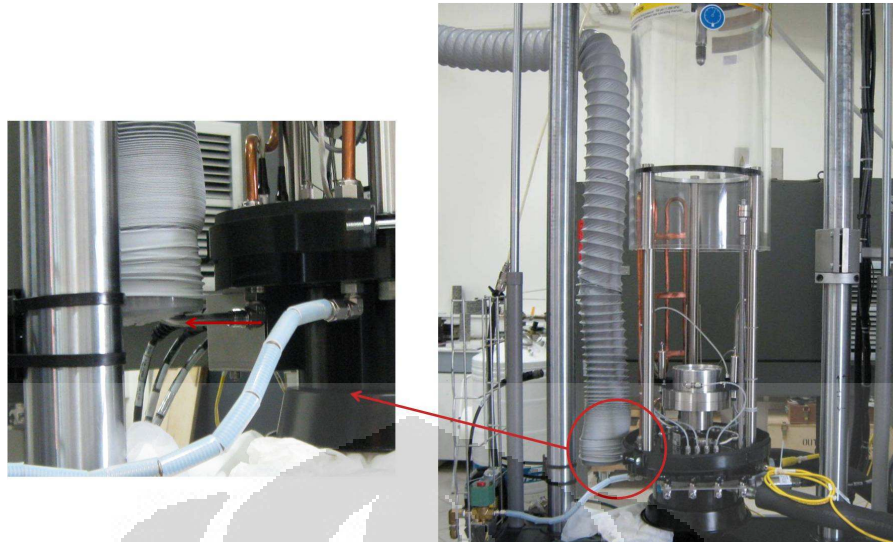


Figure 4.1024. Outil d'évacuation du gaz nitrogène.

IV.1.4. Résultat d'essai

Après avoir fini un essai de 100 000 cycles, nous avons des données en tableaux de Microsoft Excel. Les données sont classées en segmentation de chargement où il y a deux segments pour chaque cycle. Il y a donc 200 000 segments de données. Utilisation de Microsoft Excel version 2007 est conseillée parce que cette version nous permet d'analyser tous les données. La norme d'essai indique que les mesures sont de préférence prises au niveau minimal du signal. il s'agit donc d'éliminer les données qui ne sont pas importantes pour les analyser, par exemple, les mesures au niveau maximal du signal, les mesures à part de ce qui est indiquées dans la partie *c. Mesure* sur la page 53. Ensuite, une analyse a été fait à partir de la norme d'essai.

Pour voir le récapitulatif du résultat de cet essai, voir [Annexe 8. Résultat d'essai préliminaire sur l'éprouvette enrobe mélange hydrocarboné a chaud.](#)

IV.2. Essai préliminaire : Graves non traitées.

L'essai préliminaire sur l'éprouvette de type grave non traitées n'est que fait pour la préparation d'éprouvette. En générale le processus d'essai triaxial ressemble à celui de l'éprouvette mélanges bitumineux. Cependant, les étapes de chargement

sont très différentes. Dans cette partie, nous proposons des processus de fabrication d'éprouvette à partir de la norme concernant.

IV.2.1. Préparation

Comme indiqué dans la chapitre III partie D, les besoins aux matériels, il s'agit de remplir des matériels et des équipements pour pouvoir fabriquer l'éprouvette de ce type. Voici les matériels à remplir :

- Les vis, les rondelles, les plots appropriés (voir Annexe 7. Essai Graves Non Traitées partie B).
- Le moule pour l'éprouvette avec des trous appropriés pour mettre les vis (voir Annexe 7. Essai Graves Non Traitées partie C).

IV.2.2. Epreuve de GNT

Le cas idéal de fabrication de l'éprouvette se fait en utilisant des méthodes de fabrication par vibrocompression ou compactage au marteau vibrant. Afin de pouvoir fabriquer une éprouvette de graves non traitées, il faut connaître la formule. Cette formule consiste à quelques valeurs importantes, par exemple, la granulométrie de granulat utilisé, le volume d'eau à mélanger, etc. pour avoir une bonne valeur de compacité d'éprouvette. Le volume d'eau doit être optimum pour que les graves puissent bien se tenir. S'il y a beaucoup d'eau, l'éprouvette va être mouillée et va se fondre à un moment où elle perd de l'eau. Au cas contraire, s'il le volume d'eau ne suffit pas, les graves ne vont pas bien se tenir. Il s'agit donc de faire une étude pour avoir une bonne formule, c'est une étude avec l'essai Proctor.

Un essai Proctor est un essai pour faire étude de caractérisation des sols et de graves non traitées. Cet essai donne les valeurs références de densité et teneur en eau. L'essai consiste à tester la compacité de matériaux pour une teneur en eau variable. L'optimum est alors déterminé par le point maximal de la courbe qui donne la teneur en eau optimale pour une compacité maximum.

Dans cette partie, nous supposons que nous avons une formule pour fabriquer les éprouvettes graves non traitées. Nous voulons fabriquer les éprouvettes de dimension 100 mm de diamètre et de 200 mm de hauteur avec méthode vibrocompression.



Figure 4.11. Ensemble de matériel pour faire essai Proctor.

IV.2.3. Fabrication d'éprouvette : méthode vibrocompression

IV.2.3.1. Les équipements de la fabrication de l'éprouvette

Au laboratoire CRM, voici les matériels utilisés pour fabriquer éprouvette en utilisant la méthode vibrocompression.

1. Moules en plastiques avec deux couvercles pour fermer chaque extrémité du moule. A la fin d'essai, nous avons les éprouvettes avec dimension de 93,5 mm de diamètre et de 200 mm de hauteur.
2. Appareil de compactage qui consiste à :
 - a. Un cylindre
 - b. Une plaque
 - c. Un vibreur
 - d. Un piston

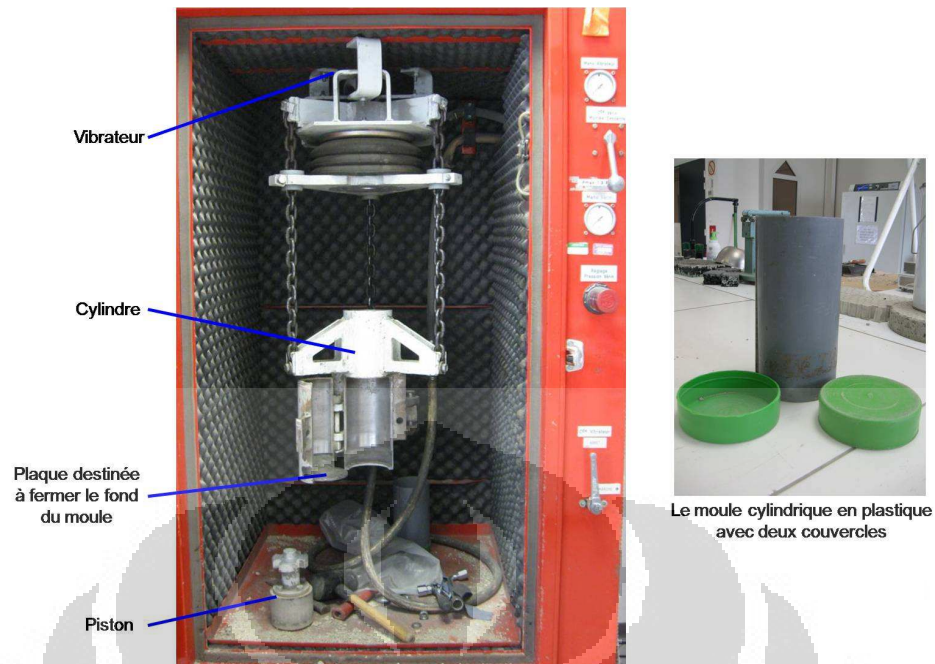


Figure 4.1225. Ensemble de matériels pour fabriquer l'éprouvette avec méthode vibrocompression.

IV.2.3.2. L'adaptation des matériels

Pour pouvoir fabriquer notre éprouvette, il faut utiliser le moule spécial, avec deux couvercles, comme indiqué à l'annexe 7. Essai Triaxial Graves Non Traitées, partie C.

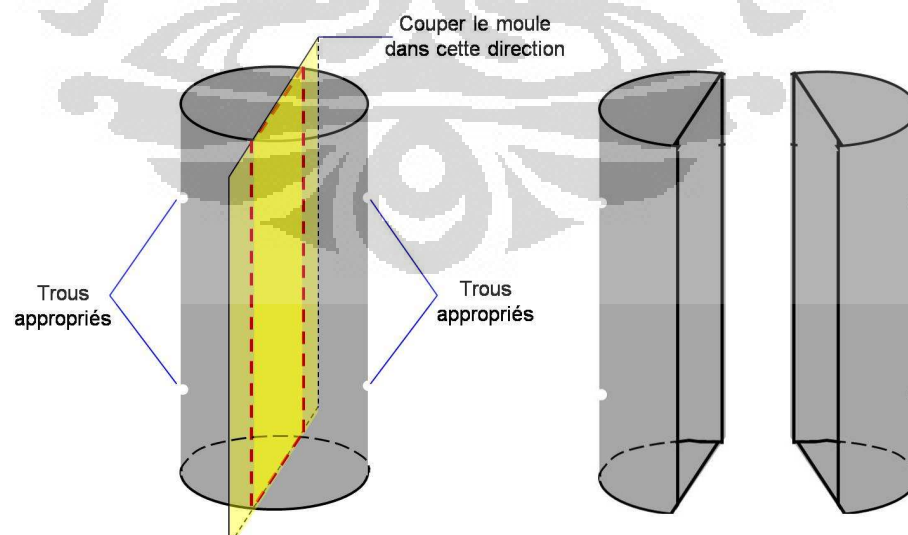


Figure 4.1326. Esquisse de moule approprié.

Nous proposons d'utiliser le même moule que l'on peut voir dans la figure 4.13 ci-dessus, puis il faut mettre des trous appropriés pour les vis. Afin de faciliter de fabrication, nous décidons de mettre le moule en deux coquilles. Il faut utiliser des disques poreux rigides de diamètre égal à celui de l'éprouvette. Les étapes de fabrication des éprouvettes sont indiquées dans la figure 4.14 à la page suivante.

- Mettre en ordre tous les matériels comme indiqués dans l'image 4.14 partie (a). Le disque poreux doit être installé perpendiculairement dans la membrane. Les quatre vis doivent être visées depuis l'extérieure du moule. Il faut mettre de moule au milieu de toute longueur de membrane.
- Rapproche les deux coquilles de manière enformer un cylindre bien fermé. Plier la partie de la membrane qui reste à l'extérieure du moule.
- Fermer la partie inférieure avec un couvercle.
- Mettre les granulats avec la valeur teneur en eau optimale dedans.
- Utiliser la machine vibrocompression comme mentionné dans la norme NF EN 13286-52.
- Après avoir finit le processus de vibrocompression, ouvrir l'ensemble d'éprouvette. Deviser les vis de l'extérieur du moule. Ouvrir le couvercle, puis les coquilles. Nous avons donc des vis plantées dedans.

IV.2.4. L'installation d'éprouvette dans la cellule triaxiale

La prochaine étape est mettre l'éprouvette dans l'ensemble de cellule triaxial. Il faut bien garder la forme d'éprouvette pendant son installation.

- Mettre le filtre semi perméables au-dessus de l'embase et deux joints toriques sur l'embase inférieure.
- Installer l'éprouvette.
- Ajuster la position d'éprouvette et des joints toriques.
- Poser le disque poreux et le filtre semi perméables.
- Placer l'embase supérieure qui est mise deux joints toriques. Ajuster leur position avec d'éprouvette.

- Installer l'extensomètre circonférence autour de l'éprouvette. Installer l'extensomètre axial en ajustant avec la position des vis.

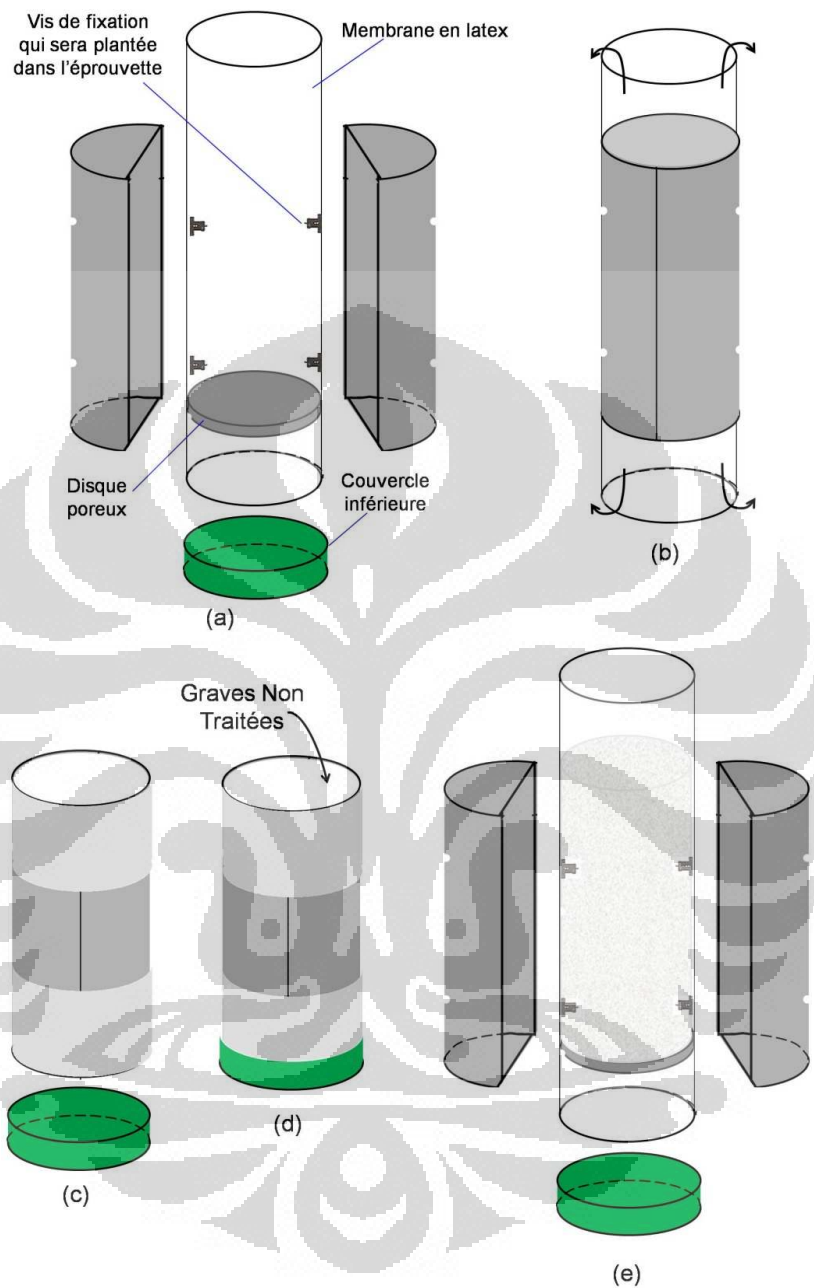


Figure 4.14. Etapes de fabrication d'éprouvette ($\varnothing = 93,5$ mm et hauteur 200 mm) types graves non traitées.

(a). L'ordre pour tous les matériels. (b). Il faut laisser la partie de la membrane qui reste. (c). Il faut plier la membrane à l'extérieur du moule. (d). Fermer la base avec un couvercle, mettre les graves. (e). L'éprouvette après le processus de vibrocompression.

CHAPITRE V

MÉTHODES D'ESSAI INTERNE

Cette méthode d'essai interne qui est faite à partir de la norme française NF EN 12697-25, est une référence pour déterminer la résistance à la déformation permanente d'un mélange bitumineux : Essais de compression cyclique sous confinement.

V.1. Domaine d'application

Le présent document a pour objet de description d'un essai à déterminer la résistance à la déformation permanente d'un mélange bitumineux par des essais de compression cyclique sous confinement.

V.2. Référence

Norme : NF EN 12697-25

V.3. Principe de l'essai

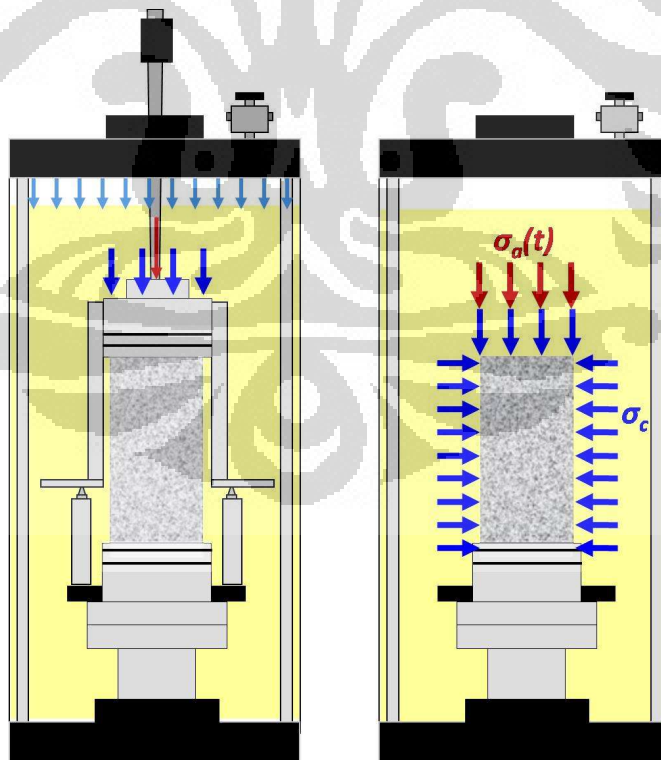


Figure 5.127. Principe de l'essai de triaxial.

L'essai consiste à déterminer la résistance à la déformation permanente d'une éprouvette cylindrique de mélange bitumineux. Une éprouvette cylindrique est maintenue à une température de conditionnement élevée, est placée entre deux pistons de chargement parallèles et plans. L'éprouvette est soumise à une contrainte de confinement, σ_c , à laquelle une contrainte axiale cyclique $\sigma_a(t)$ vient de superposer.

Nous avons donc :
$$(\sigma_a)_{totale} = \sigma_c + \sigma_a(t) = \sigma_c + \sigma_v \cdot (1 + \sin(2\pi \cdot f \cdot t))$$

Où : σ_c = la contrainte de confinement (tout au tour de l'éprouvette), en kPa.

$\sigma_a(t)$ = la contrainte axiale cyclique en fonction du temps, en kPa.

σ_v = l'amplitude de la contrainte sinusoïdale avec décalage d'origine, en kPa.

f = la fréquence (Hertz)

t = le temps

V.4. Appareillage

Le présent d'essai nécessite les matériels suivants :

1. Système d'essai triaxial avec le bâti de charge équipé modèle MTS 318.10, le groupe hydraulique de type MTS 505.10 et la cellule triaxial de type 655.05.
2. Carottier pour carotter les éprouvettes
3. Scie pour mettre les éprouvettes soient lisses.

V.5. Produits

Graisse silicone en tant que lubrifiant pour fabriquer un système membrane-lubrifiant-membrane.

V.6.Mode Opérateur

V.6.1. Epreuve

La fabrication de l'éprouvette est faite par carotter la plaque ou autres types en dimension 100 mm de diamètre et 200 mm de la hauteur. Les éprouvettes peuvent être fabriquées en utilisant les méthodes suivantes :

- Fabrication des éprouvettes préparées en laboratoire par compactage giratoire (NF EN 12697-31).
- Fabrication des éprouvettes extraites d'une plaque d'enrobé préparée en laboratoire (NF EN 12697-33).
- Fabrication des éprouvettes préparées à partir d'une carotte extraite de la chaussée (NF EN 12697-27).
- Fabrication des éprouvettes préparées en laboratoire par compacteur à impact (NF EN 12697-30).

Ensuite, il faut mettre l'éprouvette en condition de la température d'essai (environ 30 jusqu'à 50 °C).

V.6.2. Système membrane-lubrifiant-membrane

Il faut fabriquer un système étanche qui se compose de membrane en mousse de caoutchouc noir, un matériel lubrifiant dans ce cas là graisse de silicone et la même membrane au dessous.

V.6.3. Montage d'appareil et d'éprouvette

Après avoir conditionné l'éprouvette, nous pouvons faire le montage tout le matériel et l'éprouvette étape par étape comme décrit ci-dessous :

- Mettre le système membrane-lubrifiant-membrane sur l'embase inférieure.
- Monter l'éprouvette sur l'embase inférieure
- Mettre les joints toriques autour de membrane.
- Couvrir l'éprouvette avec la membrane et les joints toriques.

- Mettre le deuxième système membrane-lubrifiant-membrane au dessous de l'éprouvette. Ensuite l'embase supérieure.
- Mettre le tube en acrylique bien séré sur la plaque de base.
- Installer la plaque supérieure amovible
- Régler bien le tuyau d'alimentation d'air comprimé.
- Assurer le vérin bien placé dans l'actuateur.
- Remplir l'huile de silicone dans la cellule.
- Régler la température de la condition d'essai.
- Donner la pression de confinement.
- Appliquer la séquence de chargement.

V.6.4. Chargement

L'étape de chargement doit être faite comme ci-dessous :

1. Appliquer pré charge pendant 120 s au moyen d'une charge statique égale à $0,02(2\sigma_v + \sigma_c)$ dans le cas d'une mise en charge sinusoïdale.
2. Chargement la contrainte de confinement $\sigma_c = 50kPa$ à $200 kPa$
3. Après un délai de 10 s, appliquer la charge axiale cyclique en fréquence = 1 Hz à 5 Hz avec l'amplitude de la contrainte sinusoïdale avec décalage d'origine $\sigma_v = 100kPa$ à $300 kPa$

Utiliser le logiciel Multi-usage TestWare de type 793.10 (MultiPurpose TestWare) pour programmer le déroulement d'essai.

V.7. Résultats

A partir de la valeur le moyenne LVDT en millimètres, calculer la déformation cumulée ε_n , en pourcentage, de l'éprouvette pour chaque application de charge mesurée, comme suit :

$$\varepsilon_n = 100 \cdot \frac{(h_0 - h_n)}{h_0}$$

Où :

Moyenne LVDT = (h₀ - h_n) et ε_n = % Déf. Cumulée

ε_n : la déformation cumulée de l'éprouvette après n applications de la charge en pourcent (%)

h_0 : la hauteur moyenne après la mise en pré charge de l'éprouvette, en millimètres (mm)

Méthode 1 : Détermination de la vitesse de fluage f_c .

$$\varepsilon_n = A_1 + B_1 \cdot n$$

ε_n : déformation axiale cumulée de l'éprouvette après n applications des charges, en pourcent (%).

$$f_c = B_1 \cdot 10^4$$

Le paramètre f_c est utilisé pour caractériser la résistance à la déformation permanente d'un mélange donné.

Méthode 2 : Détermination des paramètres B et $\varepsilon_{1000, calc}$.

Déterminer l'ajustement polynomial par la méthode des moindres carrés de la partie quasi linéaire de la courbe de fluage :

$$\varepsilon_n = A \cdot n^B$$

Ou, ce qui est équivalent, déterminer l'ajustement linéaire par la méthode des moindres carrés des valeurs ($\log \varepsilon_n - \log n$) :

$$\log(\varepsilon_n) = \log A + B \cdot \log n$$

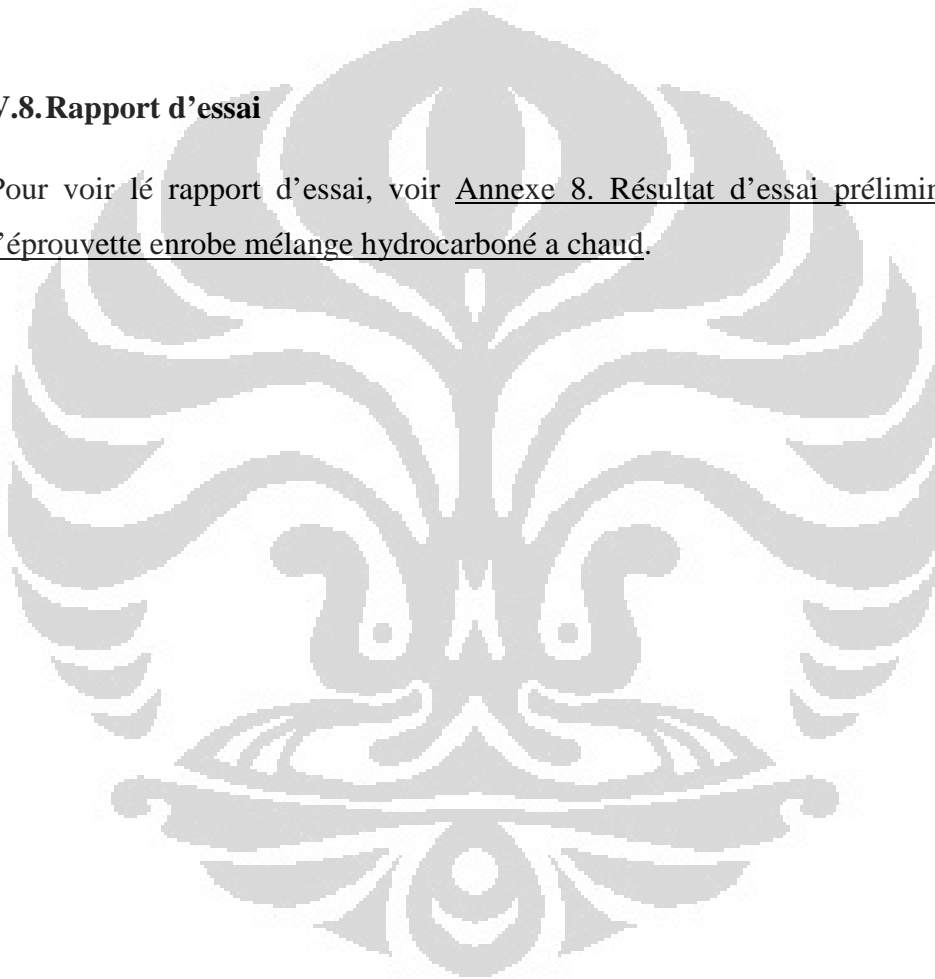
Où :

ε_n : déformation axiale cumulée de l'éprouvette après n applications des charges, en pourcent (%).

B : puissance de l'ajustement polynomial par la méthode des moindres carrés ou la pente d'ajustement linéaire par la méthode des moindres carrés des valeurs $\log \varepsilon_n$ en fonction de $\log n$.

V.8. Rapport d'essai

Pour voir le rapport d'essai, voir [Annexe 8. Résultat d'essai préliminaire sur l'éprouvette enrobe mélange hydrocarboné a chaud.](#)



CHAPITRE VI

CONCLUSION

Les essais triaxiaux sur les éprouvettes de type mélanges bitumineux peuvent être réalisés. Nous ne respectons pas certaines conditions mentionnées dans la norme concernant, par exemple, la dimension d'éprouvette. Nous avons accompli des équipements permettant d'effectuer les essais préliminaires. Il nous reste de compléter un tuyau qui relie la vis de sécurité et un bac ou un tonneau pour évacuer l'huile de silicone à une condition où la pression dans la cellule dépasse la résistance mécanique du tube de cellule.

Les essais triaxiaux sur les éprouvettes de type graves non traitées et graves émulsions doivent être vérifiés. Afin d'effectuer ces essais, il s'agit d'avoir les matériels suivants :

- Les extensomètres de type 632.92 (capteur de déplacement radial, plus précis capteur de circonférence) et les extensomètres de type 632.90 (capteur de déplacement axial mis au milieu de l'éprouvette).
- L'embase appropriée pour l'éprouvette de diamètre \varnothing embases de 160 mm.
- La membrane de diamètre \varnothing 152 mm (pour l'éprouvette de diamètre \varnothing éprouvette de 160 mm) et membrane de diamètre 95 mm (pour l'éprouvette de diamètre de 100 mm) avec des trous appropriés pour mettre les vis.
- Pour fabriquer les éprouvettes (voir Annexe 7):
 - Les vis, les rondelles, les plots appropriés
 - Le moule pour l'éprouvette avec des trous appropriés pour mettre les vis.
- Le système d'asservissement approprié.
- Le logiciel approprié
- Les disques poreux (au moins deux).
- Les filtres semi-perméables (au moins deux).

L'explication des étapes de fabrication d'éprouvette au chapitre IV doit être vérifiée. Théoriquement, nous pouvons la fabriquer, mais effectivement, ce ne sera pas si facile comme décrit.

CHAPITRE VII

BILAN PERSONNEL : RETOUR D'EXPÉRIENCE

VII.1. Bilan Technique

Le stage qui s'est déroulé pendant quinze semaines m'a donné une nouvelle expérience dans mon domaine d'études, génie civil. Une partie de ce domaine que je n'ai pas connu très bien est le domaine de la structure de la route. Il existe beaucoup de types d'essai pour examiner la chaussée d'une route. L'essai triaxial est un outil qui nous permet d'étudier le comportement mécanique de chaussée.

VII.2. Bilan Humain

Au CRM, j'ai l'occasion de connaître le travail dans un centre de recherche. J'ai pu, apprendre beaucoup sur l'état de l'art, la vie dans un centre de recherche d'une entreprise, ainsi que les cultures de travail différentes.

Avant le stage, je n'ai connu que l'essai triaxial sur éprouvette en sol que j'ai effectué pendant mes études en Indonésie. Ensuite au CRM, j'ai été introduit à une mission de définir les modalités expérimentales permettant de réaliser cet essai. Il y a donc une séquence d'étude très intéressante pour moi.

J'ai trouvé que le sujet de stage est très intéressant. Même s'il n'y a pas eu beaucoup de temps, honnêtement, j'ai été très motivé de faire ce stage. Au début, je ne connaissais pas du tout comment utiliser la machine, fabriquer les éprouvettes, etc. Il y a eu des difficultés surtout à cause de dossier techniques qui n'expliquent pas très bien le fonctionnement des différents matériels et aussi l'absence d'assistance fabricant. Les difficultés concernent notamment la sécurité et la sûreté lors d'utilisation du matériel. Cette condition m'a apporté des curiosités. Il s'agissait donc de contacter le fournisseur, les personnes qui ont effectué des essais triaxiaux, de faire l'essai pilotage avec les techniciens, etc.

Ce stage aura donc été une excellente expérience, tant de point vu technique qu'humain. J'ai pu approfondir mon domaine d'étude, de plus j'ai aussi appris à chercher, aussi bien dans le sens documentaire que dans le sens technique.

BIBLIOGRAPHIE

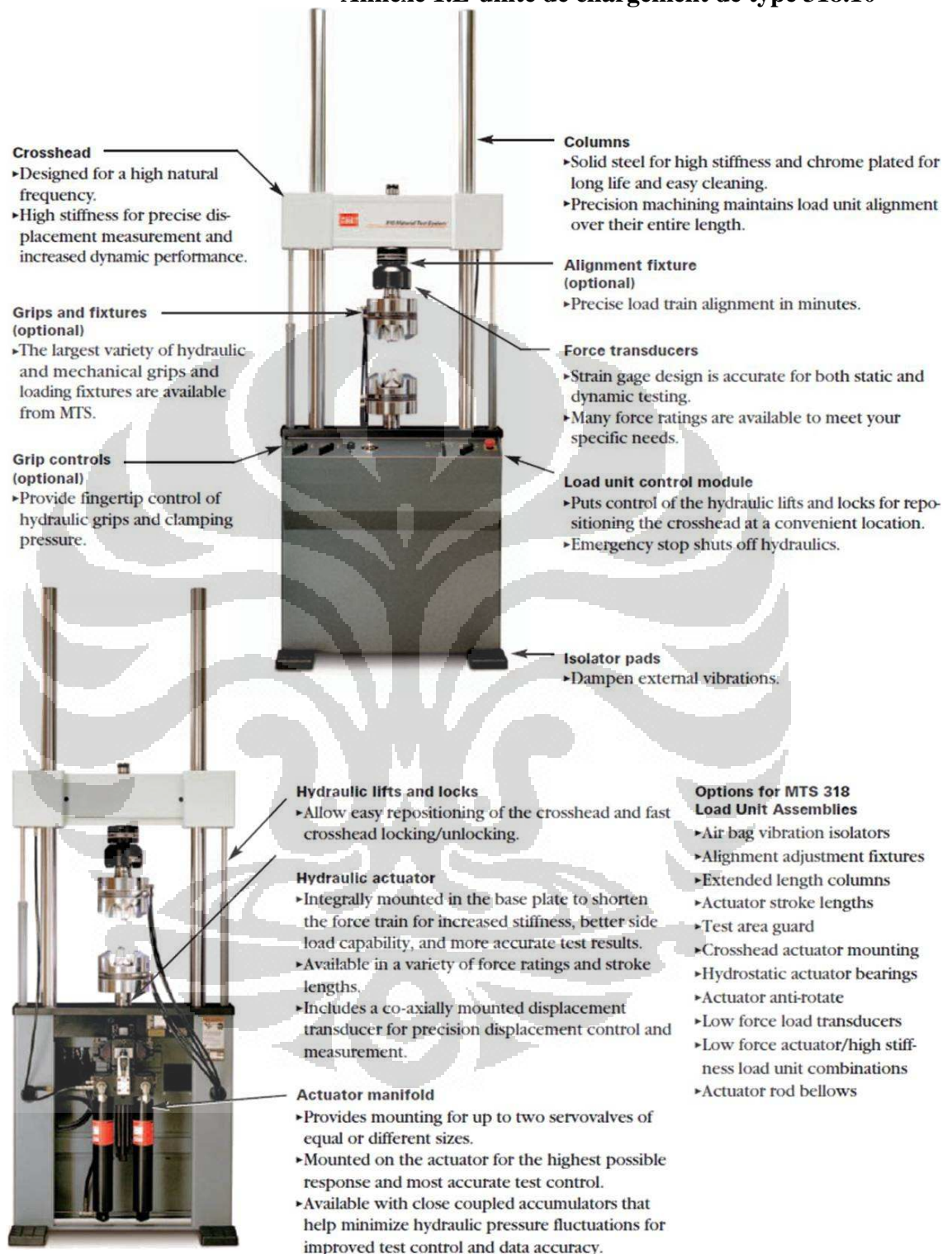
- [1]. Guide technique : *Conception et Dimensionnement des Structures de Chaussée*, Paris : Le laboratoire central des ponts est chaussée (LCPC) et le service d'études techniques des routes et autoroutes (SETRA), 1994.
- [2]. Catalogue des dégradations de surface des chaussées : *Méthode d'essai No. 52. Complément à la méthode d'essai No. 38-2 Relevé des dégradations de surface des chaussées*, Paris : Le laboratoire central des ponts est chaussée (LCPC), 1998.
- [3]. TABBOUCHY, Rachid, *Modèle de dégradation des chaussées Marocaines*. CNER.
- [4]. CUISINIER, D., etc., 18^{ème} Congrès Français de Mécanique : *Orniérage de chaussée : identification des paramètres élasto-plastiques d'un enrobé bitumineux à partir d'un essai structurel*. Cachan : Laboratoire de mécanique et technologie, 2007.
- [5]. FRANK, Jeffrey Wade, Thèse : « *Developing an enhanced triaxial testing system with cyclic pore-pressure capabilities* » University of Florida, 2004.
- [6]. MTS, *Dossier Technique : MTS 810 & 858 Material Testing Systems : Versatile, multipurpose servohydraulic testing systems for static and dynamic test*, Eden Prairie, Minnesota (United States of America) : MTS Systems Corporation, 2006.
- [7]. MTS, *Dossier Technique : Hydraulic Power Supplies 510 Series*, Eden Prairie, Minnesota (United States of America) : MTS Systems Corporation, février 1992.
- [8]. MTS, *Dossier Technique : 790.00 Manuel de Référence TestStar II Control system*, Berlin-Zehlendorf : MTS System GmbH, 1997.
- [9]. MTS, *793 Control Software, User information and Software Reference for : Project Manager, Station Builder™, Station Manager™, Basic TestWare®, Station Desktop Organizer, Remote Station Controller*, Eden Prairie, Minnesota (United States of America) : MTS Systems Corporation, 2006.
- [10]. MTS, *Model 793.10 MultiPurpose TestWare® : User Informations and Software Reference*, Eden Prairie, Minnesota (United States of America) : MTS Systems Corporation, 2003.
- [11]. MTS, *Pavement Testing Solutions : An array of high performance testing products and capabilities designs designed specially to address a wide range of*

asphalt and soil testing requirements, Eden Prairie, Minnesota (United States of America) : MTS Systems Corporation, 2005.

- [12]. MTS, *Technical description : MTS Rock and Concrete Mechanics Testing Systems*, Eden Prairie, Minnesota (United States of America) : MTS Systems Corporation, 2004.
- [13]. SAUTEREY, Raymond. *Les enrobés bitumineux Tome 1*, Paris : Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA) et l'Union des syndicats de l'industrie routière française (USIRF), 2001.
- [14]. Norme NF EN 12697-25 Mélanges Bitumineux : Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud, Partie 25 : Essai de compression cyclique.
- [15]. Norme NF EN 12697-33+A1 Mélanges Bitumineux : Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud, Partie 33 : Confection d'éprouvettes au compacteur de plaque.
- [16]. Norme EF EN NF EN 13286-7 mélanges avec ou sans liant hydraulique, Partie 7 : Essai triaxial sous charge cyclique pour mélanges sans liant hydraulique.
- [17]. Norme EF EN NF EN 13286-51 mélanges avec ou sans liant hydraulique, Partie 51 : Méthode de confection par compactage au marteau vibrant des éprouvettes de matériaux traités aux liants hydrauliques.
- [18]. Norme EF EN NF EN 13286-52 mélanges avec ou sans liant hydraulique, Partie 52 : Méthode de confection par vibrocompression des éprouvettes de matériaux traités aux liants hydrauliques.
- [19]. CYNA, Michèle, *Les émulsions de bitume*, Paris : Revue générale des routes et des aérodromes (RGRA) et l'Union des syndicats de l'industrie routière française (USIRF), 2006.
- [20]. HORNYCH, P., GOYER, S., etc., « Study of mechanical behaviour of gravel-emulsions using triaxial tests » dans *Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials*, 2009, Volume 1, page 639-649, 2009.

[Intranet EUROVIA]

Annexe 1.L'unité de chargement de type 318.10



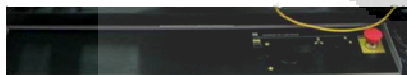
L'unité de chargement de type 318.10



**L'actuateur manifold
(vue de face)**



**L'actuateur manifold
(vue de l'arrière)**



Control de chargement

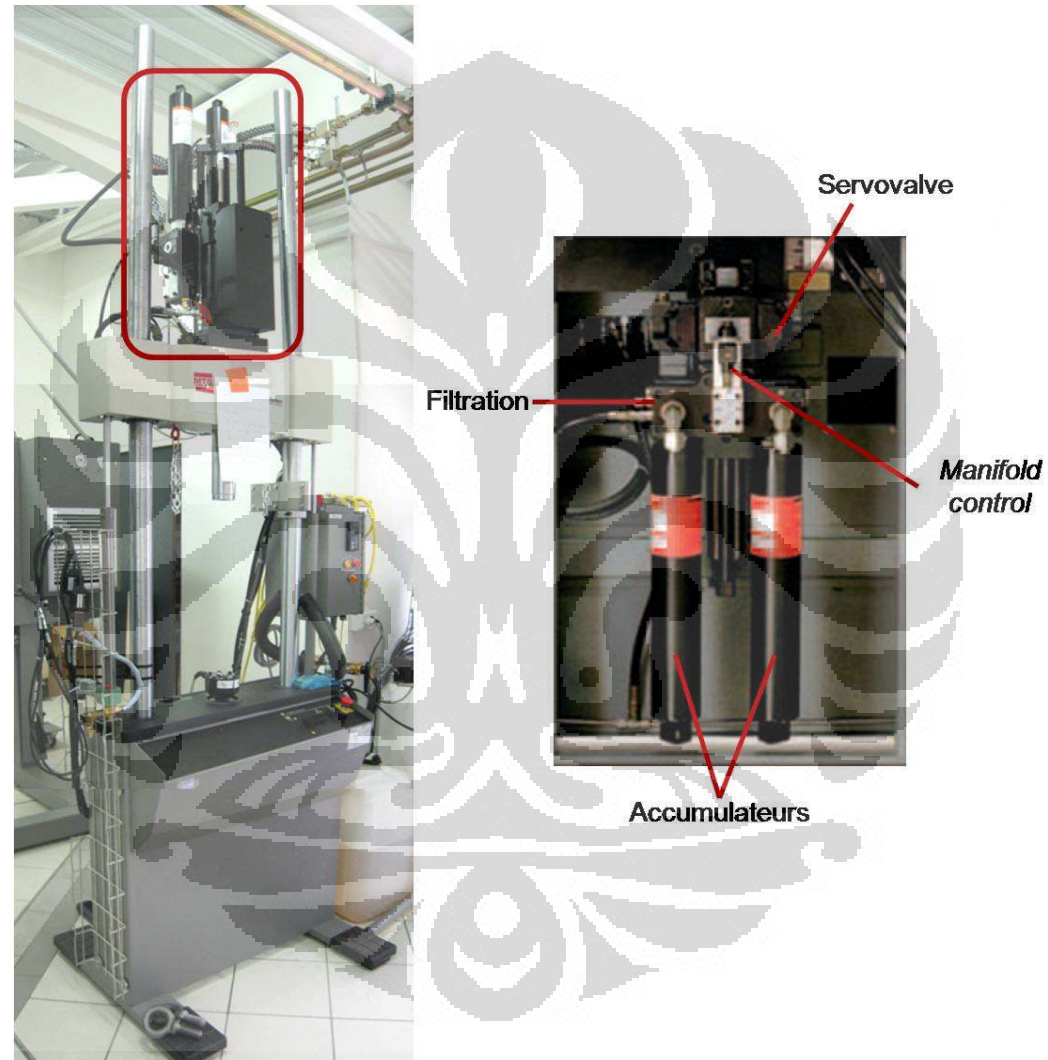


**Espace de test vertical
avec vérin hydraulique
au-dessus**



Transducteur de la force

L'unité de chargement de type 318.10 au Centre de Recherche de Mérignac.



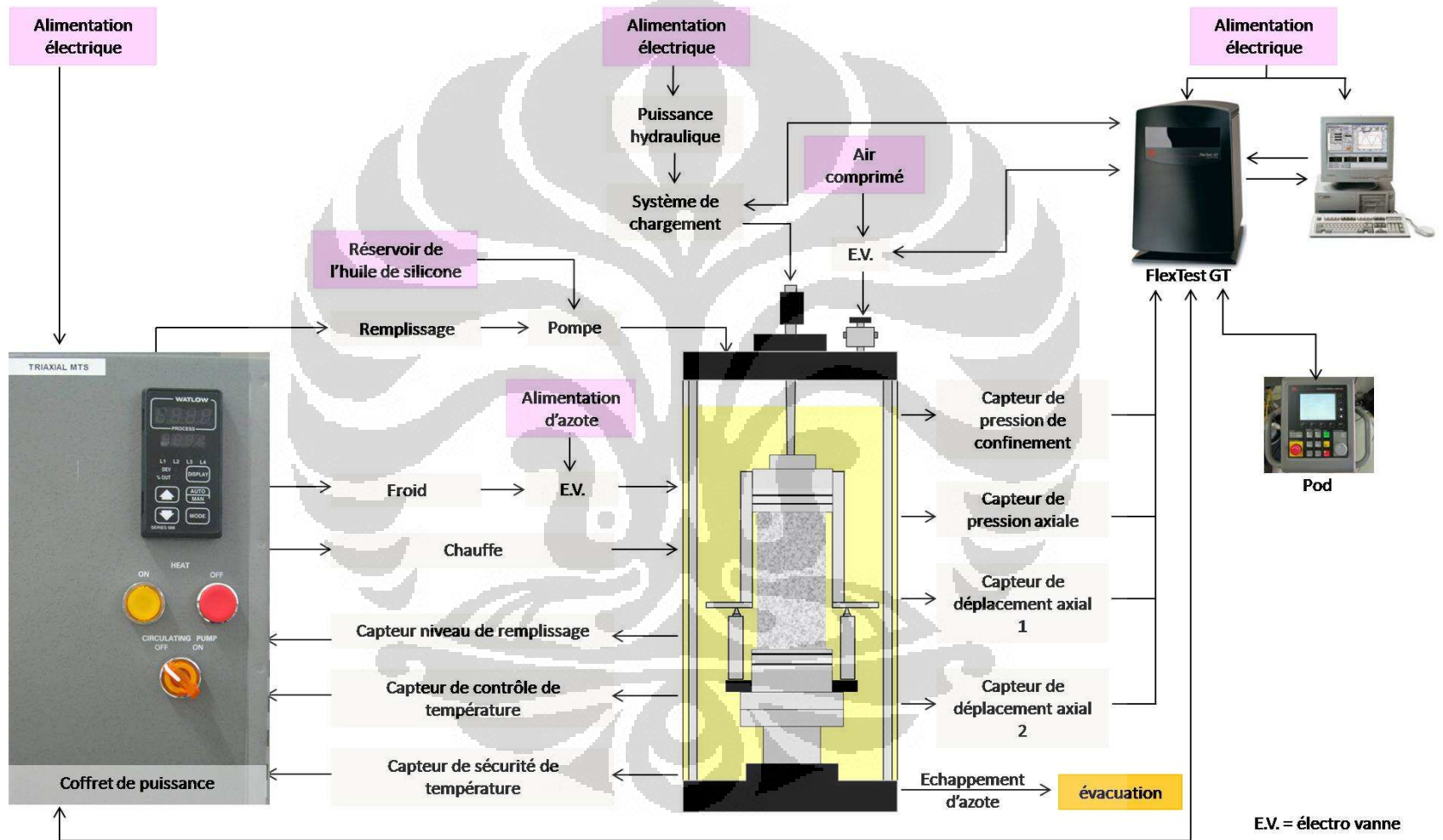
L'unité de chargement de type 318.10 au Centre de Recherche de Mérégnac.

Annexe 2. Appareillage d'essai triaxial



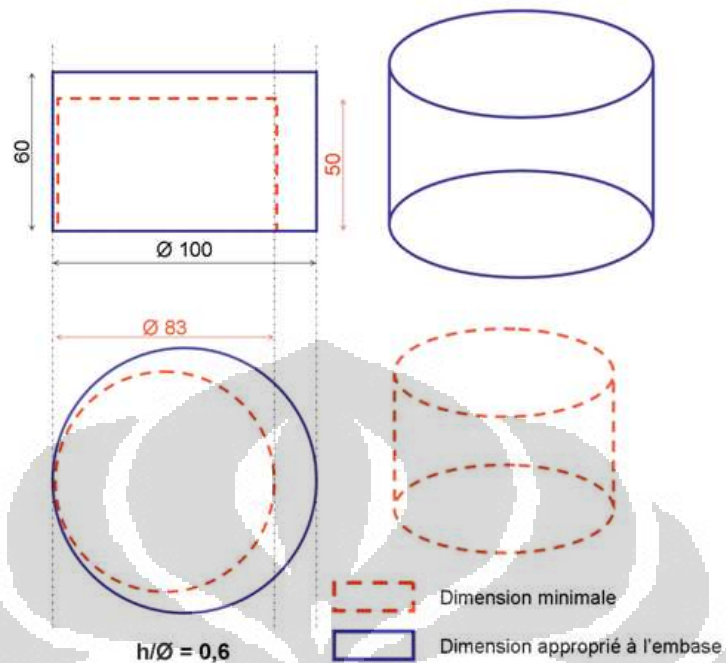
Appareillage d'essai triaxial au CRM. (a). Vue en face : la cellule et les équipements. (b). Système de contrôle de la pression d'air (cf. 2.4. Le système de contrôle de la pression de confinement statique). (c). Plaque supérieure amovible avec l'air emprisonnée. (d). La pompe pour remplir le fluide de confinement. (e). Vue en face de la cellule avec quatre trous de drainage. (d). La connexion du tuyau d'azote. (e). Vue en arrière de la cellule.

Annexe 3. Schéma logique du système d'essai triaxial

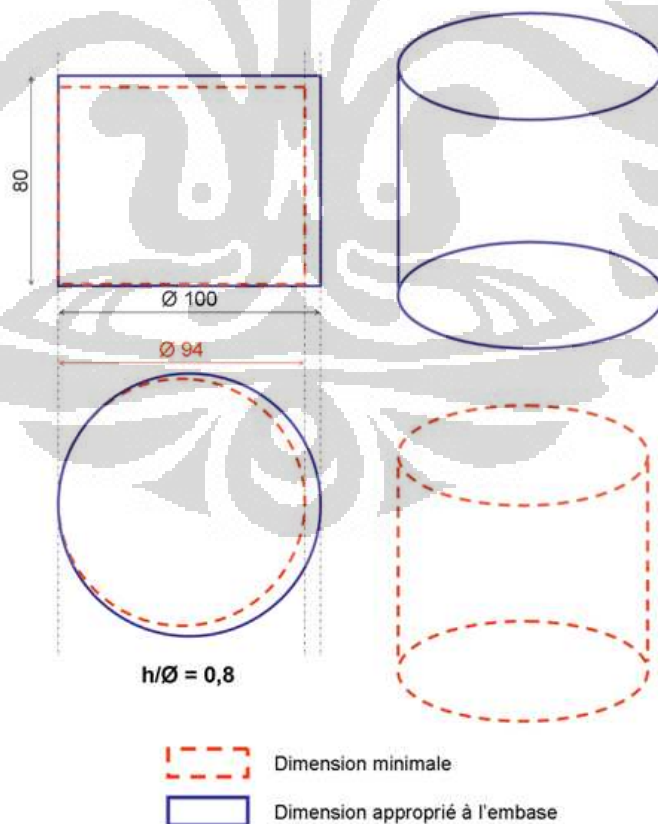


Universitas Indonesia

Annexe 4. L'esquisse d'éprouvette faite à partir de la norme NF EN 12697-25



Dimension de l'éprouvette pour granulométrie maximale nominale ≤ 16 mm.
[Fait à partir de la norme NF EN 12697-25]



Dimension de l'éprouvette pour granulométrie maximale nominale > 16 mm.
[Fait à partir de la norme NF EN 12697-25]

Annexe 5. Présentation en tableaux la norme NF EN 12697-25 MELANGES BITUMINEUX (Méthode d'essai B) (Bibliographie [1])

Après avoir étudié les normes, voici la disposition en tableaux les actions qui peuvent être faites pour que nous puissions utiliser l'appareillage de type 655 pour essai triaxial.

NF EN 12697-25 MELANGES BITUMINEUX (Méthode d'essai B)

No	Citations dans la norme NF EN 12697-25 (Méthode B)	Points	Action
Appareillage (système d'essai)			
Généralités			
1	5.2.1.1 Généralités		
	Le système de mise en charge axiale doit être constitué de deux pistons en acier, entre lesquels est placée l'éprouvette. La contrainte de confinement statique et la contrainte axiale cyclique doivent être appliquées au moyen d'un système servohydraulique, pneumatique, électromagnétique ou autre système approprié, en mesure de générer les contraintes requises avec une exactitude d'au moins $\pm 2\%$.	chargement par deux pistons en acier Application des chargements (contrainte de confinement et axiale) au moyen d'un système. La contrainte de confinement peut être statique ou dynamique	deux pistons en acier, entre lesquels est placée l'éprouvette chargement de confinement statique (on a l'appareillage pour le chargement statique), chargement axial cyclique sinusoïdal.
	L'éprouvette doit être placée dans une protection appropriée pour la séparer du fluide de confinement. Tout contact direct entre les gaz (air) ou les liquides (eau, huile) de confinement, d'une part, et l'éprouvette, d'autre part, doit être évité.	Un film caoutchouc pour séparer de l'éprouvette	Membrane de protection en caoutchouc pour l'éprouvette (dimension \varnothing embase = 100 mm ou 153 mm)
piston de chargement			
2	5.2.1.2 Piston de chargement		
	Les pistons de chargement doivent se déformer de moins de $2 \mu\text{m}$ quand une contrainte de 250 kPa est appliquée.	maximum de déformation des pistons pendant le test est $2 \mu\text{m}$	Si on utilise le diamètre de l'éprouvette de $\varnothing = 100 \text{ mm}$, donc nous allons appliquer la force (de piston) de 1,963 kN.
	Les surfaces de pistons doivent être planes et lisses. L'écartement des deux pistons doit être tel que les éprouvettes puissent y être placées.	Les surfaces de pistons doivent être planes et lisses	
choisir un diamètre des pistons légèrement supérieur à celui de l'éprouvette	un diamètre supérieur de 10 mm		
3	système d'asservissement		

	5.2.1.3 Système d'asservissement		
	L'appareillage doit être équipé de système d'asservissements distincts pour la contrainte de confinement et pour axiale cyclique.		Système d'asservissement distinct pour la contrainte de confinement statique, et la contrainte axiale cyclique sinusoïdal.
	5.2.1.6 Appareillage d'enregistrement des données		
	Un système d'acquisition de données doit être prévu pour contrôler et collecter les signaux en provenance des capteurs de charge et de déplacement. Les instruments de mesure doivent être tels que les forces et les déplacements puissent être lus avec exactitude 2%.		Système d'acquisition de données doit être prévu pour contrôler et collecter les signaux
	capteur de déplacement et mesurage		
	5.2.1.5 Capteurs de déplacement		
4	L'appareillage doit être doté de capteurs de déplacement afin de mesurer le changement de hauteur de l'éprouvette au cours de l'essai. Les mesures doivent être prises entre les pistons ou directement sur l'éprouvette. Les capteurs doivent être conformes à la classe d'exactitude 0,2. les fréquences de résonance des capteurs montés doivent être au moins 10 fois supérieures à la fréquence d'essai. L'étendue de mesure des capteurs doit être d'au moins 10 mm.	Le mesurage peut être effectué entre les pistons ou directement sur l'éprouvette.	Deux capteurs pour mesurer la déformation axiale totale entre deux pistons, ou deux capteurs qui se situe directement sur l'éprouvette, avec l'étendue de mesure ≥ 10 mm. Le diamètre de l'éprouvette est de \varnothing éprouvette 100 mm avec hauteur de 80 ou 60 mm.
		Fréquence résonance $> 10 \times$ Fréquence d'essai	
		l'étendue ≥ 10 mm	
	5.1 Principe		
	Au cours de l'essai, le changement de hauteur de l'éprouvette est mesuré pour un nombre spécifié d'applications de la charge.	Pour déterminer la déformation axiale cumulée ϵ_n (déformation permanente) de l'éprouvette.	capteur de déformation axiale totale
	5.5.4 Mesurage pendant l'essai		
	Mesurer la variation de hauteur de l'éprouvette au fur et à mesure de l'essai à l'aide des capteurs de déplacement et d'un système d'acquisition de données. Au	Le capteur de mesurage doit être capable de mesurer la variation de	Le capteur de mesurage doit être capable de mesurer la variation de hauteur.

	minimum, des relevés doivent être effectués tous les 10 applications de charge (jusqu'à 100), toutes les 100 applications de charge (jusqu'à 1000), puis toutes les 500 applications de charge.	hauteur. À chaque mesurage, le nombre correspondant d'applications de charge doit être connu	
conditionnement température			
	5.2.1.7 Conditionnement en température		
5	L'exactitude de la régulation de température doit être inférieure ou égale à $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Pour appliquer la température choisie à l'éprouvette, l'ensemble de l'appareillage d'essai doit être placé dans une enceinte thermostatique ou bien l'appareillage d'essai doit être équipé d'un caisson thermostatique dans lequel est montée l'éprouvette.	L'appareillage d'essai doit être placé dans une enceinte thermostatique ou L'appareillage d'essai doit être équipé d'un caisson thermostatique dans lequel est montée l'éprouvette.	Conditionnement à l'éprouvette. L'ensemble de l'appareillage d'essai doit être placé dans une enceinte thermostatique ou bien l'appareillage d'essai doit être équipé d'un caisson thermostatique.
		5.5.2 Préparation de l'essai	
	S'assurer que l'enceinte d'essai a atteint la température spécifiée à $\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ près avant d'installer l'éprouvette. Les températures d'essai sont généralement situées entre 30°C et 50°C pour les essais réalisés conformément au prEN 13108-20, la température d'essai est indiquée dans la présente norme.	Température d'essai entre 30°C et 50°C .	conditionnement température d'essai entre 30°C et 50°C .
Application des charges			
	5.5.3.1 Application de pré-charge		
6	L'éprouvette doit être à nouveau mise en pré-charge pendant 120S s. Cette charge doit être appliquée progressivement et doucement.	Température d'essai entre 30°C et 50°C .	conditionnement température d'essai entre 30°C et 50°C .
	5.5.3.2 Appliquer la contrainte de confinement juste après la mise en pré-charge		Appliquer la contrainte de confinement de 50kPa à 200 kPa.
	5.5.3.3 Appliquer la charge axiale cyclique		
	Des fréquences de l'ordre de 1 Hz à 5 Hz sont appliquées pour la mise		

	en charge axiale sinusoïdale		
	Pour l'amplitude de contrainte sinusoïdale avec décalage d'origine σ_v , des valeurs allant de 100 kPa à 300 kPa sont utilisées dans la plupart des cas... Pour la mise en charge en créneau, des contraintes σ_B de 100 kPa à 700 kPa sont utilisées.	sinusoïdale : pression axiale à appliquer 100- 300 kPa	sinusoïdaux : si $\varnothing =$ 100 mm, pression axiale à appliquer = 0,8- 2,4 kN
		créneau : pression axiale à appliquer 100-700 kPa	créneau : si $\varnothing =$ 100 mm, pression axiale à appliquer = 0,8- 5,5 kN

Appareillage (Instruments de mesure et accessoires nécessaires)

1	balance et autre appareillage requis pour déterminer la masse volumique apparente conformément à l'EN 12697-6		
2	Pied à coulisse ou autre appareillage approprié pour déterminer les dimensions de l'éprouvette conformément à l'EN 12697-29		
3	Étuve ou enceinte de séchage, température entre 5° - 25° Celsius.		
4	Zone de stockage, température entre 5° - 25° Celsius.		
	5.2.2.5 Capotes		
5	Un système membrane-lubrifiant-membrane pour recouvrir les zones plan-parallèles de l'éprouvette. De la graisse de silicone doit être appliquée entre les deux membranes.		Un système membrane-lubrifiant-membrane

Eprouvette

	5.3 Préparation de l'éprouvette		
	Au moins deux éprouvettes		
1	Chaque éprouvette doit être de forme cylindrique. L'extrémité de l'éprouvette doit être plane et plan parallèle, ce qui est réalisable de en sciant ses deux extrémités. Il est conseillé d'utiliser une scie de diamantée dotée de lames parallèles. Les extrémités doivent être parallèles et perpendiculaires à l'axe du cylindre (c'est-à-dire s'écarter de moins de 2° à 3° environ d'angle droit). Pour contrôler en gros l'état de surface, passer la main dessus. Si	Éprouvette cylindriques, l'extrémité plan-parallèle, deux éprouvettes au moins. Dimensionnement de l'éprouvette selon la granulométrie nominale.	Si la granulométrie maximale nominale \leq 16 mm, \varnothing éprouvette = 100 mm et h éprouvette = 60 mm. Si la granulométrie maximale nominale $>$ 16 mm, \varnothing éprouvette = 100 mm et h éprouvette = 80 mm. Séchage de l'éprouvette à une température ne dépasse pas 25°C

<p>elle semble plane au toucher et sans défaut, elle doit être considérée comme appropriée, sinon elle doit être polie. Après le sciage/polissage, l'éprouvette doit être séchée à une température ne dépassant pas 25°C.</p>	
<p>Les dimensions minimales de l'éprouvette :</p>	<p>Préparation d'éprouvettes de types différentes, selon les normes : EN 12697-31, EN 12697-33, EN 12697-27, EN 12697-30.</p>
<p>Si la granulométrie maximale nominale ≤ 16 mm, le diamètre minimal et la hauteur minimale $\varnothing = 50$ mm</p>	
<p>Si la granulométrie maximale nominale > 16 mm, le diamètre minimal et la hauteur minimale = 75 mm</p>	
<p>Pour les formes de produit, un rapport hauteur/ $\varnothing = 0,6$ est choisi si la granulométrie nominale ≤ 16 mm et de 0,8 si la granulométrie nominale > 16 mm.</p>	
<p>La hauteur de l'éprouvette ne doit pas varier de plus de 1 mm et le diamètre ne doit pas varier de plus de 2 mm</p>	

Conclusion :

Nous avons besoin de capotes pour recouvrir les zones plan-parallèles de l'éprouvette. L'appareillage est assez pour faire l'essai triaxial.

Annexe 6. Présentation en tableaux la norme NF EN 13286-7 mélanges avec ou sans liant hydraulique (Bibliographie [3])

Après avoir étudié les normes, voici la disposition en tableaux les actions qui peuvent être faites pour que nous puissions utiliser cet appareillage pour essai triaxial.

NF EN 13286-7 MELANGES AVEC OU SANS LIANT HYDRAULIQUE

No	Citations dans la norme NF EN 13286-7	Points	Action
Dispositif de chargement et capteur de mesure de pression et de la force axiale			
1	5.1. Caractéristiques générales		
	Lorsque la méthode de chargement A est utilisée, l'appareil doit permettre de faire varier la pression de confinement de façon cyclique, en phase avec la contrainte axiale.	Chargement cyclique et constant pour la pression de confinement et la contrainte axiale	La pression de confinement constante. La contrainte peut être appliquée en cyclique ≈ méthode B.
Lorsque la méthode de chargement B est utilisée, seule la contrainte axiale varie de façon cyclique, et la pression de confinement est constante.			
2	5.3 Dispositif de chargement		
	Méthode A : pression de confinement variable		
	capable d'appliquer la contrainte axiale et la pression de confinement variant suivant des cycles répétés de charge et de décharge.		
	Pression de confinement maximale de 300 kPa, contrainte déviatorique ¹³ maximale 600 kPa; la fréquence de chargement est entre 0,2 Hz - 10 Hz		
	Méthode B : pression de confinement constante		
	capable d'appliquer des contraintes verticales variant suivant des cycles répétés de charge et de décharge; et d'appliquer une contrainte déviatorique maximale de 600 kPa sur l'éprouvette.	la pression de confinement constante, la contrainte peut être appliquée en cyclique	pression de confinement constante ≥ 70 kPa; contrainte déviatorique maximale = 600 kPa
	le système de contrôle de la pression doit permettre d'appliquer une pression de confinement constante d'au moins 70 kPa; la fréquence de		

¹³ Contrainte déviatorique $\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ où σ_1 = contrainte axiale totale et σ_3 = contrainte radiale totale.

	chargement est entre 0,2 Hz - 10 Hz		
	5.4 capteurs de pression		
3	La pression de confinement dans la cellule ou la dépression appliquée à l'éprouvette doit être mesurée à l'aide d'un capteur de pression d'étendue de mesure appropriée et d'une incertitude de ± 2 kPa.	Capteur de pression	Capteur de pression, incertitude de ± 2 kPa
	5.5 Capteur de mesure de la force axiale		
4	la force verticale appliquée à l'éprouvette doit être mesurée à l'aide d'un capteur de force d'étendue de mesure appropriée, et permettant de mesurer la contrainte verticale avec une certitude de ± 2 kPa. Le capteur de force doit, de préférence, être placé à l'intérieur de la cellule de triaxiale, en contact direct avec l'embase supérieure de l'éprouvette.	Capteur de mesure de la force axiale, à l'intérieur de la cellule triaxiale	Capteur de mesure de la force axiale, à l'intérieur de la cellule triaxiale, avec incertitude de ± 2 kPa.

Mesure des déformations

	5.6 Les capteurs de déformations axiales		
1	Les déformations axiales de l'éprouvette doivent être mesurées en utilisant au moins deux capteurs de déplacement, fixés directement sur la partie centrale de l'éprouvette, et possédant une base de mesure n'excédant pas la moitié de la hauteur de l'éprouvette. Un dispositif approprié pour la mesure des déformations axiales utilisant trois capteurs linéaires de déplacement est décrit dans l'annexe A.	se situe sur la partie centrale de l'éprouvette	capteurs de déplacement linéaire de type LVDT, 3 capteurs de déformations
		base de mesure ne possède pas la moitié de la hauteur de l'éprouvette	le capteur de déplacement axial, il faut avoir la hauteur $\leq 0,5 \times$ hauteur de l'éprouvette
	5.6 Les capteurs de déformations radiales		
2	Les déformations radiales de l'éprouvette doivent être mesurées dans la partie centrale de l'éprouvette, en utilisant un ou plusieurs capteurs en contact direct avec l'éprouvette. Un dispositif approprié pour la mesure des	mesurées dans la partie centrale de l'éprouvette	3 capteurs de déformation radiale
		au moins 1 capteur de déformation	

	déformations radiales utilisant trois capteurs déplacement linéaires est décrit dans l'annexe A.		
	Les déformations axiales et radiales doivent être mesurées avec une certitude de mesure $l = 5 \times 10^{-3} \text{ mm} + 10^{-3} \times L$ (où L est la valeur du déplacement mesuré, en mm)		
	Annexe A.1		
	Utilise trois capteurs de déplacement linéaires de types LVDT pour la mesure de déformation axiale de l'éprouvette et trois capteurs de déplacement linéaire de type LVDT pour la mesure des déformations radiales.	capteurs de déplacement linéaire de types LVDT	capteurs de déplacement linéaire de types LVDT
3	Les capteurs de déplacement axiaux sont placés verticalement, à 120° l'un de l'autre, et mesurent le déplacement vertical sur 100 mm, sur la partie centrale de l'éprouvette. Les capteurs de déplacement radiaux sont placés horizontalement, à 120° l'un de l'autre, à mi-hauteur de l'éprouvette. Tous les capteurs viennent s'ancrer sur des plots scellés dans l'éprouvette au cours de compactage. les plots de fixation sont constitués de 3 parties :		Trois capteurs de déformation axiaux se situent à 120° l'un de l'autre. Trois capteurs de déformation radiaux se situent à 120° l'un de l'autre à mi-hauteur de l'éprouvette.
	Un plot, se trouvant à l'intérieur du matériau. Chacun de ces plots est fixé sur la paroi intérieure du moule de compactage avant le compactage de matériau, et scellé dans l'éprouvette au cours de compactage.	Des plots (plot, anneau, et vis de fixation)	Des plots (plot, anneau, et vis de fixation), au moins 9 (9 plots pour une éprouvette)
	Une rondelle et une vis spécifique, qui se trouvent à l'extérieur de la membrane, et viennent de se visser sur le plot après réalisation d'un trou dans la membrane. Les têtes de ces vis servent de support aux noyaux des capteurs de déplacement.	Des vis spécifiques	Des vis spécifiques au moins 9 (9 plots pour une éprouvette)
		Des rondelles	Des rondelles au moins 9 (9 plots pour une éprouvette)

Epreuves			
1	Annexe A.1	des plots sont à l'intérieur du	Le moule pour faire des éprouvettes :

		matériau	100 mm ou 160 mm de diamètre inférieur et de hauteur 200 mm ou 320 mm avec 9 trous petits pour appliquer des plots
2	5.1. Caractéristiques générales L'appareil d'essai doit permettre de réaliser les chargements spécifiés dans cette norme sur une éprouvette cylindrique, dont la diamètre \varnothing est supérieur à cinq fois la dimension des plus gros éléments du matériau, et la hauteur égale à deux fois le diamètre ($\pm 2\%$).		\varnothing éprouvette = 100 mm, h éprouvette = 200 mm ou \varnothing éprouvette = 160 mm, h éprouvette = 320 mm
3.	Annexe B	compactage par vibrocompression ou compactage au marteau vibrant	

Membranes			
1	Annexe A.1	les rondelles et les vis se trouvent à l'extérieur de la membrane et se vissent sur les plots	La membrane pour éprouvettes : \varnothing membrane non tendu $\geq 0,95$ \varnothing éprouvette, h membrane $> h$ éprouvette, e membrane $\leq 0,008 \varnothing$ éprouvette
2	5.1. Caractéristiques générales		
3	5.11 Membrane La membrane utilisée pour envelopper l'éprouvette doit assurer une étanchéité efficace. Afin d'offrir une résistance minimale à l'éprouvette, le diamètre de la membrane non tendue ne doit pas être inférieur à 95 % du diamètre de l'éprouvette. L'épaisseur de la membrane ne doit pas dépasser 0,8 % du diamètre de l'éprouvette. La membrane doit être fixée sur les embases de l'éprouvette au moyen de joint torique en caoutchouc dont le diamètre inférieur, non tendu, est inférieur à 90 % du diamètre des embases ou par un autre moyen	\varnothing membrane non tendu $\geq 0,95 \varnothing$ éprouvette, h membrane $> h$ éprouvette, e membrane $\leq 0,008 \varnothing$ éprouvette	Avec 9 petits trous pour mettre des rondelles et des vis spécifiques

	permettant d'assurer l'étanchéité.		
Autres			
1	5.7. Autres appareillages		
	Dispositif d'alimentation des capteurs, de conditionnement et d'acquisition des signaux, permettant d'enregistrer simultanément la charge axiale, la pression dans la cellule ainsi que les déformations axiales et radiales.	dispositif d'alimentation	
	Le système d'acquisition doit avoir une fréquence de mesure suffisante pour permettre de déterminer les valeurs minimales et maximales des contraintes appliquées et des déformations obtenues, à la fréquence d'essai utilisée.	fréquence de mesure suffisante du système d'acquisition	
2	5.8. Embases supérieure et inférieure		
	Les embases inférieure et supérieure doivent être conçues pour assurer un drainage aux deux extrémités de l'éprouvette. Elles doivent être fabriquées dans un matériau rigide, résistant à la corrosion et imperméable et elles doivent posséder une section circulaire et une surface plane (excepté les orifices de drainage), en contact avec les disques poreux de section circulaire. Le diamètre des embases doit être égal ou supérieur au diamètre initial de l'éprouvette.	les embases pour système de drainage dans la cellule	Ø embase inférieure et supérieure = 100 mm ou 160 mm (on a déjà l'embase de 100 mm de diamètre)
	L'embase inférieure de l'éprouvette doit être solidaire e la cellule triaxiale afin d'éviter tout déplacement latéral ou basculement; et l'embase supérieure doit être conçue pour que l'erreur d'alignement entre le piston de chargement, en contact avec l'embase, et l'axe vertical de l'éprouvette ne dépasse pas 1% du diamètre de l'éprouvette. La surface latérale des embases, sur laquelle on fixe la membrane, pour assurer l'étanchéité, doit être lisse et	embase solidaire	
		l'erreur d'alignement $\leq 1\% \times \text{Ø}$ éprouvette	

	exempte de rayures.		
	5.9. Disques poreux		
3	Les éprouvettes doivent être séparées des embases par des disques poreux rigides, d'un diamètre égal ou légèrement inférieur à celui de l'éprouvette. Les disques doivent être vérifiés régulièrement en faisant circuler de l'air ou de l'eau sous pression à travers eux afin de déterminer s'ils ne sont pas colmatés.	Deux disques poreux pour séparer des embases et éprouvettes Les disques peuvent circuler de l'air et de l'eau sous pression	Deux disques poreux en diamètre \varnothing de 100 mm ou 160 mm qui sont appropriés avec des embases.
	5.10. Filtres semi-perméables		
4	Pour réaliser des essais à teneur en eau constante, et avec des conditions d'humidité ou de succion contrôlées, il est nécessaire d'utiliser des filtres semi-perméables, qui ont la propriété d'être imperméables à l'eau et perméables à l'air. Ces filtres doivent être placés entre les extrémités de l'éprouvette et les embases. Le diamètre des filtres doit être égal à celui de l'éprouvette et leur masse surfacique comprise entre 50 g/m ² et 80 g/m ² .	Filtres semi-perméables : imperméables à l'eau, perméables à l'air Le diamètre des filtres doit être = \varnothing éprouvette Leur masse surfacique comprise entre 50 g/m ² et 80 g/m ² .	Des filtres semi-perméables de diamètre = \varnothing éprouvette, donc ici 100 mm ou 160 mm avec leur masse surfacique comprise entre 50 g/m ² et 80 g/m ² .
5	Logiciel approprié, asservissement	logiciel approprié pour faire ce test, il faut pouvoir commander d'appliquer le chargement axial, confinement en statique et/ou en cyclique, et puis pour mesurer le déplacement axial et cyclique, etc.	

Conclusion

Nous avons besoin :

1. Capteur de déformation axiale (au moins 2)¹⁴
2. Capteur de déformation radiale (au moins 1)¹⁵
3. L'embase appropriée pour l'éprouvette de diamètre \varnothing embases de 160 mm.
4. Membrane de diamètre \varnothing 152 mm (pour l'éprouvette de diamètre \varnothing éprouvette de 160 mm) et membrane de diamètre 95 mm (pour l'éprouvette de diamètre de 100 mm) avec des trous appropriés pour mettre les vis.
5. Disques poreux
6. Filtres semi-perméables
7. Les vis, les rondelles, les plots
8. Le moule pour faire d'éprouvette (blanc) avec des trous appropriés pour mettre les vis.
9. Le système d'asservissement approprié.

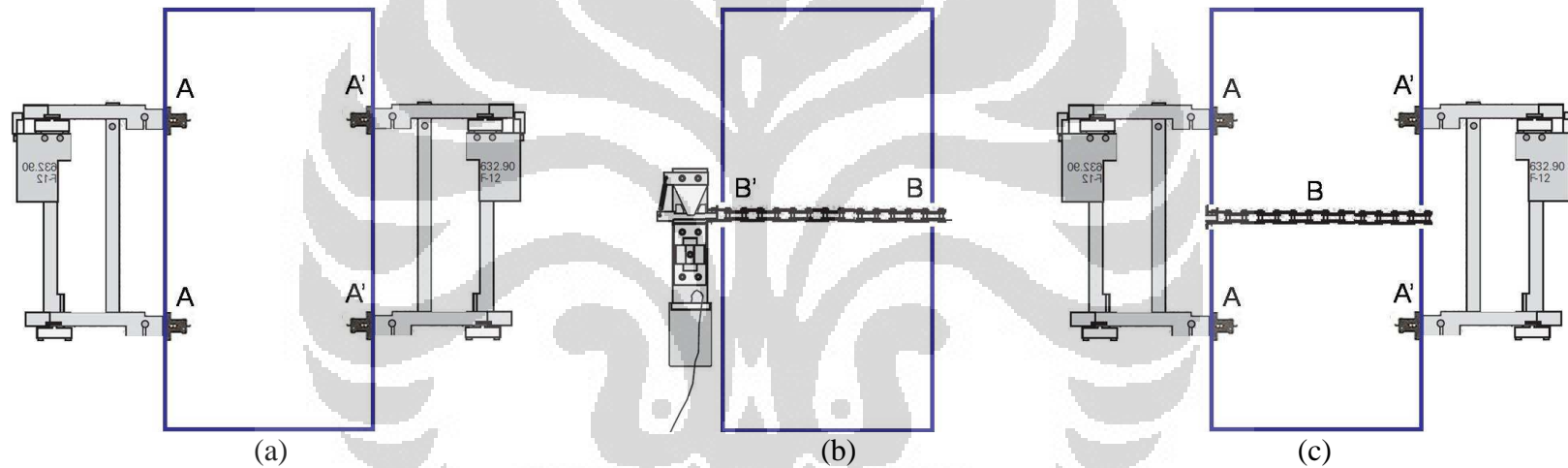
¹⁴ La norme nous propose qu'on utilise 3 capteurs

¹⁵ La norme nous propose qu'on utilise 3 capteurs

Annexe 7. Essai Triaxial Graves Non Traitées

Cette annexe consiste des esquisses pour essai triaxial de l'éprouvette graves non traitées. Cette annexe est une conclusion faite à partir de la norme NF EN 13288-7 : Mélanges avec ou sans liant hydraulique (Partie 7 Essai triaxial sous charge cyclique pour mélanges sans liant hydraulique) et le dossier MTS : « *MTS Rock and Concrete Mechanics Testing Systems* »

A. L'esquisse de positionnement d'extensomètre.



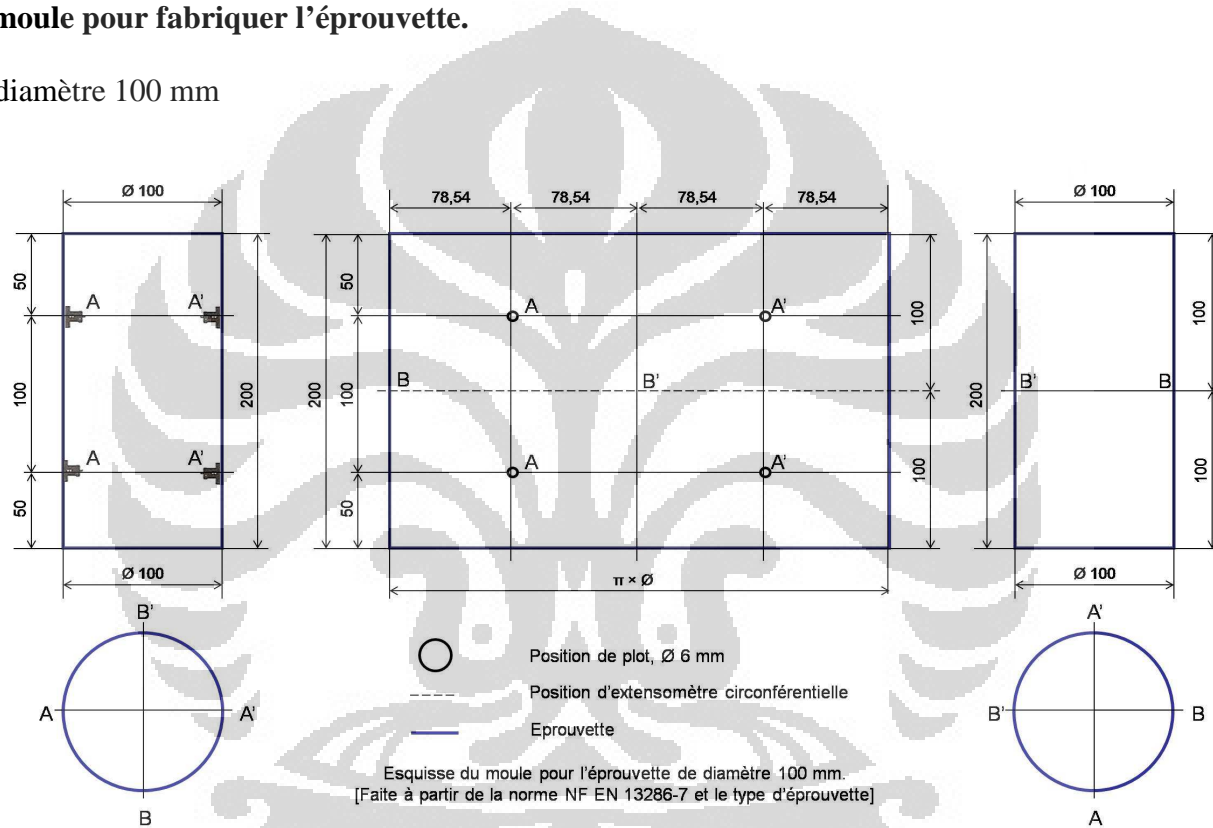
Positionnement d'extensomètre.

(a). Extensomètres de type 632.90 ; (b). Extensomètres de type 632.92 ; (c). Capteur de déplacement axial et radial.¹⁶

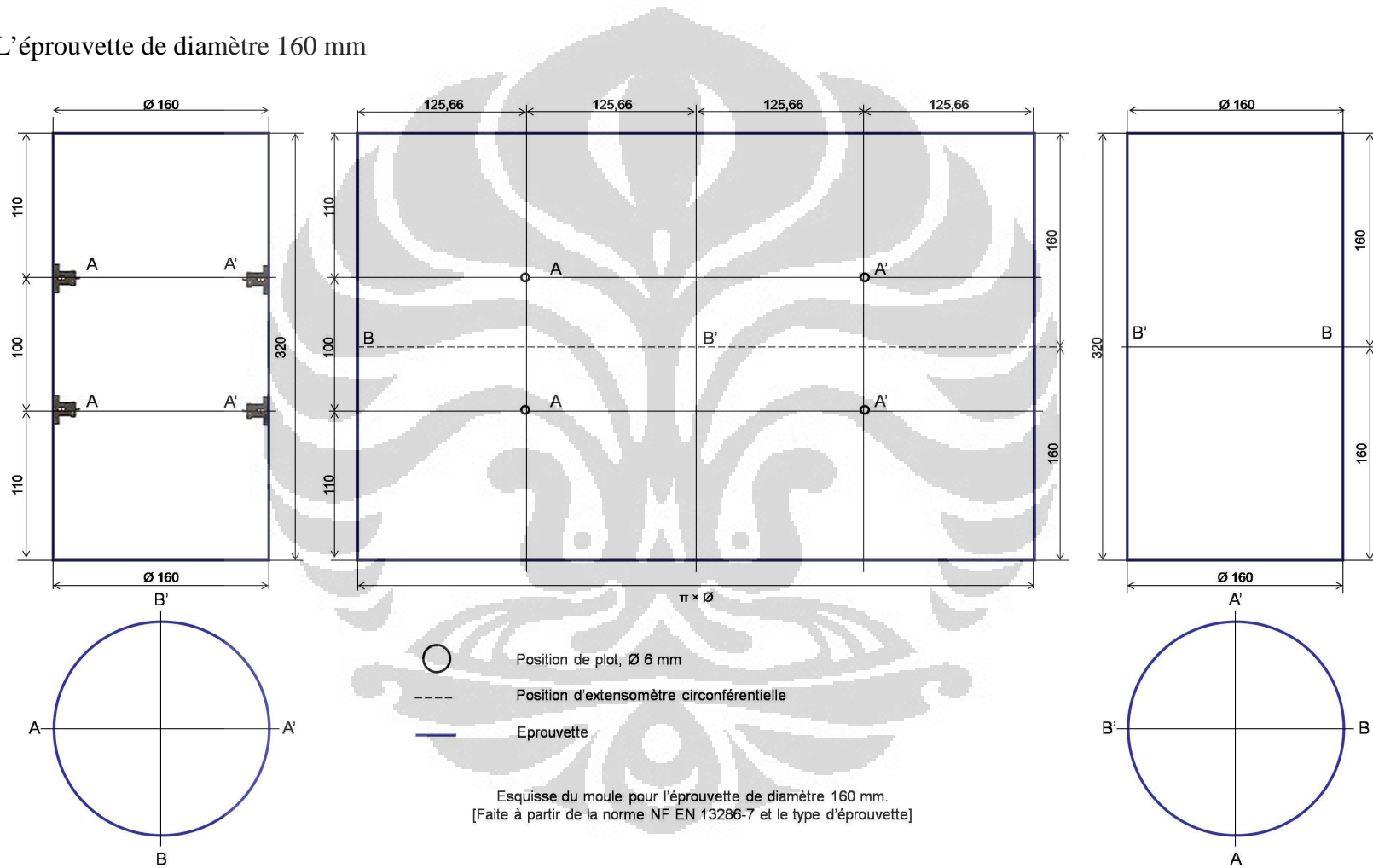
¹⁶ On peut constater que l'esquisse de positionnement de l'extensomètre est estimée à partir de la norme où la distance minimum entre deux points de l'extensomètre est 100 mm.

C. L'esquisse du moule pour fabriquer l'éprouvette.

i. L'éprouvette de diamètre 100 mm



ii. L'éprouvette de diamètre 160 mm



Annexe 8. Résultat d'essai préliminaire sur l'éprouvette enrobe mélange hydrocarboné a chaud

NF EN 12697-25

ESSAI DE COMPRESSION CYCLIQUE POUR MELANGE BITUMINEUX HYDROCARBONE A CHAUD

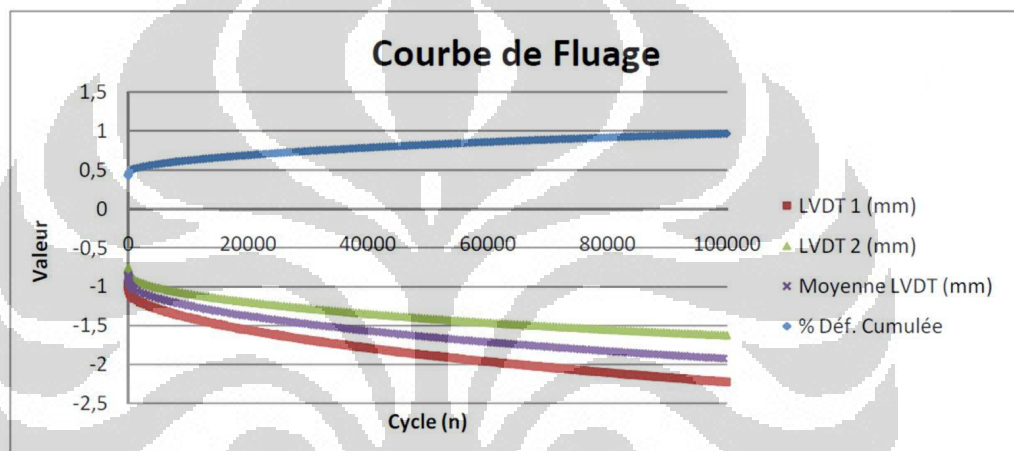
Date 23-juil-10

N° dossier : 1

Eprouvette	
Type et l'origine	:
N° d'identification	:
Méthode de préparation	:
Diamètre moyen	:
Hauteur moyenne (h0)	:
Masse volumique	:
Particularités	:

Conditions d'essai	
Température	:
Contrainte de confinement	:
Forme de signal cyclique	:
Amplitude de la contrainte sinusoidal avec décalage d'origine	:
Fréquence	:
Durée d'impulsion	:
Période de repos	:

Résultat d'essai

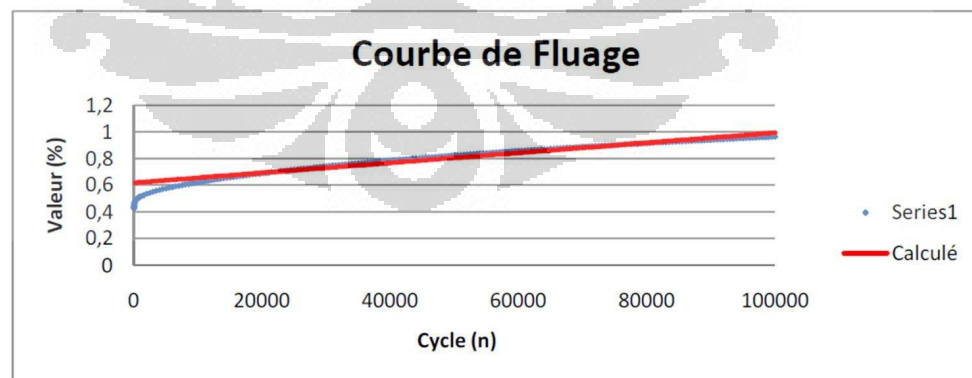


$$\varepsilon_n = 100 \cdot \frac{(h_0 - h_n)}{h_0} \quad \text{où} \quad \text{Moyenne LVDT} = (h_0 - h_n) \quad \text{et} \quad \varepsilon_n = \% \text{ Déf. Cumulée}$$

Méthode 1 : Détermination de la vitesse de fluage, f_c

$$\varepsilon_n = A_1 + B_1 \cdot n \quad f_c = B_1 \cdot 10^4$$

Nous supposons que la partie de la phase 2 de la courbe de fluage est commencé depuis le 5000e cycle



Nous avons :

$$Y = 0,615455767478988 + 0,000003771052112841 \cdot X$$

$$A1 = 0,615455767$$

$$B1 = 3,77105E-06$$

$$f_c = 0,037710521$$

NF EN 12697-25

ESSAI DE COMPRESSION CYCLIQUE POUR MELANGE BITUMINEUX HYDROCARBONE A CHAUD

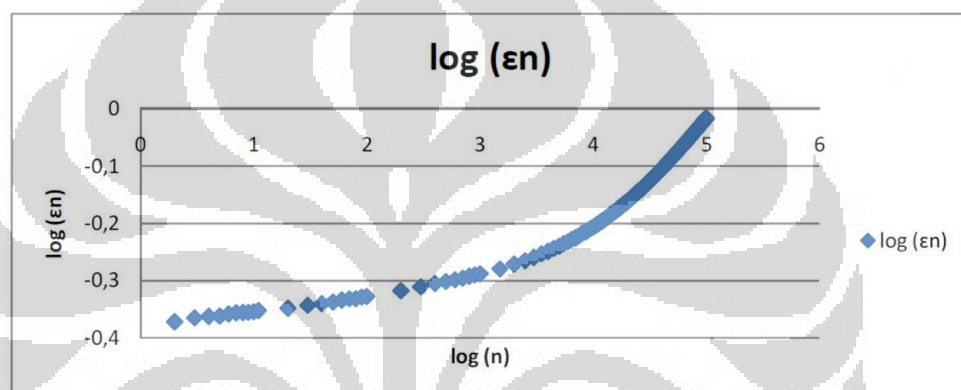
Date : 23-juil-10
N° dossier : 1

Eprouvette	
Type et l'origine	:
N° d'identification	: n° Ep 1
Méthode de préparation	: NF EN 12697-33+A1
Diamètre moyen	: 95 mm
Hauteur moyenne (h0)	: 200 mm
Masse volumique	: g/cm3
Particularités	:

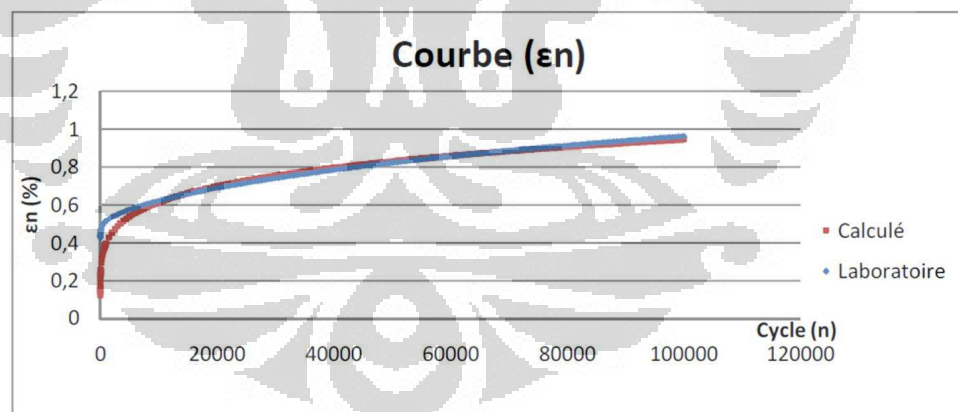
Conditions d'essai	
Température	: 30 °C
Contrainte de confinement	: kPa
Forme de signal cyclique	: sinusoïdal
Amplitude de la contrainte sinusoïdal avec décalage d'origine	: kPa
Fréquence	: 5 Hz
Durée d'impulsion	: 20123,436 s
Période de repos	: s

Méthode 2 : Détermination des paramètres B et ϵ_{1000} calculé

$$\epsilon_n = A \cdot n^B \quad \text{ou} \quad \log(\epsilon_n) = \log A + B \cdot \log n$$



Nous supposons que la partie de la phase 2 de la courbe de fluage est commencé depuis le 5000e cycle



$$\begin{aligned} \log(\epsilon_n) &= B \log(n) + \log(A) \\ \log A &= -0,965234673 \\ A &= 0,108334137 \\ B &= 0,188159263 \\ (\epsilon_n) &= 0,108334136750233 \cdot n^{0,18815926290407} \\ (\epsilon_{1000})_{\text{calculé}} &= 0,397413957 \end{aligned}$$

Fidélité

Aucun exercice de fidélité n'a encore été effectué conformément à la présente norme