



HAL
open science

Comportement mécanique évolutif des enrobés bitumineux à l'émulsion : étude expérimentale et modélisation

Marion Lambert

► **To cite this version:**

Marion Lambert. Comportement mécanique évolutif des enrobés bitumineux à l'émulsion : étude expérimentale et modélisation. Génie civil. Université de Limoges, 2018. Français. NNT : 2018LIMO0113 . tel-02272136

HAL Id: tel-02272136

<https://theses.hal.science/tel-02272136v1>

Submitted on 27 Aug 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Limoges

ED 609 - Sciences et Ingénierie des Matériaux, Mécanique,
Énergétique (SIMME)

Laboratoire GC2D et IFSTTAR

Thèse pour obtenir le grade de
Docteur de l'Université de Limoges

Discipline : Génie civil

Présentée et soutenue par
Marion Lambert

Le 27 novembre 2018

Comportement mécanique évolutif des enrobés bitumineux à l'émulsion : étude expérimentale et modélisation

Thèse dirigée par Christophe Petit et Vincent Gaudefroy

JURY :

Rapporteurs :

M. Yves Berthaud, Professeur des Universités, Laboratoire de Mécanique et Technologie, Université Pierre et Marie Curie, Paris.

M. Alan Carter, Professeur des Universités, Ecole de Technologie Supérieure, Université du Québec.

Examineurs :

M. Vincent Gaudefroy, chargé de recherche, Institut Français des Sciences et Technologies des Transports et de l'Aménagement, Nantes

Mme. Anne Millien, Maître de conférences, Laboratoire de Génie Civil, Diagnostic et Durabilité, Université de Limoges.

M. Christophe Petit, Professeur des Universités, Laboratoire de Génie Civil, Diagnostic et Durabilité, Université de Limoges.

M. Jean-Michel Piau, Ingénieur, Institut Français des Sciences et Technologies des Transports et de l'Aménagement, Nantes

Invités

M. Maël Buannic, Docteur, Direction des Affaires Techniques, Routes de France, Paris



Remerciements

Cette thèse s'est déroulée entre l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux de Bouguenais et le laboratoire de Génie Civil, Diagnostic et Durabilité d'Egletons, et a été financée par Routes de France. Je remercie M. Ferhat Hammoum, directeur de l'unité Matériaux pour les Infrastructures de Transport, pour m'avoir accueillie au sein de l'IFSTTAR.

Je tiens tout particulièrement à remercier M. Yves Berthaud et M. Alan Carter pour leurs contributions en tant que rapporteurs de thèse et M. Maël Buannic pour être venu assister à ma soutenance.

Je remercie M. Christophe Petit, directeur du laboratoire de Génie Civil, Diagnostic et Durabilité et directeur de cette thèse d'avoir cru en mes capacités pour mener à bien ces travaux de thèse.

Je tiens à remercier M. Vincent Gaudefroy co-directeur de cette thèse pour m'avoir conseillée et soutenue durant ces années de thèse.

Je souhaite remercier M. Frédéric Dubois pour ses conseils et son regard extérieur sur mes travaux qui furent particulièrement enrichissants.

Je remercie vivement Mme. Anne Millien pour sa présence constante malgré l'éloignement, ses conseils toujours avisés et son soutien sans faille.

Mes remerciements vont tout particulièrement à M. Jean-Michel Piau, qui a toujours été disponible quand j'en avais besoin. Merci pour les discussions, les conseils et la bienveillance qui ont permis le bon déroulement de cette thèse.

Je remercie Mme. Christine Leroy d'avoir cru au potentiel de cette thèse et de la confiance placée en moi pour mener à bien ce sujet.

Merci à M. Olivier Burban, M. Stéphane Bouron, M. Sébastien Buisson et tout particulièrement M. Jean-Luc Geffard qui m'ont aidé à la réalisation de mes campagnes d'essais.

Merci à mes collègues de l'IFSTTAR et du GC2D de m'avoir particulièrement bien accueillie dans chaque laboratoire.

Un grand merci à mes parents, ma sœur et mes amis pour leur soutien tout au long de ces années.



Table des matières

| | |
|---|----|
| Remerciements | 2 |
| Introduction | 1 |
| Chapitre I. Étude bibliographique | 3 |
| I.1. Introduction | 3 |
| I.2. Généralités sur les chaussées | 3 |
| I.2.1. Structure de chaussée | 3 |
| I.2.2. Méthode de dimensionnement des chaussées | 4 |
| I.3. Généralités sur les enrobés bitumineux et des matériaux granulaires | 6 |
| I.3.1. Différents types d'enrobés bitumineux | 6 |
| I.3.2. Composition des enrobés bitumineux | 7 |
| I.3.3. Comportement mécanique des enrobés bitumineux..... | 12 |
| I.3.4. Méthode de formulation des enrobés à chaud..... | 18 |
| I.3.5. Comportement mécanique des matériaux non liés..... | 22 |
| I.4. Généralités des graves émulsion..... | 27 |
| I.4.1. Composition des graves émulsion..... | 27 |
| I.4.2. Comportement mécanique des enrobés à l'émulsion..... | 28 |
| I.4.3. Méthode de formulation | 31 |
| I.4.4. Méthode de dimensionnement | 33 |
| I.5. Conclusion de la partie bibliographique | 34 |
| Chapitre II. Loi de comportement 1D pour les enrobés à l'émulsion..... | 37 |
| II.1. Nécessité d'un nouveau modèle à la transition entre ENL et VE | 37 |
| II.2. Développement de la loi de comportement en 1D | 38 |
| II.3. Modèles rhéologiques constitutifs | 38 |
| II.3.1. Comportement élastique non linéaire | 38 |
| II.3.2. Décomposition spectrale | 38 |
| II.4. Choix d'une loi VEL et représentation spectrale..... | 41 |
| II.4.1. Décomposition de la loi VE en spectre de fluage | 41 |
| II.5. Modèle de comportement VENL 1D pour enrobé à l'émulsion | 43 |
| II.5.1. Loi de comportement du modèle VENL 1D à historique de contrainte σt donné.. | 44 |
| II.5.2. Algorithme de calcul de la loi VENL 1D et implémentation numérique..... | 47 |



| | | |
|---------------|--|-----|
| II.5.3. | Validation des modèles ENL et VE | 49 |
| II.5.4. | Simulation VENL 1D d'un mûrissement | 54 |
| II.6. | Conclusion | 58 |
| Chapitre III. | Loi de comportement évolutive 3D pour enrobés à l'émulsion | 59 |
| III.1. | Introduction | 59 |
| III.2. | Représentation spectrale 3D du modèle ENL de Boyce | 59 |
| III.2.1. | Décomposition spectrale 3D d'une loi ENL isotrope | 59 |
| III.2.2. | Application à la loi de Boyce | 62 |
| III.2.3. | Interprétation | 70 |
| III.2.4. | Calcul numérique de la réponse du spectre ENL 3D à efforts \mathbf{p} et \mathbf{q} donnés | 75 |
| III.2.5. | Validations des programmes $\mathbf{ENLp, q}$ et $\mathbf{ENL\varepsilon v, \varepsilon d}$ et de l'équivalence entre le modèle de Boyce et son approche spectrale à partir de la simulation d'un essai triaxial | 80 |
| III.2.6. | Conclusion sur le modèle ENL 3D | 82 |
| III.3. | Viscoélasticité 3D | 82 |
| III.4. | « Fusion » 3D entre ENL et VE | 84 |
| III.4.1. | Loi de comportement du modèle VENL 3D à historique de contrainte $\boldsymbol{\sigma}(\mathbf{t})$ donné | 85 |
| III.4.2. | Calcul des déformations $\boldsymbol{\varepsilon v}(\mathbf{t} + \mathbf{1})$ et $\boldsymbol{\varepsilon d}(\mathbf{t} + \mathbf{1})$ à efforts donnés | 88 |
| III.4.3. | Implémentation numérique à efforts donnés | 89 |
| III.4.4. | Calcul des contraintes $\mathbf{p}(\mathbf{t} + \mathbf{1})$ et $\mathbf{q}(\mathbf{t} + \mathbf{1})$ à déformations données | 93 |
| III.4.5. | Implémentation du code de calcul $\mathbf{VENLoedo}$ dans le cas d'une simulation d'un essai œdométrique | 96 |
| III.4.6. | Auto-vérification des programmes VENL 3D | 99 |
| III.4.7. | Incidence du paramètre \mathbf{A} | 101 |
| III.5. | Conclusion | 102 |
| Chapitre IV. | Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion | 103 |
| IV.1. | Nécessité du développement d'un essai de caractérisation du comportement évolutif des enrobés à l'émulsion | 103 |
| IV.1.1. | Choix de l'essai | 103 |
| IV.1.2. | Dispositif et moyens expérimentaux | 104 |
| IV.2. | Essais de faisabilité et modifications du dispositif d'essai | 107 |
| IV.2.1. | Description du matériau utilisé | 107 |
| IV.2.2. | Premiers essais de faisabilité | 109 |



| | | |
|--------------|--|-----|
| IV.2.3. | Nouveau dispositif d'essai..... | 112 |
| IV.2.4. | Nouvelle acquisition..... | 115 |
| IV.3. | Validation du dispositif..... | 122 |
| IV.3.1. | Essai sur Delrin®..... | 122 |
| IV.3.2. | Essai sur BBSG..... | 124 |
| IV.4. | Conclusion..... | 129 |
| Chapitre V. | Résultats des différentes campagnes d'essais et mise en œuvre du modèle..... | 131 |
| V.1. | Introduction..... | 131 |
| V.2. | Description et résultats des campagnes d'essais 1 et 2 sur un enrobé à l'émulsion « classique »..... | 131 |
| V.2.1. | Matériau utilisé..... | 131 |
| V.2.2. | Essai de mûrissement..... | 133 |
| V.2.3. | Résultats de l'essai de mûrissement et de l'essai œdométrique..... | 136 |
| V.3. | Description et résultats de la campagne d'essais n°3 sur grave émulsion utilisant des agrégats d'enrobé..... | 150 |
| V.3.1. | Matériau utilisé..... | 150 |
| V.3.2. | Essai de mûrissement..... | 152 |
| V.3.3. | Résultats de l'essais de mûrissement et d'essai œdométrique..... | 153 |
| V.4. | Mise en œuvre et calage du modèle VENL 3D..... | 156 |
| V.4.1. | Détermination des paramètres élastiques non linéaires..... | 157 |
| V.4.2. | Calage des paramètres viscoélastiques valeur δ fixée..... | 165 |
| V.4.3. | Fonction $A(\theta_{actuelle}, dm\hat{u}r)$ de mûrissement et de sensibilité à la température actuelle - Hypothèses pour sa modélisation..... | 170 |
| V.4.4. | Fonction $A(\theta_{actuelle}, dm\hat{u}r)$ de mûrissement et de sensibilité à la température actuelle – Identification de ses valeurs expérimentales..... | 172 |
| V.4.5. | Calage des paramètres viscoélastiques à valeur δ variable..... | 175 |
| V.5. | Fonction $\delta(\theta_{actuelle}, dm\hat{u}r)$ de mûrissement et de sensibilité à la température actuelle..... | 176 |
| V.6. | Conclusion..... | 177 |
| Chapitre VI. | Conclusion..... | 180 |



Introduction

Il existe une préoccupation croissante de la communauté routière française pour promouvoir et développer des solutions techniques plus respectueuses de l'environnement. Dans le domaine des chaussées, les techniques à l'émulsion de bitume sont des solutions plus respectueuses de l'environnement. En effet, ces matériaux sont élaborés et mis en œuvre à température ambiante qui, contrairement aux enrobés à chaud, ils nécessitent moins d'énergie et limitent les rejets de gaz à effet de serre lors de leur fabrication.

La connaissance, la formulation et les performances de ces matériaux s'appuient sur des savoir-faire locaux. Ils ne permettent pas facilement la transposition des règles établies d'une région à une autre ce qui limite le déploiement de la technique à l'échelle nationale. Les acteurs de ce projet regroupant industriels et académiques, souhaitent accompagner la démarche actuelle française pour favoriser le recours aux techniques routières durables à l'émulsion et voir à terme leur domaine d'application s'élargir à des trafics plus élevés que ceux habituellement réservés à ce type de matériau.

Les matériaux à l'émulsion de bitume présentent un caractère fortement évolutif, du fait de l'utilisation de l'émulsion (dispersion de bitume dans de l'eau) qui est un système instable. Lors de l'étape de mélange de l'émulsion et des granulats, un phénomène de rupture de l'émulsion est observé. Il se traduit par une séparation de phase entre l'eau et le bitume. Cette rupture est fortement liée à la formulation de l'émulsion et aux granulats (et agrégats) utilisés. Après la rupture, le matériau continue à évoluer en passant par une cinétique mal connue et généralement non maîtrisée d'un comportement souple, de matériau granulaire faiblement lié, à celui nettement plus rigide d'un enrobé, au cours d'une phase de mûrissement d'une durée variable. Il en résulte dans le même temps de fortes modifications qualitatives et quantitatives du comportement des chaussées sous trafic.

L'objectif de ce travail de thèse consiste à développer un modèle générique évolutif pour enrobé bitumineux à l'émulsion de bitume ainsi qu'un essai de caractérisation pour mesurer, du point de vue mécanique, l'évolution du comportement du matériau en fonction du temps de son état frais à un état mûri et alimenter par des résultats expérimentaux la loi de comportement.

Pour cela, ce mémoire de thèse est divisé en cinq chapitres. Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique de la structure d'une chaussée et des matériaux routiers liés et non liés. Il décrit également les connaissances sur la grave émulsion, de leur composition à leur dimensionnement et l'importance des recherches qu'il reste encore à mener pour mieux comprendre leur comportement mécanique.

Le deuxième chapitre présente le développement du modèle viscoélastique non linéaire (VENL) à une dimension permettant de reproduire de façon simplifiée le comportement évolutif des enrobés à l'émulsion de bitume depuis l'état frais jusqu'à l'état mûri. Pour cela, nous utilisons une fusion entre un modèle élastique non linéaire (ENL) communément utilisé pour traduire le comportement des matériaux granulaires et un modèle viscoélastique (VE) utilisé pour traduire le comportement des enrobés à chaud liés par du bitume.



Le troisième chapitre présente une évolution du modèle VENL à une dimension qui doit permettre de modéliser le comportement mécanique d'un enrobé à l'émulsion en cours de mûrissement en utilisant la décomposition spectrale des lois de comportement isotropes ENL et VE formulées dans un espace tridimensionnel à l'aide de leurs composantes volumique et déviatorique et d'une « variable de mûrissement » A qui permet d'agir sur le poids respectif des composantes ENL et VE du modèle.

Le quatrième chapitre est dédié au développement du nouvel essai de type œdométrique pour caractériser le comportement évolutif des enrobés à l'émulsion. Dans ce chapitre, nous partons du choix des conditions d'essai jusqu'à la conception de l'essai pour finir par la validation de celui-ci au moyen de matériaux étalons dont les caractéristiques et les performances sont connues.

Pour finir, le cinquième chapitre est consacré d'abord à la présentation des résultats des campagnes d'essais réalisées toutes effectuées avec l'essai œdométrique permettant d'avoir une meilleure compréhension du comportement du matériau durant son mûrissement. Pour cela, nous avons donc combiné plusieurs campagnes de mûrissement du matériau (en température et humidité) avec un essai de caractérisation des performances mécaniques réversibles du matériau. La deuxième partie de ce chapitre montre la pertinence du modèle en évaluant la « variable de mûrissement » et en calant les paramètres du modèle grâce à l'utilisation des résultats expérimentaux.

La conclusion synthétisera l'ensemble des principaux résultats du modèle et des résultats expérimentaux et établira le bilan sur la contribution de ce travail de thèse sur la compréhension du comportement mécanique réversible des enrobés à l'émulsion de bitume. Des perspectives de recherche sont proposées pour à terme dimensionner de manière rationnelle les chaussées constituées de couche de matériaux à l'émulsion de bitume.



Chapitre I. Étude bibliographique

I.1. Introduction

La conception d'une chaussée nécessite des connaissances sur la composition et le comportement des matériaux qui la composent ainsi que des règles de dimensionnement en fonction de la densité de trafic visée. Or nous allons voir dans ce chapitre que la méthode française de dimensionnement des chaussées ne repose que sur le dimensionnement de deux matériaux : les matériaux granulaires non liés et les enrobés (matériaux liés). Nous allons voir que les matériaux évolutifs tels que les enrobés à l'émulsion de bitume ne sont pas pris en compte dans ce dimensionnement. Pour remédier à cela et prendre en compte des matériaux évolutifs dans le dimensionnement de chaussée, nous avons besoin de développer de nouveaux modèles et de mettre en place de nouveaux essais de caractérisation.

C'est pourquoi ce chapitre est divisé en trois parties :

- La première présente des généralités sur la composition et le dimensionnement des chaussées.
- La deuxième partie présente la formulation, la composition et le comportement des différents enrobés bitumineux à chaud et des matériaux granulaires.
- La dernière partie présente l'état de l'art concernant la compréhension sur la formulation et le comportement des enrobés à l'émulsion de bitume.

Ces trois parties présentent l'ensemble des matériaux utilisés pour leur construction en partant des matériaux granulaires jusqu'aux différents types d'enrobés dont les comportements et le dimensionnement sont spécifiques.

A la fin de ce chapitre, nous aurons mis en évidence le manque de connaissances du comportement et du dimensionnement des enrobés à l'émulsion. Cette base nous permettra d'établir les points d'amélioration qu'il reste à développer pour une meilleure compréhension du comportement de ces matériaux afin de les intégrer plus généralement comme couche structurante dans une chaussée.

I.2. Généralités sur les chaussées

I.2.1. Structure de chaussée

Pour assurer le confort et la sécurité des automobilistes tout en assurant la pérennité de la chaussée, elle doit être dimensionnée avec des matériaux dont les propriétés et les performances mécaniques seront susceptibles de résister à la charge du trafic qu'elle subira tout au long de sa vie. Il faut savoir qu'une chaussée est composée de plusieurs couches (Figure 1). Le nombre de couches et leur caractéristique dépendent de l'importance du trafic. Une chaussée dont la densité de trafic est très élevée, devrait être composée de trois couches principales construites sur un sol support adapté.



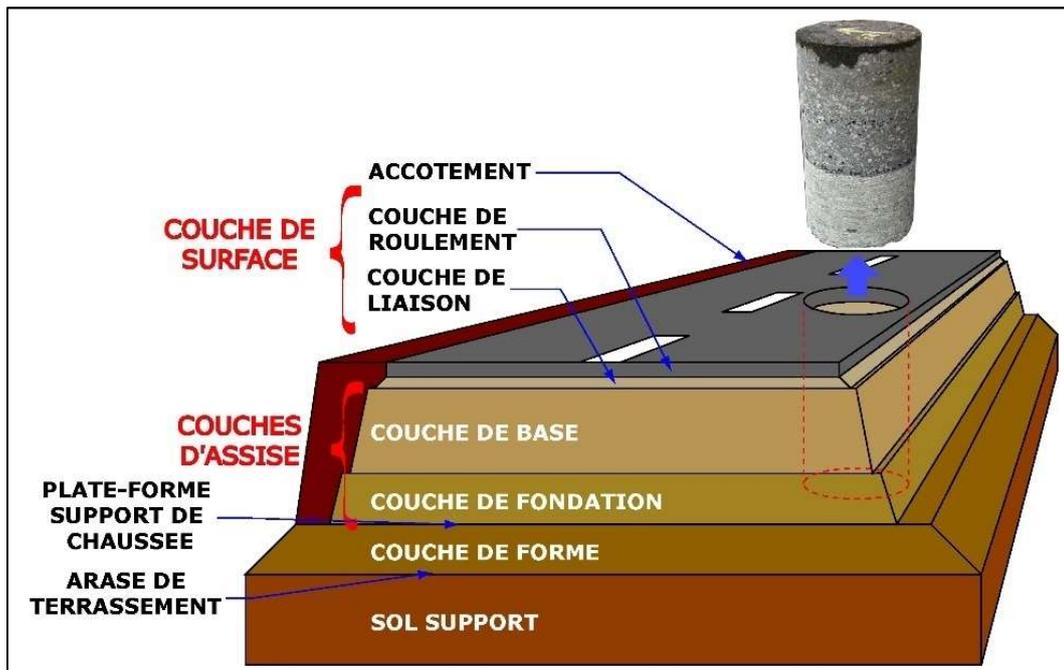


Figure 1 - Structure de chaussée.

La couche de forme est la première étape de construction d'une chaussée, elle est composée de matériau granulaire non lié et selon la portance du sol support, cette couche peut être facultative. Elle sert à limiter les déformations trop importantes de la chaussée et elle sert de plateforme pour le reste de la chaussée. C'est elle qui va définir la pente des couches supérieures.

L'étape suivante consiste à construire la couche d'assise. Elle est composée d'une couche de fondation et d'une couche de base, la composition de ces deux couches varie suivant le besoin en résistance de la chaussée et peut-être réalisée soit en enrobé bitumineux soit en matériau granulaire non lié. Ces deux couches servent à transmettre les efforts au sol sans se déformer pour empêcher la fissuration des couches supérieures. Un soin particulier est pris pour que la couche de base soit plane avant la pose des couches de surface.

La dernière couche de la chaussée se nomme la couche de surface et est composée de la couche de liaison qui est optionnelle et qui sert à protéger la couche de base des infiltrations d'eau et de la couche de roulement sur laquelle roule les usagers. Cette dernière est très importante pour le confort des usagers. Elle doit être à la fois résistante, ne pas se fissurer ou fluer, permettre une bonne adhérence du pneumatique mais également limiter les bruits de roulement.

1.2.2. Méthode de dimensionnement des chaussées

Les bases de la méthode de dimensionnement des chaussées telle qu'on les connaît aujourd'hui ont été fondées dans les années 1970 avec la parution d'un catalogue de nouvelles structures de chaussée [1]. Dans ce catalogue, deux critères sont utilisés pour le dimensionnement des chaussées à savoir :

- Une pression limite à ne pas dépasser sur la plateforme.
- Une déformation limite acceptable des couches liées.



Chapitre I – Etude bibliographique

Le logiciel Alizé développé en 1964 par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) a permis les premières vérifications de déformation des couches liées pour ce guide. Il a été par la suite systématiquement utilisé pour les calculs de déformation du nouveau guide [2].

La méthode de dimensionnement actuelle des chaussées [3] repose essentiellement sur les deux précédents guides et prend en compte les critères de durabilité des matériaux utilisés. Elle représente la chaussée comme une structure multicouche avec des conditions aux interfaces qui dépendent des matériaux. Dans un premier temps, il faut calculer les déformations maximales en bas de chacune des couches de chaussée au passage d'une charge de référence à savoir un essieu de 130 kN. Ce calcul est réalisé pour les enrobés bitumineux en prenant en compte une charge circulaire en surface de la structure et le module d'Young du matériau en règle générale à 15 °C, 10 Hz.

La structure choisie pourra alors être mise en œuvre si les sollicitations maximales produites par l'essieu de référence restent inférieures aux sollicitations admissibles des matériaux. Le calcul de la valeur de déformation admissible $\varepsilon_{z,ad}$ du matériau est fonction du critère de fatigue et du nombre de poids lourds qui passera sur cette chaussée tout au long de sa vie. Pour les enrobés bitumineux, il s'écrit :

$$\varepsilon_{z,ad} = \varepsilon_6(\theta_{eq}, f) \left(\frac{NE}{10^6}\right)^b k_r k_c k_s, \quad \text{Equation 1}$$

avec :

ε_6 est la déformation à appliquer pour avoir une rupture du matériau par fatigue à 10^6 cycles.

b est la pente de la courbe de fatigue.

NE est le nombre équivalent d'essieux.

k_r est un coefficient de sécurité qui prend en compte le risque de variation d'épaisseur et de dispersion de valeurs d'essai de fatigue.

k_s est un coefficient qui rend compte du type de plateforme support.

k_c est un coefficient qui prend en compte les écarts entre les résultats d'essais laboratoire et in situ.

Pour les matériaux granulaires, la valeur de la déformation admissible est :

$$\varepsilon_{z,ad} = A(NE)^{-0,222} \quad \text{Equation 2}$$

Où : A est égale à 0,012 pour un trafic moyen à lourd et 0,016 pour un plus faible trafic.

Le dimensionnement pour un type de chaussée donnée, consiste à définir les épaisseurs des couches de matériaux de façon à satisfaire l'égalité entre les déformations calculées et admissibles.



I.3. Généralités sur les enrobés bitumineux et des matériaux granulaires

I.3.1. Différents types d'enrobés bitumineux

Pour pouvoir réaliser ces différentes couches de chaussée, l'utilisation de granulats est primordiale. Les granulats constituent le squelette d'une chaussée, ils apportent une grande partie de la résistance de la couche de chaussée. Leur utilisation en voiries est tellement importante que la part des granulats destinée à la création de la chaussée représente plus de la moitié de la production totale de granulats. La qualité du granulat est donc primordiale pour la bonne tenue de la chaussée sous trafic.

Le deuxième élément entrant dans la composition de l'enrobé est le bitume. Le bitume est un liant issu du raffinage du pétrole qui permet le collage entre les granulats et confère au matériau sa cohésion, sa thermodépendance et son caractère hydrophobe lui permettant de résister à l'eau. La consistance et la rhéologie du bitume varie selon l'origine du brut, les conditions du raffinage

Comme le montre la Figure 2, les différents procédés d'enrobage bitumineux pouvant être utilisés dans ces couches de chaussée sont classés en fonction de leur température de fabrication en quatre familles : les enrobés à froid, les enrobés semi-tièdes, les enrobés tièdes et les enrobés à chaud [4]. La différence entre ces différentes classes provient du type de liant utilisé (émulsion, mousse, anhydre) et de la température des granulats utilisés pour l'étape de fabrication.

La communauté routière tend à promouvoir les techniques à froid et semi-tiède qui comme la Figure 2 le montre, ont l'avantage d'être beaucoup moins consommatrices d'énergie pour être fabriquées. Ces techniques apparaissent plus respectueuses de l'environnement que les solutions de référence à chaud car elles émettent moins de gaz à effet de serre (GES) lors de leur fabrication.

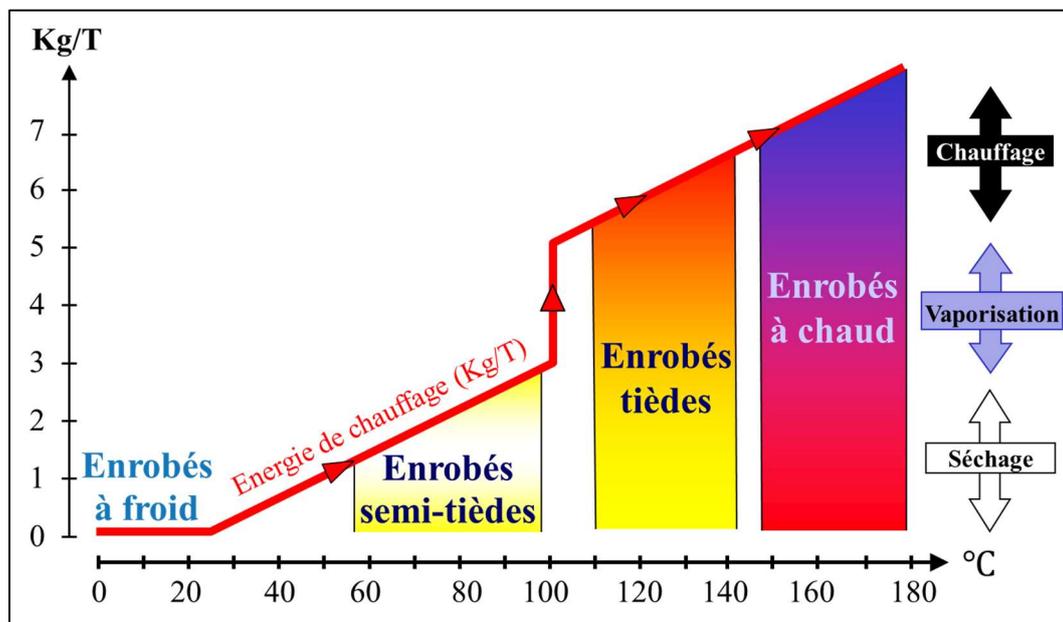


Figure 2 - Température de fabrication des enrobés en fonction de l'énergie de fabrication.



I.3.2. Composition des enrobés bitumineux

I.3.2.1. Matériau granulaire

Pour limiter le transport sur une longue distance (hors besoin très spécifique), les granulats utilisés en construction proviennent des lieux de production les plus proches du chantier. Ils sont obtenus par exploitation de gisements alluvionnaires ou de roches massives (calcaires ou éruptives). Or leur nature, leur forme et leurs caractéristiques sont définies en fonction de leurs lieux de production car souvent, ils ne proposent que des granulats ayant une même nature minéralogique. Chaque granulat a en effet une résistance, une tenue au gel et des propriétés physico-chimiques propres à sa nature pétrographique.

Pour chaque nature minéralogique, le lieu de production propose plusieurs classes granulaires [5] dont les dimensions du plus petit et du plus grand granulats sont désignés par d et D définie dans le Tableau 1. Les classes granulaires se nomment par exemple : 0/2, 0/4, 4/6, 6/10, 10/14...

Tableau 1 - Désignation des classes granulaires. [5]

| Désignation des granulats | Classes granulaires (d/D) |
|---------------------------|--|
| Fillers | $D \leq 0,063 \text{ mm}$ |
| Sables | 0/D où $D \leq 6,3 \text{ mm}$ |
| Graves | 0/D où $D \geq 6,3 \text{ mm}$ |
| Gravillons | d/D où $d \geq 1 \text{ mm}$ et $D \leq 125 \text{ mm}$ ex : 2/4 ; 4/8 ; 6/8 ; 8/10 ; 10/14 |

Les caractéristiques intrinsèques au matériau sont définies par :

- Leur masse volumique réelle.
- Leur porosité.
- Leur sensibilité au gel.
- Leur résistance à la fragmentation par l'essai de Los Angeles [6].
- Leur résistance à l'usure par l'essai micro-Deval [7].
- Leur résistance au polissage par l'essai de polissage accéléré [8] ou par projection [9].

Certaines caractéristiques du matériau proviennent de leur fabrication et sont définies par :

- Leur granularité par l'analyse granulométrique par tamisage [10] pour les gravillons, graves et sables et par l'analyse granulométrique par sédimentation [11] pour les fillers. Ces essais permettent de définir la distribution dimensionnelle des grains.
- Leur forme par l'essai d'aplatissement [12] donnant une valeur de coefficient A. Plus le coefficient A est faible plus le granulat est cubique.
- Leur propreté définie par l'essai au bleu de méthylène [13]. Plus le coefficient VBF est faible, plus les fillers sont propres.

Suivant la nature minéralogique et les caractéristiques des granulats, ils ne pourront pas être utilisés dans n'importe quelle couche de chaussée. En effet, des granulats ayant un coefficient LA faible ne pourront pas être utilisés en tant que couche de fondation ou des granulats ayant un faible



coefficient CPA (ou RPA) ne pourront pas être utilisés en couche de roulement. Les caractéristiques intrinsèques des granulats ne sont pas à négliger lors du choix du matériau de chaque couche.

Le mélange des différentes classes granulaires et de fines ($< 63 \mu m$) dont un exemple est présenté sur la Figure 3 tiré de la référence [14] permet d'obtenir le mélange granulaire désiré pour la formulation de l'enrobé. L'utilisation de ces différentes classes permet d'obtenir une compacité élevée et ainsi obtenir un pourcentage de vides entre 10 et 15 %. Une compacité élevée permet d'augmenter la résistance à la déformation de l'enrobé mais un léger pourcentage de vides permet également de drainer l'eau et de ne pas la laisser stagner en surface. Le squelette granulaire principal composant d'un enrobé bitumineux peut être composé soit d'un mélange granulaire soit de recyclés à 50 % pour les procédés anhydres et jusqu'à 100 % pour les procédés à froid (à la mousse ou à l'émulsion).

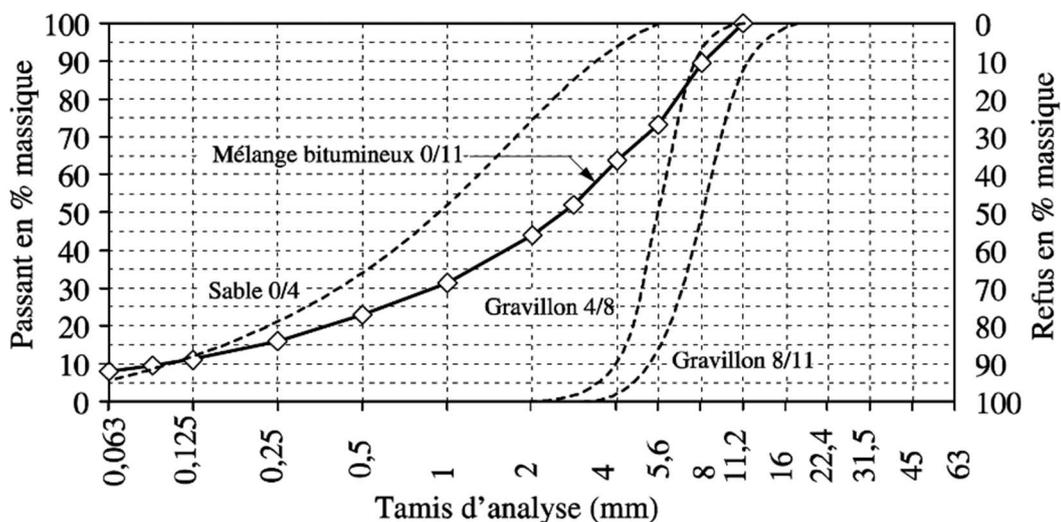


Figure 3 - Mélanges granulaires composés de trois classes granulaires.

Lorsqu'une chaussée est trop endommagée, il arrive qu'elle soit entièrement remplacée, pour cela, les entreprises de travaux publics viennent retirer la couche d'enrobé dégradée. Pour des questions de respect de l'environnement, de stockage de ces agrégats et afin de valoriser les ressources naturelles de notre planète, la communauté routière souhaite depuis de nombreuses années réutiliser ces agrégats d'enrobé dans la conception de nouvelles chaussées. Ces agrégats d'enrobé sont concassés, tamisés puis séparés en différentes classes granulaires. De plus, ils sont caractérisés par :

- Leur teneur en liant.
- Les caractéristiques du bitume.
- Leur homogénéité granulométrique.
- Les caractéristiques intrinsèques des granulats.

Ces agrégats recyclés peuvent alors servir de squelette granulaire pour la composition de nouveaux enrobés plus respectueux de l'environnement car ils ont deux avantages principaux :

- La réutilisation de granulat.



- L'enrobage partiel des granulats permet de rajouter moins de liant bitumineux neuf lors de la fabrication du nouvel enrobé incorporant ce matériau recyclé.

I.3.2.2. Liant bitumineux

I.3.2.2.1. Constitution

Le bitume provient du raffinage des pétroles bruts. Il est obtenu par distillation, procédé qui permet d'évaporer les constituants volatils ne laissant dans la cuve que les éléments les plus lourds à savoir le bitume. Le bitume ainsi obtenu est très complexe que ce soit du point de vue de sa composition chimique ou bien de son comportement mécanique.

Le bitume est un hydrocarbure principalement composé de carbone (~80 %), d'hydrogène (~10 %), d'oxygène (~3 %) et quelques traces de soufre, d'azote et divers métaux. Il est composé de tellement de molécules qu'il est impossible de déterminer sa composition exacte mais il est néanmoins possible de regrouper les composants chimiques du bitume en quatre grandes familles « asphaltènes », « saturés », « aromatiques » et « résines », ces trois derniers composants constituent les « maltènes » (Figure 4).

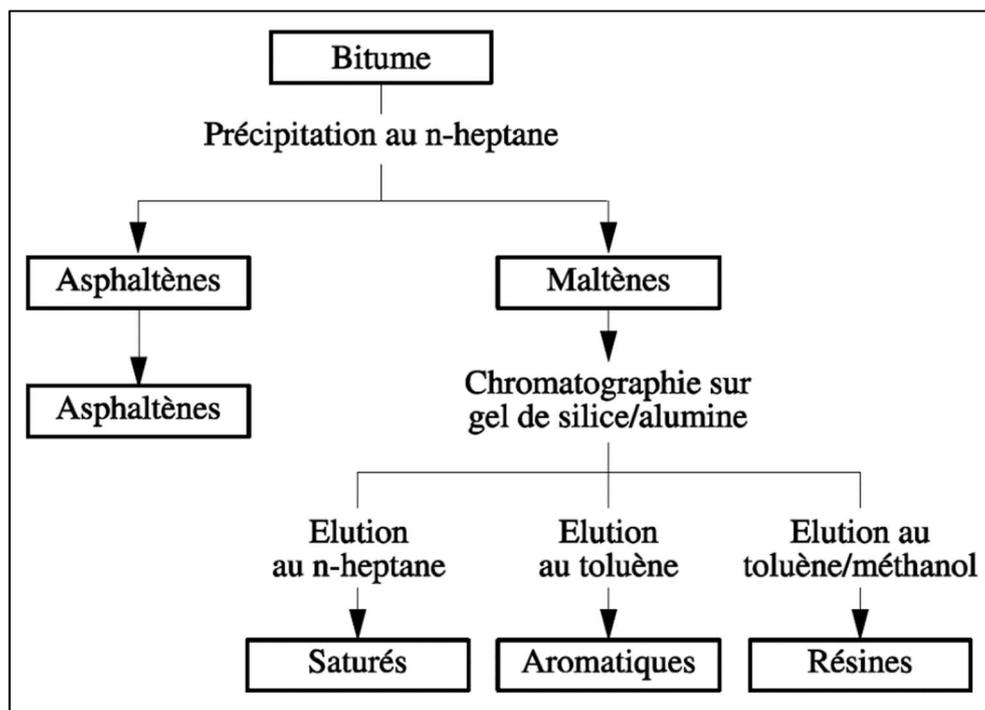


Figure 4 - Schéma de séparation chimique des constituants du bitume.

I.3.2.2.2. Comportement

Les propriétés rhéologiques du bitume dépendent en grande partie du taux d'« asphaltènes ». Plus grande est la teneur en asphaltènes dans le bitume, plus celui-ci sera dur et visqueux. Le bitume est également thermosensible, comme présenté sur la Figure 5 [14], plus on augmente sa température, plus sa viscosité diminue et plus son comportement tend vers celui d'un liquide newtonien ($\geq 80\text{ }^{\circ}\text{C}$) ce qui est un avantage lors de l'enrobage des granulats et du transport de



l'enrobé pour mise en œuvre. Si au contraire, sa température diminue, il devient de plus en plus élastique voire un solide fragile pour des températures négatives.

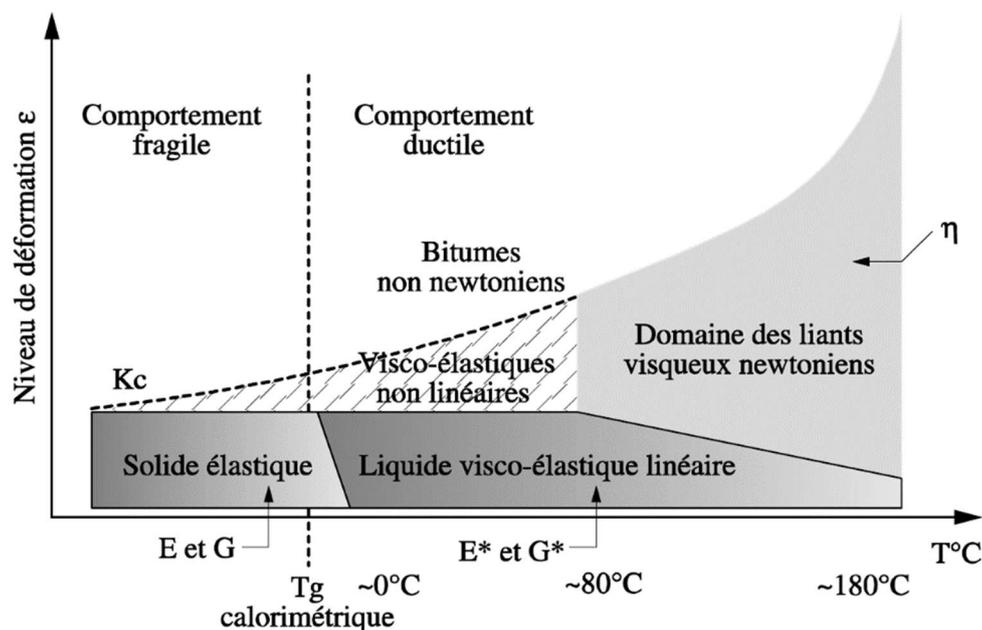


Figure 5 - Classes de comportement du bitume en fonction de $|\epsilon|$ et T [14].

Le bitume va subir tout au long de sa vie et particulièrement au jeune âge des changements physico-chimiques. Lors de la fabrication, du transport et de la mise en œuvre des enrobés élaborés avec des procédés anhydres, il subit un durcissement (Figure 6 d'après [15]) important induit par son chauffage à haute température (en générale entre 140°C et 180°C) et son oxydation due à sa surface en contact avec l'air. Il faut savoir que cette oxydation est d'autant plus importante que la température est élevée et que la surface en contact avec l'air est grande. Lors de cette oxydation, on constate une baisse du taux d'aromatiques et une augmentation de la teneur en asphaltènes.



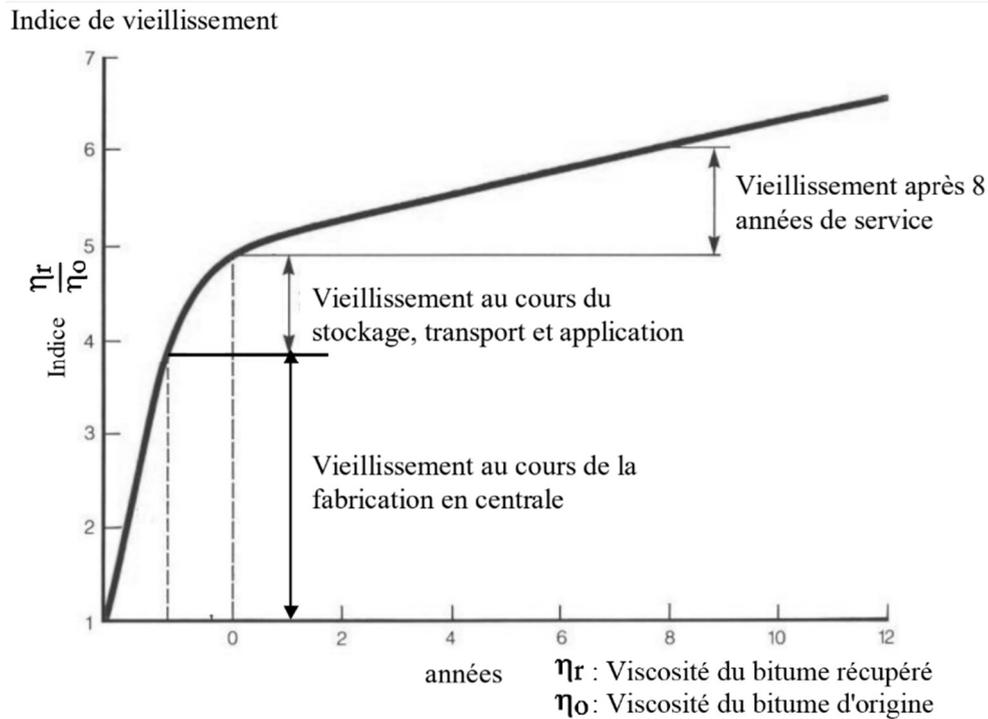


Figure 6 - Vieillissement de l'enrobé bitumineux au cours du temps [15].

I.3.2.2.3. Liants routiers

Le choix du liant est gouverné par l'obtention d'une viscosité d'enrobage et de performances du produit final. Différents grades de bitume sont utilisés en technique routière selon le produit visé et le procédé d'enrobage. Pour les procédés à chaud et tiède, des bitumes de plus fortes consistances sont employés (20/30 au 50/70). Pour les produits à plus faibles trafic, incorporant un fort taux de recyclés ou à froid à l'émulsion, des grades (50/70 à 160/220) sont préférés. Par ailleurs la modification du bitume par des polymères est utile pour accroître les propriétés des mélanges utilisés en couche de roulement et fortement sollicités (fort trafic, sollicitations importantes...). En mélangeant mécaniquement le bitume chaud avec de l'eau, il est possible de former une émulsion directe huile dans eau. Pour stabiliser la dispersion des gouttes de bitume dans l'eau, un émulsifiant (le plus souvent cationique en France [16]) est utilisé et ajouté à la phase aqueuse acidifiée.

I.3.2.2.4. Essais de caractérisation

La consistance du bitume est généralement de 20 °C à 60 °C et s'obtient au moyen de l'essai de pénétration à l'aiguille et de la méthode bille anneau. La référence [17] permet de caractériser la consistance du bitume à 25 °C. Pour cela, on mesure l'épaisseur d'enfoncement d'une aiguille sous une charge de 100 grammes dans le bitume. La méthode température bille anneau (TBA) définit par la norme [18] permet de déterminer la température de ramollissement à laquelle une bille d'acier entourée d'un film de bitume plongé dans l'eau atteint le fond du support. Cette hauteur de descente est de 25 mm. Pour cela, il faut augmenter la température de l'eau de 5 °C toutes les minutes et chronométrer le temps nécessaire pour que la bille touche le fond.



I.3.3. Comportement mécanique des enrobés bitumineux

I.3.3.1. Comportement in situ des mélanges bitumineux

L'enrobé bitumineux est un matériau dont le comportement varie en fonction de la vitesse et du temps de chargement et de la température.

Le diagramme de la Figure 7 regroupe les différents comportements des enrobés bitumineux en fonction de l'amplitude de déformation ($|\epsilon|$) et du nombre de cycles de chargement appliqué (N) à l'enrobé [19] :

- Pour des chargements comprenant quelques centaines de cycles et des déformations « faibles » ($< 10^{-4}$) le comportement est considéré, en première approximation, viscoélastique linéaire.
- Pour un faible nombre de chargements et des déformations de quelques pourcents, le comportement observé est fortement non linéaire.
- Lors de chargements de plusieurs dizaines de milliers de cycles et des déformations de l'ordre de 80 à 150 $\mu\text{m/m}$, un phénomène de fissuration se développe et endommage le matériau, c'est le phénomène de « fatigue ».

La Figure 7 tirée de la référence [19] a été développée à partir d'ordre de grandeur des différents domaines de comportements types pour une température fixée qui peuvent varier sensiblement selon le matériau, la température et la direction du chemin de sollicitation (compression, cisaillement, ...).

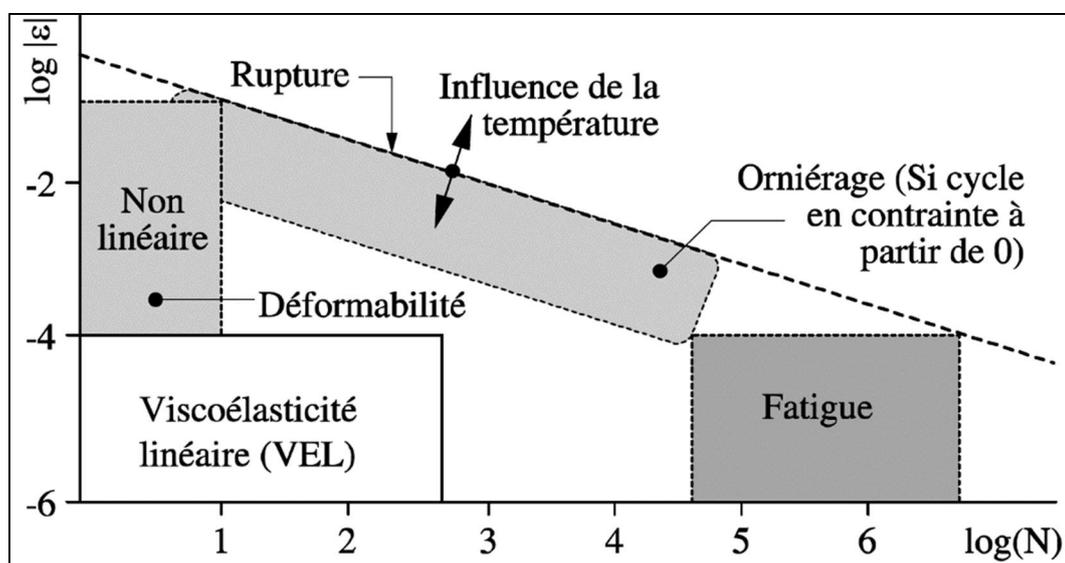


Figure 7 - Comportements "types" des enrobés bitumineux à température fixée [19].

Le comportement réversible aux faibles déformations et à la fatigue des enrobés à chaud est connu. Malheureusement, ce n'est pas le cas des enrobés à l'émulsion de bitume.

I.3.3.2. Modélisation du comportement viscoélastique linéaire

Cette partie va permettre de décrire les lois de comportement réversibles existantes qui servent à traduire le comportement in situ des enrobés à chaud.



I.3.3.2.1. Modèle de Maxwell et Kelvin-Voigt généralisés

Les modèles de Maxwell et Kelvin-Voigt, sont composés d'un ressort et d'un amortisseur linéaire disposés respectivement en série et en parallèle comme le montre la Figure 8. Ces modèles à eux seuls ne permettent pas de décrire le comportement des enrobés bitumineux c'est pourquoi il faut les généraliser à une infinité d'éléments.

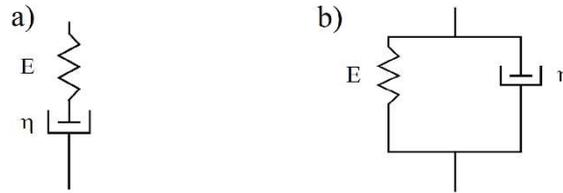


Figure 8- Représentation des modèles de Maxwell a) et Kelvin-Voigt b).

Lorsque l'on ajoute un nombre fini d'élément n viscoélastique linéaire (Figure 9 et Figure 10), les modèles de Maxwell et Kelvin-Voigt généralisés permettent de reproduire n'importe quelle fonction de relaxation ou de fluage.

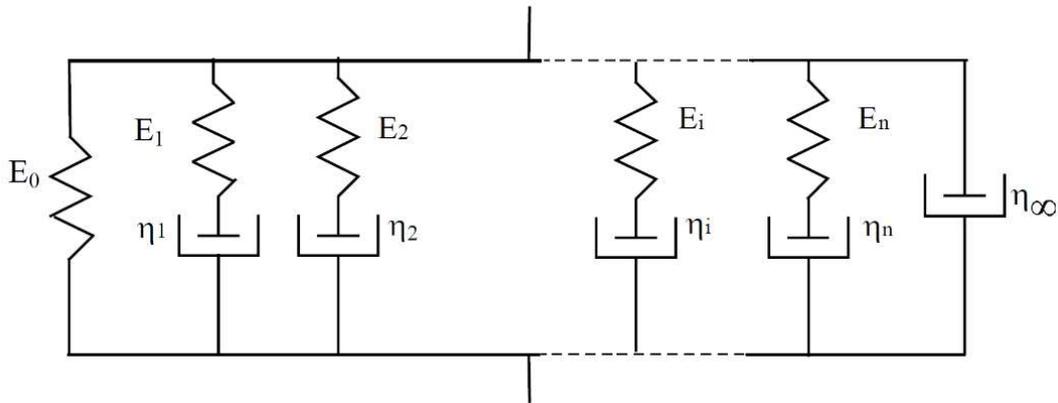


Figure 9 - modèle de Maxwell généralisé (spectre de relaxation).

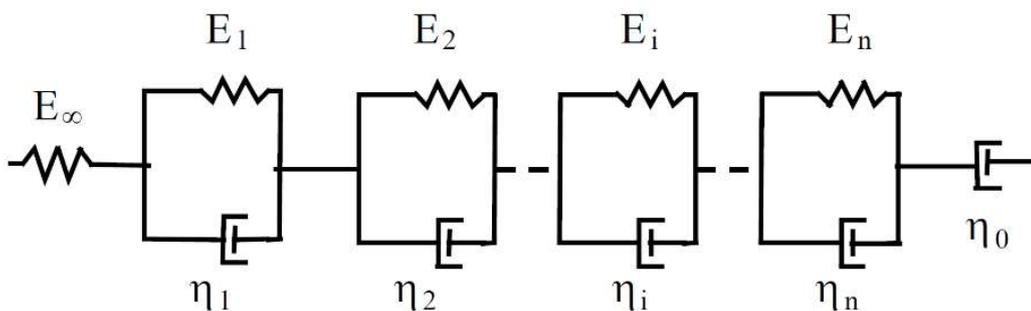


Figure 10 - Modèle de Kelvin-Voigt généralisé (spectre de fluage).

I.3.3.2.2. Amortisseur parabolique

La description de l'amortisseur parabolique est très importante car il sera largement utilisé pour le développement de la loi de comportement pour enrobé à l'émulsion. Il est d'ailleurs déjà utilisé dans le modèle de Huet [20] et de Huet-Sayegh [21] décrit juste après pour décrire le comportement visqueux des enrobés. L'amortisseur parabolique (Figure 11) a été développé pour



rendre compte d'un spectre d'éléments infinis. En effet, ce spectre peut être représenté par une infinité d'élément Maxwell ou bien Kelvin-Voigt.

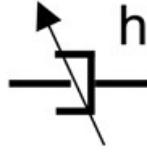


Figure 11 - Représentation de l'amortisseur parabolique.

La fonction de fluage $F(t)$ et le module complexe $E^*(\omega)$ de l'amortisseur parabolique s'écrivent sous la forme :

$$F(t) = \frac{1}{E} \left(\frac{t}{a(\theta)} \right)^h \quad \text{Equation 3}$$

$$E^*(\omega) = \frac{E(i\omega a(\theta))^h}{\Gamma(h + 1)} \quad \text{Equation 4}$$

Avec : E est le module du modèle quand $\omega a(\theta) \rightarrow \infty$.

i est un nombre complexe.

ω est la pulsation.

h est un exposant entre 0 et 1.

Γ est la fonction gamma d'Euler.

I.3.3.2.3. Modèle de Huet

Le modèle de Huet [20] est représenté par un « ressort » et deux « amortisseurs paraboliques » h et k placés en série comme représenté sur la Figure 12. La fonction de fluage $F_H(t)$ et le module complexe $E_H^*(\omega)$ du modèle de Huet s'écrivent sous la forme :

$$F_H(t) = \frac{1}{E_\infty} \left(1 + \frac{\delta}{\Gamma(k + 1)} \left(\frac{t}{a(\theta)} \right)^k + \frac{1}{\Gamma(h + 1)} \left(\frac{t}{a(\theta)} \right)^h \right) \quad \text{Equation 5}$$

$$E_H^*(\omega) = \frac{E_\infty}{1 + \delta(i\omega a(\theta))^{-k} + (i\omega a(\theta))^{-h}} \quad \text{Equation 6}$$

Avec : E_∞ est le module du modèle quand $\omega a(\theta) \rightarrow \infty$.

i est le nombre complexe ($i^2 = -1$).

ω est la pulsation.

δ est un paramètre de l'amortisseur k.

k est un paramètre de l'amortisseur k. il est représentatif des enrobés ayant de fortes valeurs de module ou bien testé à de faible température.



h est un paramètre de l'amortisseur h . Il est représentatif des enrobés ayant de faibles valeurs de module ou bien testé à haute température, ($0 < k < h < 1$).

Γ est la fonction gamma d'Euler.

$a(\theta)$ qui a la dimension d'un temps caractéristique, rend compte du principe d'équivalence temps température. Elle rend compte du fait que la viscosité des enrobés bitumineux dépend de la température θ et peut être représentée par exemple par la loi Williams-Landel-Ferry (Ferry, 1980).

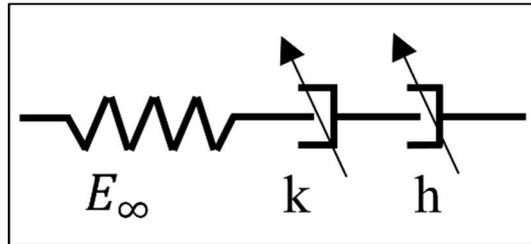


Figure 12 - Représentation du modèle de Huet.

Ce modèle est simple d'utilisation car il n'a que cinq paramètres à caler. À partir des campagnes de mesures de modules complexes à différentes fréquences et température, son calage commence par la détermination de la courbe maîtresse du matériau établi par décalage des isothermes à partir du calcul de la valeur $a(\theta)$. L'obtention de la courbe maîtresse sera expliquée ultérieurement avec la présentation de la Figure 19. Il est possible ensuite d'en déduire le plan de Cole-Cole et l'espace de Black. Une approximation du paramètre $a(\theta)$ pour une température θ qui est donnée de la forme : $a(\theta) = e^{(A_0 + A_1\theta + A_2\theta^2)}$. Le calage de ces paramètres se fait en superposant la courbe théorique et la courbe expérimentale dans le plan de Cole-Cole (E_2 vs E_1) et dans l'espace de Black (angle de phase vs $|E^*|$).

Une fois créé, le plan Cole-Cole permet de visualiser le comportement d'un enrobé bitumineux. C'est pourquoi on l'utilise pour caler les paramètres des modèles en trouvant les valeurs des paramètres permettant de superposer les courbes : théorique et expérimentale.

La représentation de l'espace de Black consiste à tracer l'angle de phase en fonction du logarithme de la norme du module complexe $|E^*|$. Tout comme le plan de Cole-Cole, l'espace de Black permet de visualiser le comportement de l'enrobé bitumineux en mettant l'accent sur les valeurs de faibles modules.

Un exemple tiré de la référence [19] permet de visualiser la représentation du modèle de Huet dans plan de Cole-Cole (Figure 13) et dans l'espace de Black (Figure 14) paramétré avec les valeurs se trouvant dans le Tableau 2 et le

Tableau 3.

Tableau 2 - Exemple de paramètres du modèle de Huet pour représentation du plan Cole-Cole d'après [19].

| E_∞ (MPa) | δ | k | h |
|-------------------|----------|-------|-------|
| $3,31 \cdot 10^4$ | 1,88 | 0,193 | 0,546 |



La représentation du plan de Cole-Cole consiste à mettre en abscisse la partie réelle du module complexe E_1 et en ordonnée la partie imaginaire E_2 .

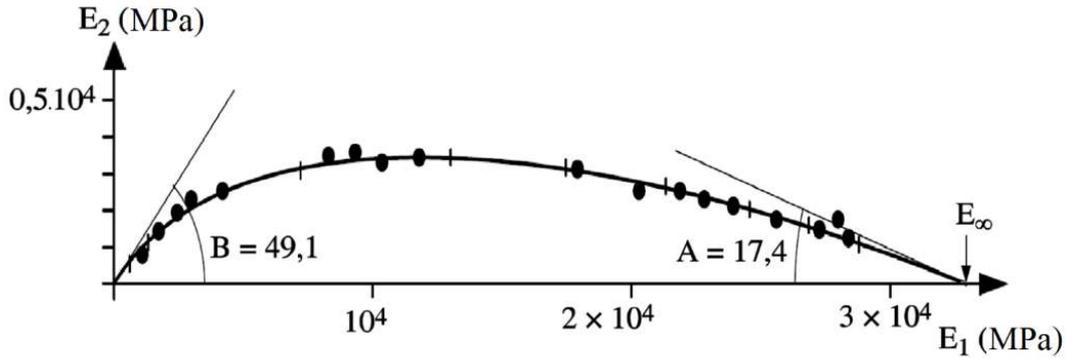


Figure 13 - Détermination graphique des paramètres du modèle de Huet dans le plan Cole-Cole [19].

Tableau 3 - Exemple de paramètres du modèle de Huet pour représentation de l'espace de Black [19].

| E_∞ (MPa) | δ | k | h | $a(\theta) = e^{(A_0 + A_1\theta + A_2\theta^2)}$ | | |
|------------------|----------|-------|------|---|---------|---------|
| | | | | A_0 | A_1 | A_2 |
| $3,5 \cdot 10^4$ | 2,9 | 0,215 | 0,75 | -0,342 | -0,4007 | 0,00295 |

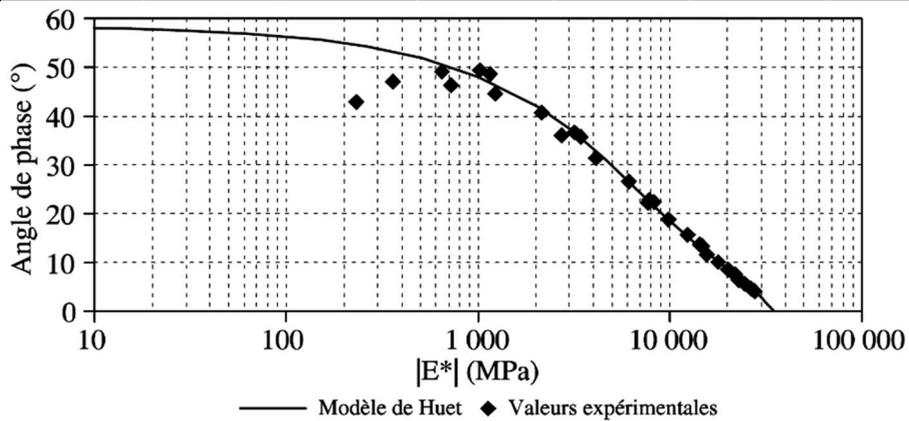


Figure 14 - Modélisation du module complexe dans l'espace de Black en utilisant le modèle de Huet [19].

Le modèle de Huet permet de bien reproduire le plan Cole-Cole mais il n'est pas suffisamment précis pour représenter le comportement de l'enrobé bitumineux à basse fréquence et/ou haute température (à module faible) comme le montre l'espace de Black. C'est pourquoi Sayegh a modifié le modèle de Huet.

I.3.3.2.4. Modèle de Huet-Sayegh

Afin que les valeurs de faibles modules puissent être prises en compte par ce modèle, Sayegh [21] rajouta un ressort E_0 en parallèle au modèle de Huet comme présenté sur la Figure 15. Ce nouveau ressort est considéré avoir une rigidité très faible par rapport au ressort E_∞ du modèle de Huet. Le module complexe du modèle de Huet-Sayegh s'écrit alors sous la forme :



$$E^*(\omega) = E_0 + \frac{E_\infty - E_0}{1 + \delta(i\omega a(\theta))^{-k} + (i\omega a(\theta))^{-h}} \quad \text{Equation 7}$$

Avec : Les paramètres restent les mêmes que précédemment et E_0 est le module statique du modèle quand $\omega a(\theta) \rightarrow 0$.

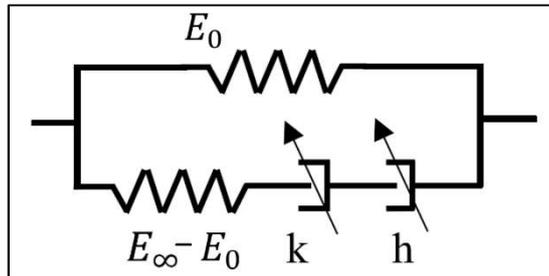


Figure 15 - Représentation du modèle de Huet-Sayegh.

Afin de reproduire le comportement expérimental, il faut caler les 6 paramètres du modèle en utilisant le plan Cole-Cole comme le montre la Figure 16.

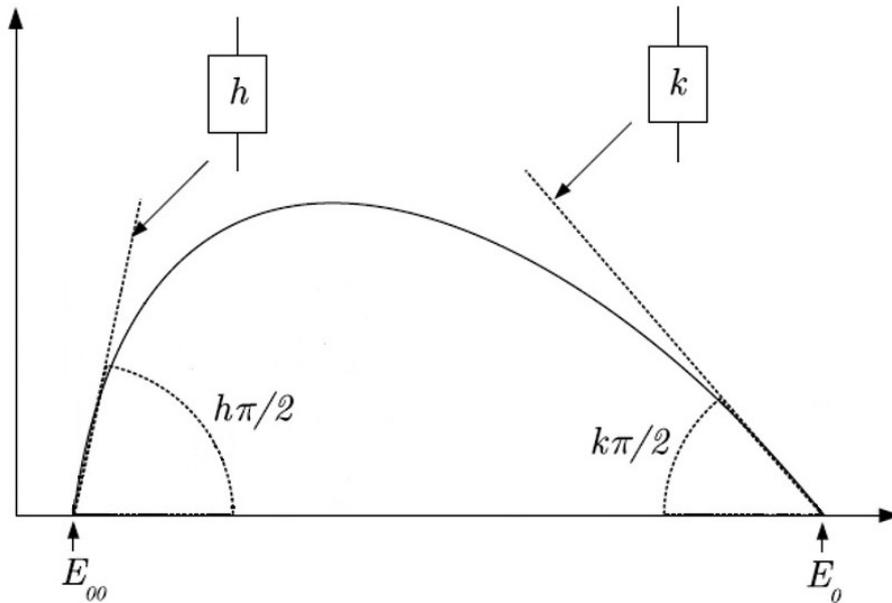


Figure 16 - Calage des paramètres du modèle Huet-Sayegh.

Le modèle de Huet-Sayegh permet de correctement décrire le comportement des enrobés bitumineux traités aux liants purs sur toute la gamme de fréquence et de température en particulier pour les faibles valeurs de module comme nous le montre la représentation de l'espace de Black Figure 17 utilisant les données du Tableau 4 tiré de la référence [19].

Tableau 4 - Exemple de paramètres du modèle de Huet-Sayegh pour représentation de l'espace de Black d'après [19].

| E_∞ (MPa) | E_0 (MPa) | δ | k | h | $a(\theta) = e^{(A_0 + A_1\theta + A_2\theta^2)}$ | | |
|------------------|-------------|----------|------|------|---|---------|---------|
| | | | | | A_0 | A_1 | A_2 |
| $2,5 \cdot 10^4$ | 45 | 2,9 | 0,22 | 0,70 | 2,6897 | -0,3897 | 0,00202 |



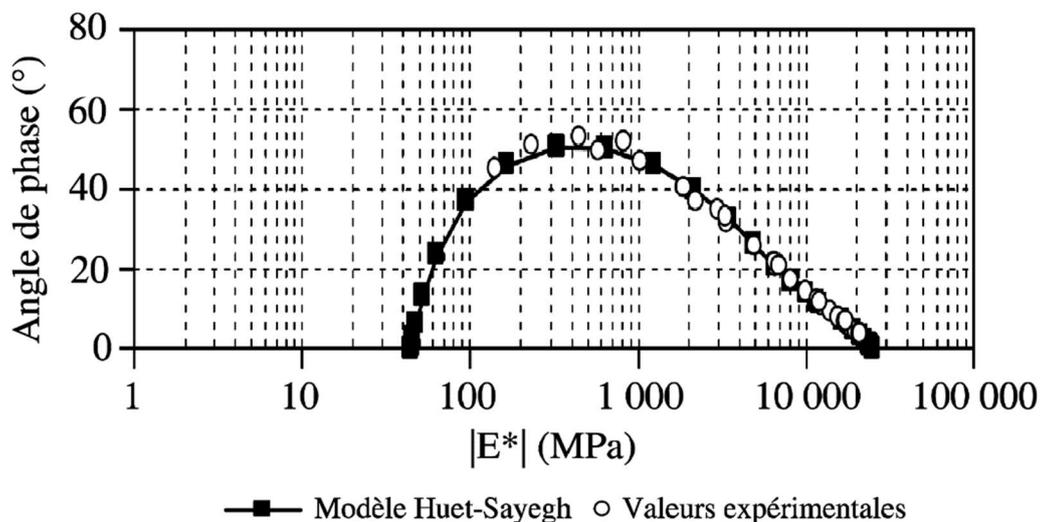


Figure 17 - Modélisation du module complexe dans l'espace de Black en utilisant le modèle de Huet-Sayegh [19].

1.3.4. Méthode de formulation des enrobés à chaud

La méthode de formulation a pour but de définir les dosages des différents constituants de l'enrobé pour que ce nouveau mélange puisse satisfaire les critères de performances qui peuvent être mesurés par des essais normalisés. Quatre niveaux d'épreuve de formulation sont réalisés et présentés dans le Tableau 5 issu de la référence [22].

Tableau 5 - Epreuves de formulation cas général [22].

| | Vérification d'une formule déjà étudiée et appliquée | Adaptation d'une formule | Nouvelle formule |
|----------|--|---------------------------|--|
| Niveau 1 | Essai PCG Essai Duriez | Essai PCG Essai Duriez | Essai PCG Essai Duriez |
| Niveau 2 | - | Essai d'orniérage | Essai d'orniérage |
| Niveau 3 | - | - | Essais de caractérisation des performances mécaniques : Module complexe |
| Niveau 4 | - | - | Essai de caractérisation des performances mécaniques : Essai de fatigue |

1.3.4.1. Compactage

Une fois le matériau fabriqué, il doit être compacté afin d'avoir environ 6% de vides pour les enrobés à chaud et environ 15% de vides pour les enrobés à froid. Ce pourcentage de vides varie en fonction de la formule d'enrobé utilisée. Il existe plusieurs types de compactage : la Presse à Cisaillement Giratoire [23], La méthode Duriez [24] et le compacteur à plaque. Le compactage



Duriez consiste à remplir de matériau un moule de diamètre 80 mm ou 120 mm puis de le compacter sous une pression statique de 12 MPa. La hauteur du matériau à compacter est définie en fonction de la masse volumique réelle de l'enrobé et du pourcentage de vide visé.

I.3.4.2. Comportement mécanique des mélanges routiers

Le liant bitumineux confère à l'enrobé des propriétés mécaniques qui dépendent de la température et de la vitesse de déformation. Dans la littérature française, le module de rigidité des enrobés est défini pour 15 °C et 10 Hz [25]. Dans les parties suivantes, seront présentés les essais permettant de caractériser le comportement de l'enrobé.

I.3.4.2.1. Essai de module complexe en flexion 2 points

La référence [25] permet de décrire l'essai de module complexe. Les éprouvettes testées sont extraites des plaques précédemment décrites et sont découpées en forme trapézoïdale. Elles sont ensuite fixées sur une base puis placées dans une machine thermorégulée afin de tester les échantillons à 6 températures en moyenne comprises entre -10 et 40 °C (Figure 18 et Figure 19). La partie haute de l'échantillon est fixée sur la machine qui lui impose une déformation pour 4 niveaux de fréquence (1, 3, 10 et 30 Hz).

La mesure de contrainte lors de la sollicitation en déformation permet de définir le module de l'enrobé aux différents couples fréquences/températures comme le présente la Figure 18.

La relation d'équivalence temps-température permet de représenter ces isothermes sous la forme d'une seule et même courbe notée « courbe maîtresse » comme présentée Figure 19 pour une température de référence de 10°C. Elle est construite par translation des isothermes parallèlement à l'axe des fréquences de la valeur $a(\theta)$. Grace à cette représentation, il est possible de caractériser le comportement du matériau pour des valeurs de fréquence impossibles à reproduire expérimentalement.

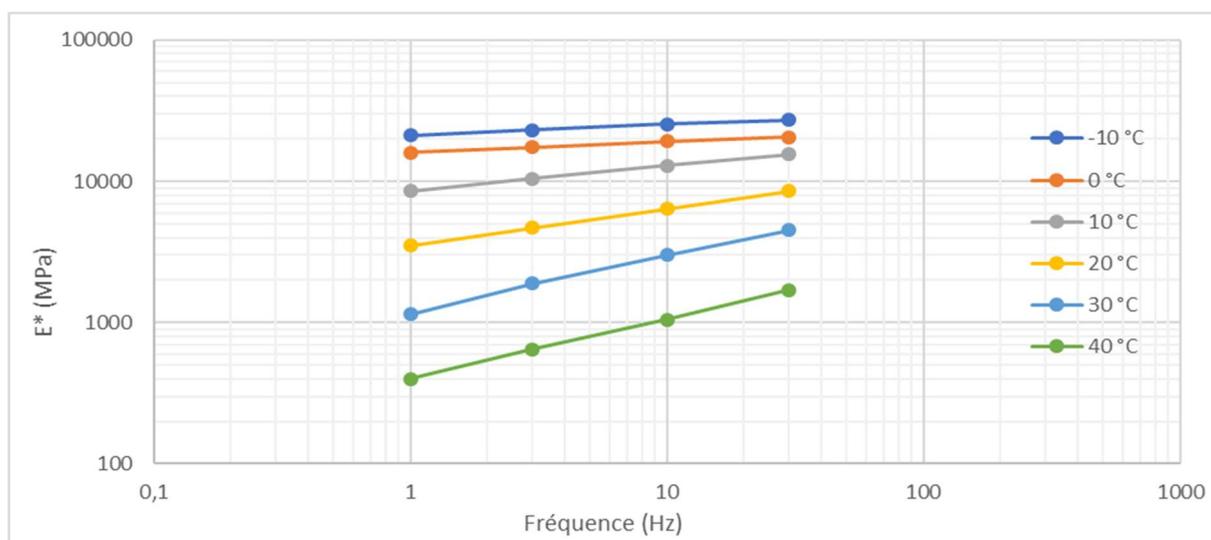


Figure 18 - Isothermes du module complexe d'un enrobé.



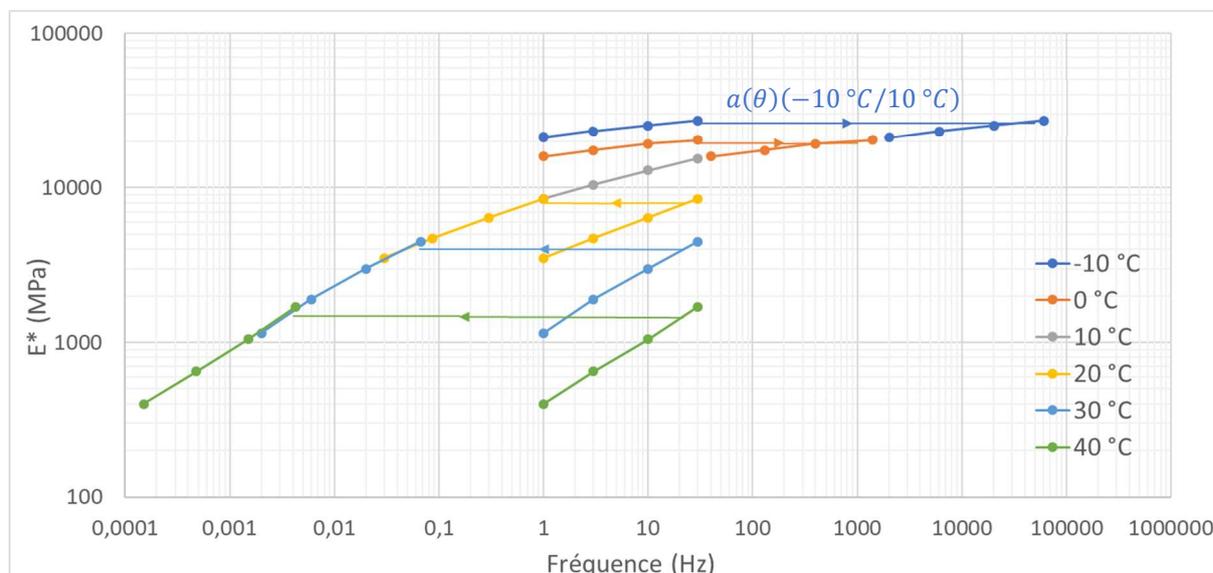


Figure 19 - Construction de la courbe maîtresse à 10°C à partir des résultats d'essai de module.

I.3.4.2.2. Essai de traction direct (norme NF EN 12697-26 [25])

La même norme décrit l'essai de traction direct. Les échantillons carottés dans les plaques d'enrobés doivent avoir un diamètre compris entre 50 et 160 mm et d'élanement 2 ou 3. Les échantillons sont collés de part et d'autre à des plaques parfaitement parallèles puis placés dans une machine de traction thermorégulée (Figure 20). L'essai consiste à mettre en traction l'éprouvette en imposant une contrainte sinusoïdale positive puis de mesurer l'augmentation de hauteur dans l'échantillon (Figure 21). Cet essai est réalisé à plusieurs températures comprises entre -20 et 50 °C.



Figure 20 - Essai de traction direct.



Figure 21 - Dispositif de mesure de l'augmentation de hauteur de l'échantillon.

I.3.4.2.3. Essai de traction indirect (Nat) (norme NF EN 12697-26 [25])

Cet essai appelé également essai de compression diamétrale, utilise des échantillons cylindriques d'élanement faible (extraite de plaque ou carotté sur chantier) soumis à une force de compression



sur leurs tranches (Figure 22 et Figure 23). Leur module est calculé grâce à la force imposée et à la mesure de l'augmentation du diamètre (mesure prise perpendiculairement à la force appliquée).

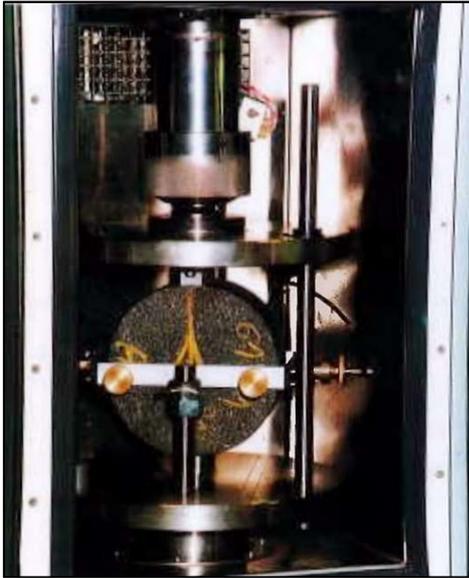


Figure 22 - Essai de compression diamétrale.

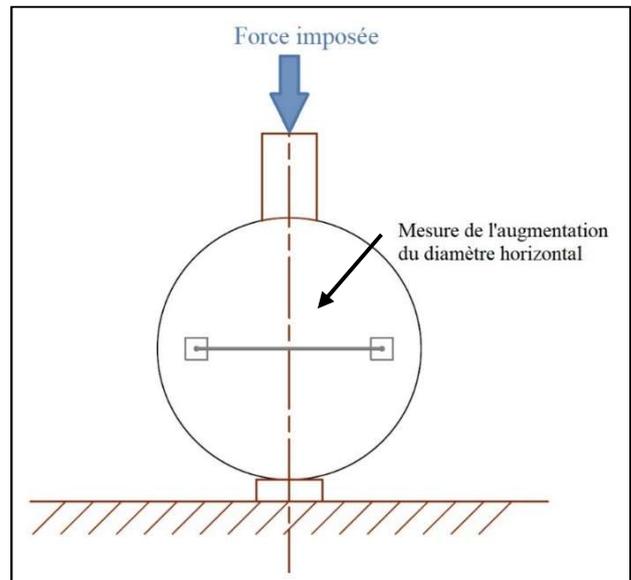


Figure 23 - Schéma de l'essai de compression diamétrale.

I.3.4.2.4. Essai de fatigue (norme NF EN 12697-24 [26])

Le dispositif de l'essai de fatigue est le même que l'essai de module en flexion 2 points. La partie haute de l'éprouvette trapézoïdale est sollicitée en flexion sinusoïdale (25 Hz) à trois niveaux d'amplitude de déformation. L'essai est alors réalisé à la température de 10 °C durant lequel on mesure l'effort résistant et la déformation en tête d'éprouvette. Les cycles endommagent l'éprouvette et continuent jusqu'à ce que l'effort mesuré diminue de moitié ce qui correspond à la ruine de l'éprouvette. Il est alors possible de tracer la courbe de fatigue à savoir la diminution de la déformation en fonction du nombre de cycle (Figure 24). La Figure 25 montre un exemple de résultats tiré d'un essai de fatigue. En traçant la droite de fatigue, il est possible de déterminer les coefficients b et ε_6 utiles pour le dimensionnement de la chaussée (Vu chapitre I, partie 2.2).



Figure 24 - Essai de fatigue.

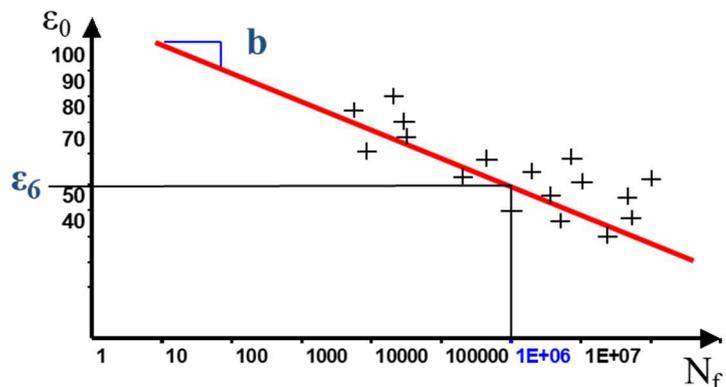


Figure 25 - Représentation typique d'un essai de fatigue.



De par l'utilisation d'éprouvette préalablement sciées à des dimensions spécifiques, les essais de module complexe, de traction indirecte et de fatigue nécessitent un matériau cohésif pouvant être scié. C'est pourquoi ces essais ne peuvent être utilisés sur des matériaux peu ou non cohésif comme les enrobés à l'émulsion à l'état frais et au jeune âge. Pour trouver un essai pouvant être utilisé sur les graves émulsion, il faut plutôt s'inspirer des essais utilisés pour les matériaux granulaires.

1.3.5. Comportement mécanique des matériaux non liés

1.3.5.1. Comportement élastique non linéaire

Les matériaux granulaires les plus utilisés en chaussée en tant que couche de fondation ou couche de forme sont les graves non traités, sont composées de gravillons, de graves et de sables, compactées et non liées. L'absence de liant implique qu'il n'existe aucune adhésion entre les grains d'un matériau granulaire, ce matériau non cohésif ne peut travailler qu'en compression. Selon Davalle [27], lorsqu'on sollicite ce matériau en compression il peut y avoir trois mécanismes de déformation :

- La compressibilité et le réarrangement des grains.
- Le glissement et la rotation des grains.
- La rupture par écrasement des grains.

Lors du compactage, plus le matériau est compacté, plus il y a de réarrangements granulaires et moins les grains auront de possibilité de mouvement les uns par rapport aux autres, ce qui donne à ce matériau son comportement rigidifiant. Le comportement de ce matériau est donc dépendant de la force appliquée mais pas à la fréquence de sollicitation.

Dans le domaine des petites déformations, le comportement des matériaux non liés peut être considéré comme réversible et correspondant à une loi de comportement de type élastique non linéaire (ENL). L'une des lois de comportement ENL les plus utilisées est celle de Boyce (voir chapitre III, paragraphe 2).

1.3.5.2. Rappels sur les invariants

En mécanique, les tenseurs de contrainte et de déformation servent à exprimer les états de contrainte et de déformation d'un milieu continu et les relations entre eux. En 3D, un tenseur de contrainte se définit sous la forme suivante :

$$\bar{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{zx} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} \text{ où } \sigma_{ij} = \sigma_{ji}$$

Quelle que soit l'orientation des axes, il est possible de déterminer des invariants tel que p et q :
où p est la pression moyenne telle que :

$$p = \frac{-(\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz})}{3} = \frac{-tr(\bar{\sigma})}{3} \quad \text{Equation 8}$$



Un signe négatif a été rajouté afin d’avoir une pression positive en compression isotrope.

où q est le déviateur de contrainte définit par :

$$q = \sqrt{\frac{3}{2} \text{tr}(\bar{s}^2)} \quad \text{Equation 9}$$

où s est le déviateur de $\bar{\sigma}$, définit par :

$$\bar{s} = \bar{\sigma} + p\bar{I} \quad \text{Equation 10}$$

De la même façon, pour le tenseur de déformation, on définit la déformation volumique :

$$\varepsilon_v = \text{tr}(\bar{\varepsilon}) = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz} \quad \text{Equation 11}$$

Et ε_q est le déviateur de déformation définit par :

$$\varepsilon_q = \sqrt{\frac{2}{3} \text{tr}(e^2)} \quad \text{Equation 12}$$

où e est le déviateur de $\bar{\varepsilon}$, définit par :

$$\bar{e} = \bar{\varepsilon} - \frac{\varepsilon_v \bar{I}}{3} \quad \text{Equation 13}$$

1.3.5.3. Modèle de représentation : Boyce

La loi de Boyce [28] est particulièrement utilisée pour traduire le comportement des matériaux granulaires non liés. Il résulte d’une généralisation non-linéaire de la loi de Hooke, basée sur une dépendance du module de compressibilité K_B et du module de cisaillement G_B en fonction des contraintes. Il est de plus relativement simple car il n’a que 3 paramètres à caler pour retrouver le comportement du matériau lors des essais triaxiaux. En utilisant la convention de signe et les notations usuelles de la mécanique, le modèle s’écrit sous la forme :

$$\varepsilon_v = -\frac{p}{K_B} \quad \text{Equation 14}$$

$$\varepsilon_q = \frac{q}{3 G_B} \quad \text{Equation 15}$$

$$\text{avec : } K_B = K_a \frac{\left(\frac{p}{Pa}\right)^{1-n}}{1-\chi\left(\frac{q}{p}\right)^2} \quad \text{Equation 16}$$

$$\text{et : } G_B = G_a \left(\frac{p}{Pa}\right)^{1-n} \quad \text{Equation 17}$$

Avec : p est la pression moyenne (> 0 en compression).

q est la contrainte déviatorique.

ε_v est la déformation volumique (< 0 en contraction).

ε_q est la déformation déviatorique.



P_a , K_a , G_a sont des paramètres positifs de dimension égale à celle d'une pression ou d'un module d'élasticité.

χ est un coefficient positif et sans dimension.

n est un exposant compris entre 0 et 1.

Le modèle de Boyce ne fonctionne que pour des valeurs de $p > 0$, celui-ci rend compte du comportement unilatéral rigidifiant des matériaux granulaires non liés en compression.

I.3.5.4. Essais de caractérisations

I.3.5.4.1. Essai œdométrique sur sol (Norme XP P94-090-1 [29])

L'essai œdométrique permet de mesurer le tassement au cours du temps d'une éprouvette cylindrique de sol d'élançement 0,5. Pour cela, on place une éprouvette saturée en eau entre deux pierres poreuses sur un bâti puis on mesure le déplacement vertical de l'éprouvette lors de l'application de différentes charges (Figure 26).

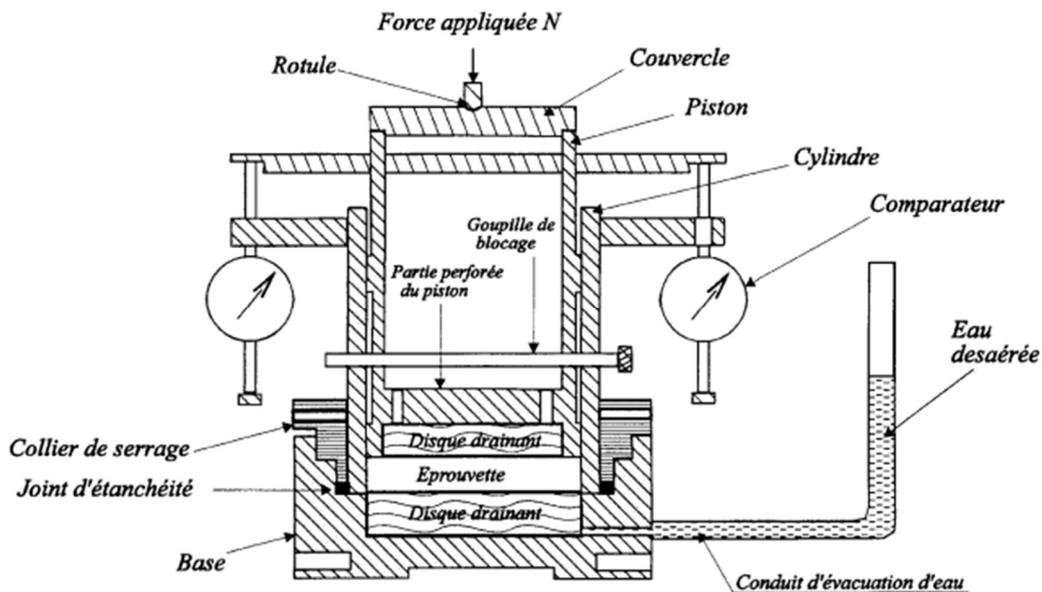


Figure 26 - Appareillage de l'essai œdométrique issu de la norme [29].

Cet essai permet d'obtenir la courbe de consolidation (Figure 27) qui donne le tassement de l'échantillon en fonction du temps et la courbe de compressibilité (Figure 28) qui donne le tassement de l'échantillon (la teneur en vides) en fonction de la charge appliquée. Sur la Figure 28, la courbe se divise en plusieurs parties :

- La première partie de courbe montre le premier chargement.
- La courbe AB montre le déchargement partiel.
- La courbe AN montre le deuxième chargement.
- La dernière courbe montre le déchargement total.

où C correspond à la frontière entre la consolidation du sol et la surconsolidation, il permet d'obtenir la contrainte σ'_p qui est la pression de consolidation du sol.



Chapitre I – Etude bibliographique

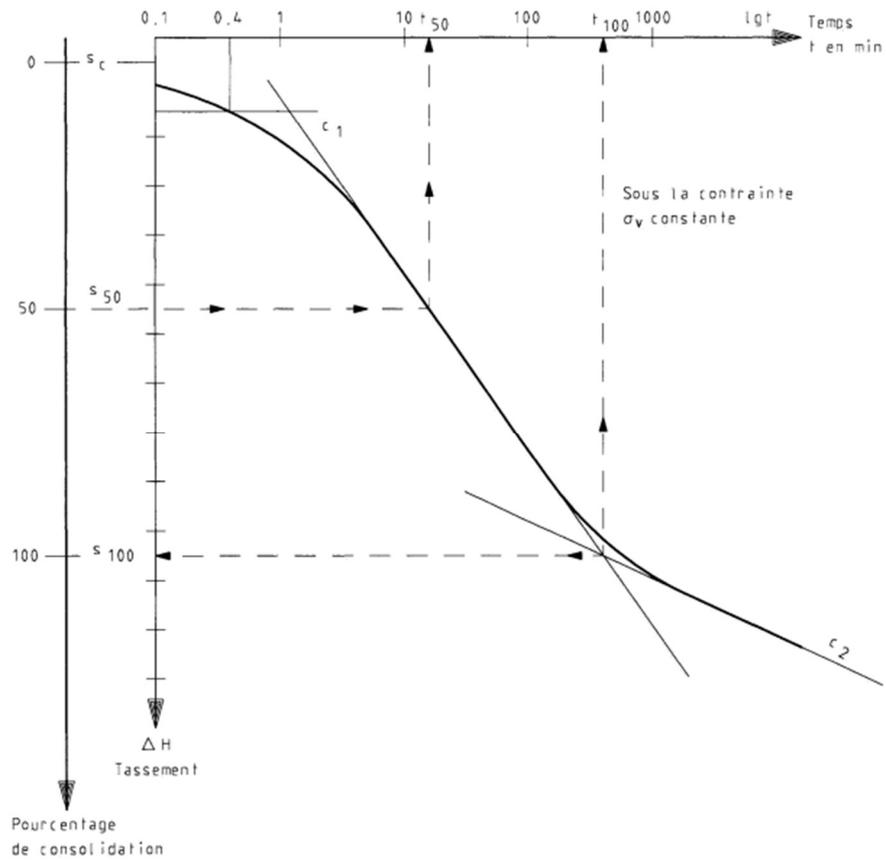


Figure 27 - Courbe de consolidation issue de la norme [29].

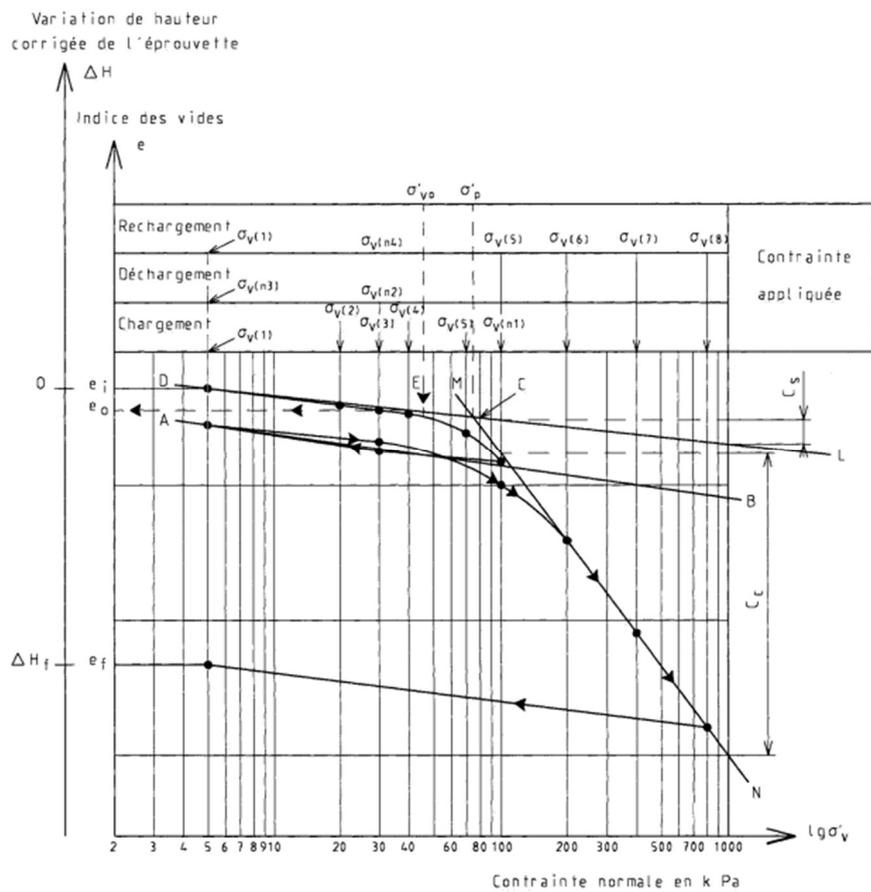


Figure 28 - Courbe de compressibilité issue de la norme [29].



I.3.5.4.2. Essai triaxial (norme NF P94-074 [30])

L'essai triaxial à chargement cyclique permet de reproduire les conditions de chargement des matériaux granulaires dans les chaussées. Il est couramment utilisé pour caractériser les performances mécaniques des matériaux granulaires. La préparation de l'échantillon consiste à fixer une membrane cylindrique de diamètre 160 mm sur une embase, puis de la remplir de matériau granulaire. L'échantillon est alors compacté en une seule couche par vibrocompression jusqu'à ce qu'il ait 320 mm de haut. L'échantillon est alors enfermé par une embase supérieure afin qu'elle soit parfaitement étanche. On place ensuite l'échantillon conditionné dans une cuve placée sur la presse comme le montre la Figure 29. La cuve est ensuite remplie d'eau puis mise sous pression d'au moins 10 kPa pour que l'échantillon ait un confinement latéral. On vient ensuite appliquer une contrainte verticale sinusoïdale. Les déformations axiales et radiales de l'éprouvette sont mesurées à l'aide de capteurs de déplacement. Il est possible d'enregistrer l'évolution de la déformation du matériau suivant le nombre de cycle sur la Figure.30. Sur cette figure, on peut voir la diminution de la déformation jusqu'à stabilisation. La forme des cycles de chargement est très fermée typique d'un comportement de matériau granulaire non lié.



Figure 29 - Essai triaxial.

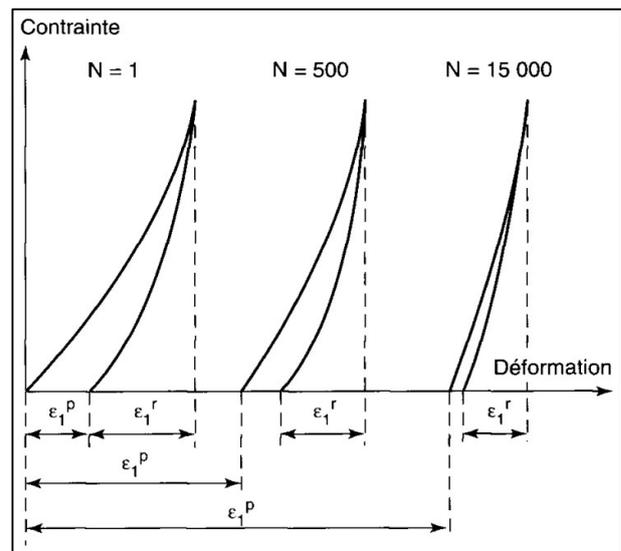


Figure.30 - Evolution des cycles de chargement.

Cet essai est utilisé pour caler les trois paramètres du modèle élastique non linéaire de Boyce, pour cela nous utilisons les résultats de déformations sous différentes contraintes, il suffit alors de trouver le bon jeu de valeurs permettant de retrouver les valeurs de déformation expérimentales avec le modèle de Boyce. Les Figure 31 montrent un exemple de résultats extrait d'essais triaxiaux après stabilisation des cycles de chargement sur lequel est ajouté les résultats théoriques du modèle de Boyce. Les points expérimentaux présentés sur ces figures permettent de visualiser le comportement réversible des matériaux granulaires mais également leurs comportements rigidifiant.



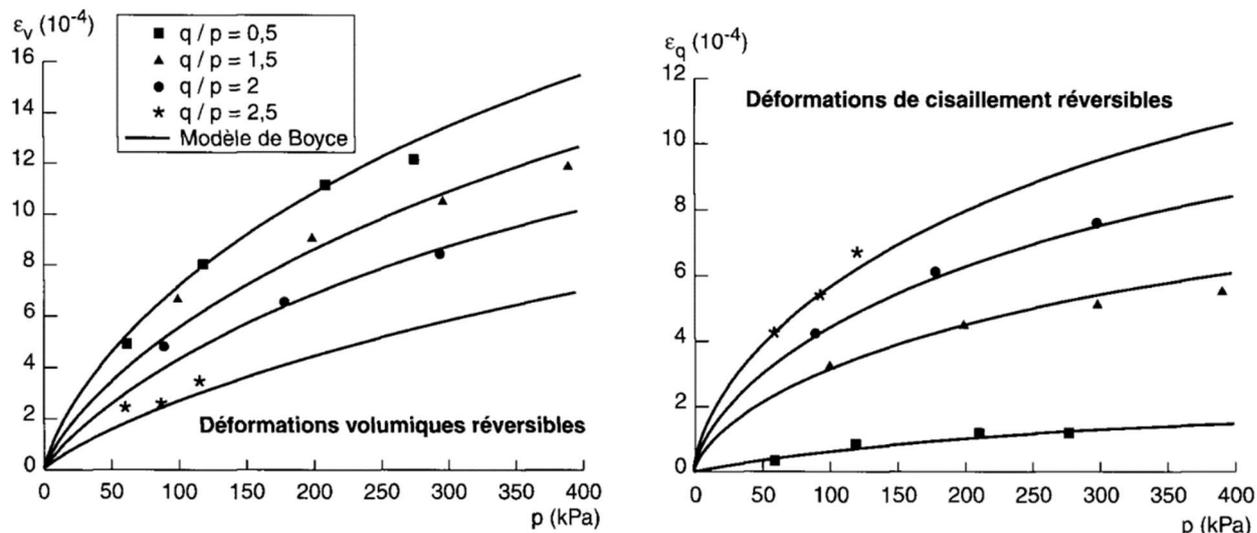


Figure 31 - Ajustement des paramètres du modèle de Boyce sur le comportement réversible d'une grave.

I.4. Généralités des graves émulsion

La grave émulsion (GE) est un enrobé fabriqué à température ambiante à partir d'émulsion et granulats froids et humides. Ce procédé d'enrobage nécessite peu d'énergie pour être fabriqué et produit peu d'émission de gaz à effet de serre (GES) [31], [32]. Il est une alternative adaptée aux enrobés à chaud pour les chaussées à faible et moyen trafic [33].

I.4.1. Composition des graves émulsion

Les graves émulsion sont composées de matériaux granulaires dont les classes sont comprises entre 0/10 et 0/20, d'émulsion et d'eau. Ils sont fabriqués dans des centrales fixes ou mobiles puis stockés. Ils sont actuellement principalement utilisés en réparation de chaussée. L'émulsion utilisée est formulée en fonction de la réactivité des granulats utilisés.

I.4.1.1. Fabrication de l'émulsion

De manière générale, les émulsions sont formées de deux liquides non miscibles, l'un se trouvant sous forme de gouttes dispersées dans l'autre. La Figure 32 présente les différents constituants d'une émulsion de bitume. Pour la fabriquer, il faut dans un premier temps que le bitume soit chauffé pour rendre sa viscosité la plus faible possible. L'autre partie de l'émulsion est la phase aqueuse qui est un mélange d'eau, d'émulsifiant, d'acide (et parfois d'additifs). Le mélange est rendu possible par l'utilisation de moulins colloïdaux générant une forte énergie mécanique pour obtenir de fines gouttelettes de bitume (quelques micromètres de diamètre) dispersées dans la phase aqueuse.



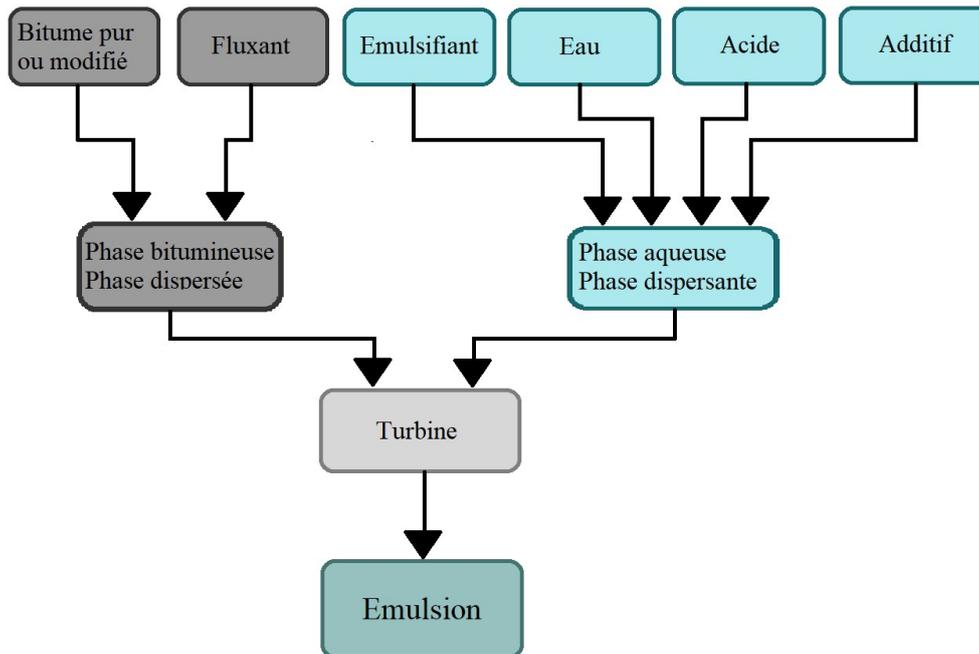


Figure 32 - Diagramme de fabrication d'une émulsion de bitume.

I.4.1.2. Propriétés des émulsions

Une émulsion est formulée de sorte qu'elle reste stable tout le long de son stockage et de son transport. Les propriétés physico-chimiques de l'émulsifiant (cationique basée sur la chimie des amines en France) et sa concentration dans l'émulsion sont garants de cette stabilité.

Il faut au contraire que l'émulsion rompe lors du compactage de l'enrobé pour extruder l'eau du mélange [34] et obtenir une montée en cohésion rapide et un mélange cohésif capable de supporter un trafic routier.

I.4.2. Comportement mécanique des enrobés à l'émulsion

I.4.2.1. Comportement évolutif

Suite à la rupture de l'émulsion, un phénomène apparaît, celui du mûrissement. Le mûrissement de l'enrobé à l'émulsion se traduit par un comportement mécanique fortement évolutif. Au très jeune âge de l'enrobé à l'émulsion (première semaine après sa fabrication), de l'eau se trouve encore dans les porosités du mélange même suite au compactage [35] et les granulats enrobés de liant ne montrent pas encore grande cohésion entre eux. Par conséquent, le comportement mécanique correspond plutôt à celui d'un matériau granulaire non lié [36]. Sa résistance dépend donc entièrement des performances mécaniques des granulats choisis et de la qualité du squelette granulaire.

Avec le temps, la cohésion augmente dans le mélange, l'eau s'écoule par gravité ou s'évapore par le réseau poreux. Les performances mécaniques de l'enrobé à l'émulsion augmentent avec une cinétique encore mal connue et continuent leur accroissement même après le départ de l'eau [37].



L'une des explications à cette évolution de l'enrobé vient du départ de l'eau permettant au bitume d'améliorer la structuration du squelette granulaire mais aussi de ses propriétés et de sa composition. En effet le bitume est amené à vieillir au contact de l'oxygène de l'air [38] (Figure 6). Cela se traduit expérimentalement par une augmentation importante de la consistance du liant qui conduit à une augmentation de la TBA et une diminution de la pénétrabilité [39],[40].

Avec le mûrissement du mélange, la cohésion entre les grains augmente, le comportement de l'enrobé à l'émulsion évolue progressivement vers un comportement d'enrobé à chaud. On observe que l'augmentation de la résistance coïncide avec l'augmentation du comportement visqueux du matériau. Cette augmentation de la résistance est observée à la fois sur un matériau mûri en laboratoire [39], [41] ainsi que sur le matériau prélevé in situ [42]–[44]. Cette prise de résistance est souvent constatée sur plusieurs mois.

Quelques travaux montrent que l'historique thermique subie par le matériau influe sur sa vitesse de mûrissement. Plus il subira des températures élevées au jeune âge, plus rapide sera son mûrissement. De plus, il semblerait que les performances mécaniques des graves émulsion soient légèrement moindre que celles d'un enrobé à chaud [45]. Cependant, il reste beaucoup de travail pour comprendre la cinétique de mûrissement de matériau que ce soit du point de vue de la chimie du mélange ou des performances mécaniques [46], [47].

1.4.2.2. Modèle de représentation

Des essais triaxiaux réalisés par Hornyh [36] sur une grave émulsion à l'état frais montrent que le comportement du matériau est celui d'un matériau granulaire non lié (Figure 33). On voit bien sur ce graphique que les résultats obtenus sur enrobé à l'émulsion sont similaire aux résultats de l'essai triaxial sur matériau granulaire. Il a même été possible de caler le comportement expérimental du matériau à l'état frais avec la loi de Boyce modifié utilisé pour caractériser le comportement des matériaux granulaires.

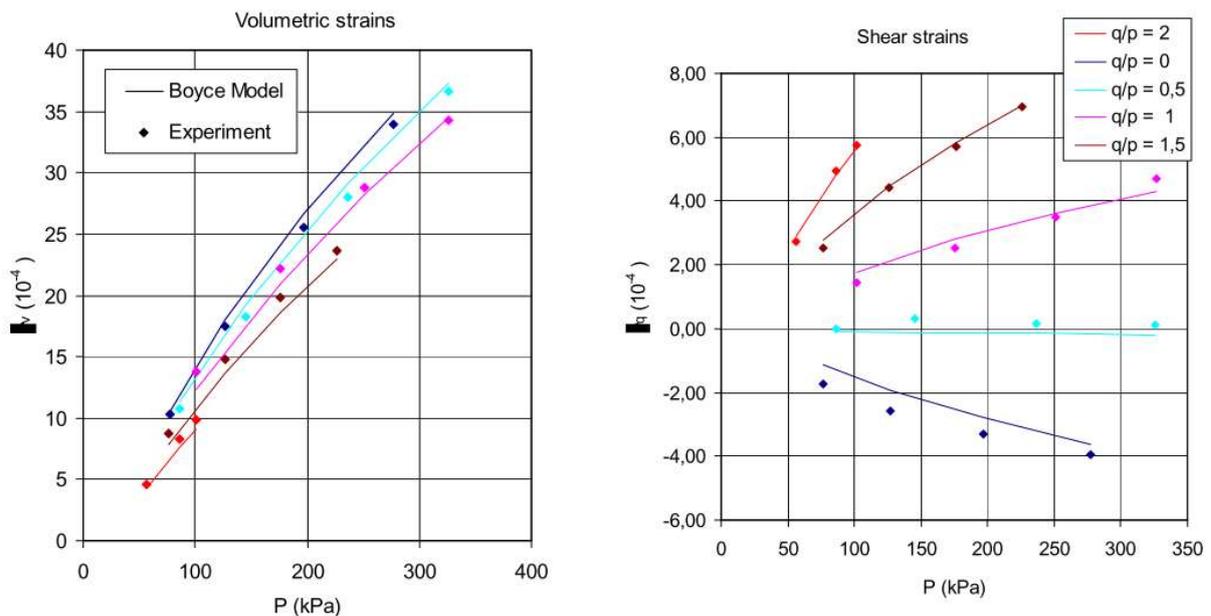


Figure 33 - Résultats d'un test de comportement résilient d'une grave émulsion à l'état frais [36].



Des essais à différentes températures de flexion 2 points et de propagation d'ondes ultrasonores sur une grave émulsion après un mûrissement pendant 14 jours à 35°C et 20 % d'humidité ont été réalisés pour caractériser leur module complexe [49]. La Figure 34 montre la modélisation de la courbe maîtresse de la grave émulsion (GE) par le modèle de Huet-Sayegh [21] afin d'être comparée avec les valeurs de modules obtenues par ultrasons. La modélisation du comportement de la grave émulsion mûrie par le modèle d'Huet-Sayegh est particulièrement adaptée tout comme elle l'est pour la modélisation du comportement rhéologique des enrobés bitumineux.

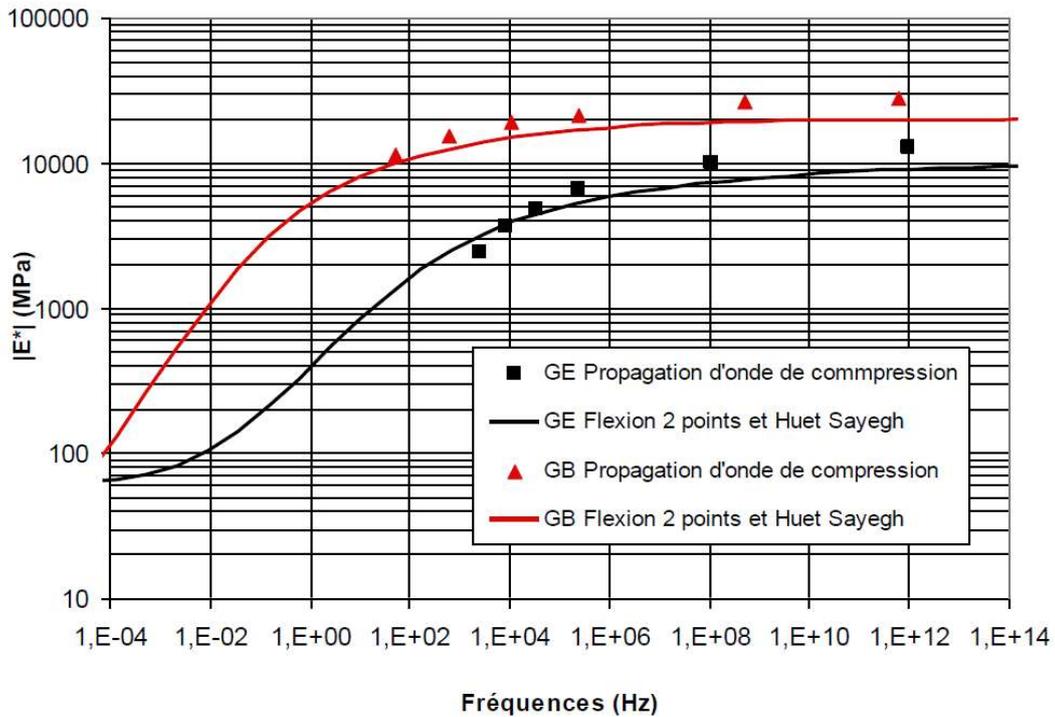


Figure 34 - Comparaison des courbes maîtresses obtenues en flexion deux points modélisées par Huet-Sayegh avec les résultats obtenus par propagation d'onde de compression à une température de référence de 15 °C [49].

D'autres recherches [50] ont permis d'élaborer une fonction de mûrissement permettant de corréler les différentes méthodes de mûrissement en laboratoire et la rigidité des échantillons déterminée à l'aide d'essais compression diamétrale en fonction du temps (Figure 35). Grace à ces essais, une augmentation logarithmique de la rigidité du matériau en fonction de la maturité où la maturité est définie par l'équation suivante inspiré du phénomène de prise du béton :

$$M = \sum_0^t (T - T_0) \Delta t_e \quad \text{Equation 18}$$

où t_e est un âge équivalent en jours, T est la température (K) à l'instant t et T_0 est la température initiale.



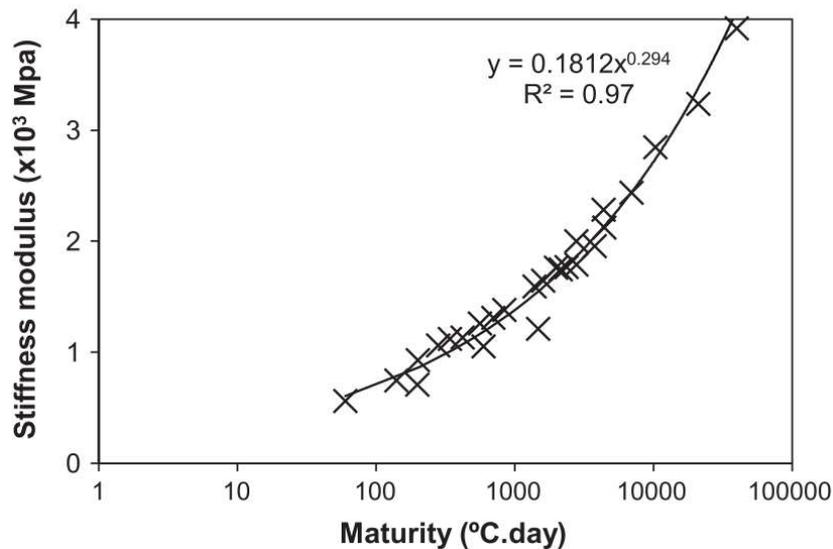


Figure 35 - Relation entre le mûrissement et la rigidité du matériau [50].

I.4.3. Méthode de formulation

La méthode de formulation des mélanges à l'émulsion s'appuyaient jusqu'à maintenant sur une approche basée sur l'expérience locale acquise sur les chantiers et constituait un frein au développement de leur utilisation [51]. Le partenariat mené entre L'IFSTTAR, le CEREMA et Routes de France a conduit à des avancées importantes en définissant un cadre méthodologique pour formuler des enrobés à l'émulsion avec des actions complémentaires à celles utilisées pour les produits élaborés à chaud [47], [52], [53] décrites dans la Figure 36.

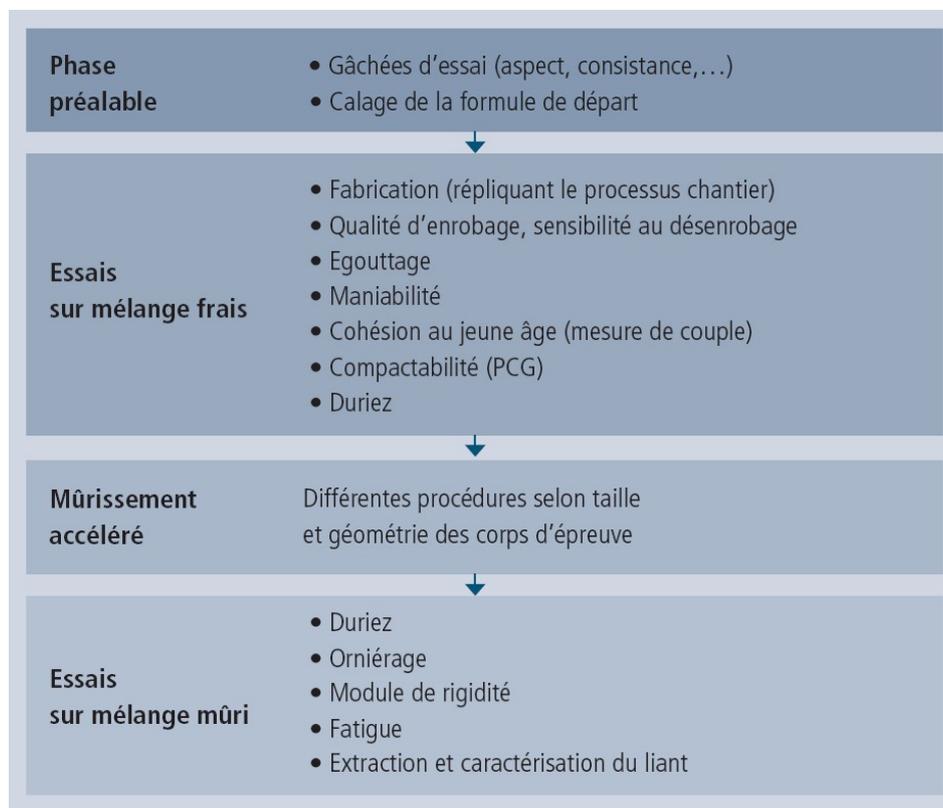


Figure 36 - Etapes de la méthode complète des enrobés à l'émulsion [47].



Il s'agit d'actions menées sur la formulation de l'émulsion et du mélange afin de caler la formule de départ à fabriquer [54], puis d'étudier le comportement à l'état frais par la presse à cisaillement giratoire [35] et l'état mûri selon un protocole développé par Serfass [37]. Il propose de faire mûrir en laboratoire des échantillons à 35°C et 20 % d'hygrométrie pendant 15 jours ce qui équivaut à un mûrissement in situ de 1 à 3 ans sous climat tempéré.

Concernant l'état mûri, les articles de Beghin [39] et Čížková [41] présentent des résultats de module complexe (référence [37] en flexion 2 points « 2P » avec des géométries prismatiques « PR » et trapézoïdales « TR », ou par compression diamétrale « IT » sur échantillon cylindrique « CY » (référence [39] compression diamétrale sur échantillon cylindrique) d'un enrobé à l'émulsion à différents temps de mûrissement en laboratoire et sur site réel. Les échantillons de la première référence proviennent directement d'un chantier expérimental (Figure 37) à différents temps (hiver ou été) ou du même mélange mais compactés en laboratoire (labo) puis muris pendant 14 jours à 35 °C – 20 % d'humidité. Les échantillons du « Mix C » de la deuxième référence qui sont les seuls sans ciment ont été confectionnés en laboratoire puis mûris pendant 28 jours à 20 °C pour une humidité comprise entre 40 et 70 %. Les deux matériaux présentent une augmentation de leurs résistances avec le mûrissement (Figure 38). La Figure 1.48 montre clairement que le mûrissement en laboratoire est insuffisant pour retranscrire le phénomène qui s'opère sur la chaussée même après un hiver et pour les 3 techniques de détermination de module utilisé.

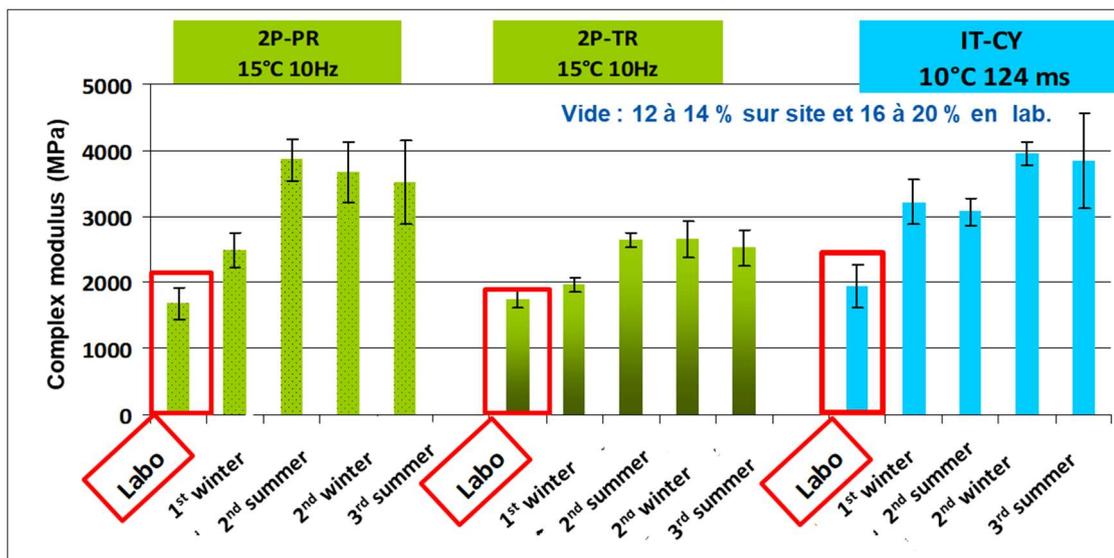


Figure 37 - Comparaison des valeurs de module de rigidité obtenues en laboratoires avec les valeurs de module obtenues sur chantier à différentes échéances [39].



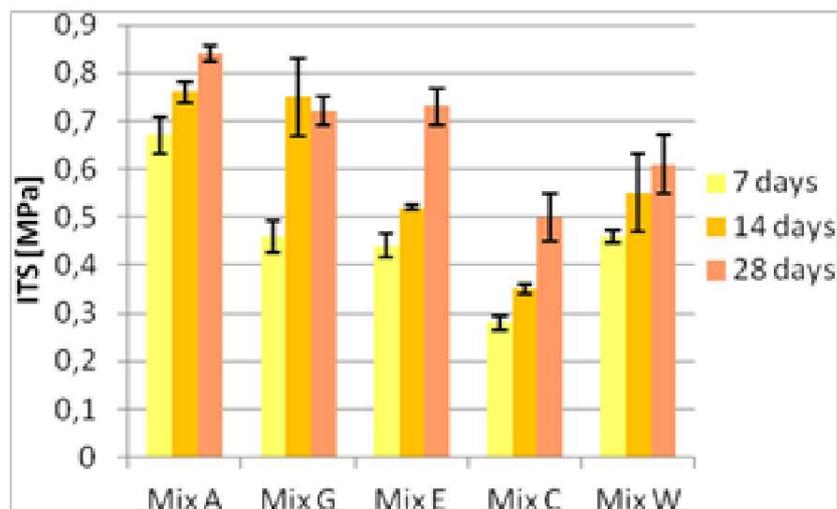


Figure 38 – Evolution du module par compression diamétrale pour différents enrobé à froid [41].

Pour comprendre les raisons du décalage de performances des matériaux entre les mûrissements de laboratoire et sur chantier de la référence [37], une analyse des liants a été menée au moyen d’essais de pénétration à l’aiguille et de TBA. Les résultats montrent que le liant se durcit avec le mûrissement car les valeurs mesurées de pénétrabilité diminuent et les valeurs de TBA augmentent (Figure 38) mais qu’il est moins affecté en laboratoire que sur chantier. De plus les propriétés du liant continuent d’évoluer alors que le module du mélange semble stagner avec le troisième été. Cela indique que la prise en compte du critère de module est nécessaire mais pas suffisant pour caractériser le mûrissement des produits routiers à l’émulsion de bitume.

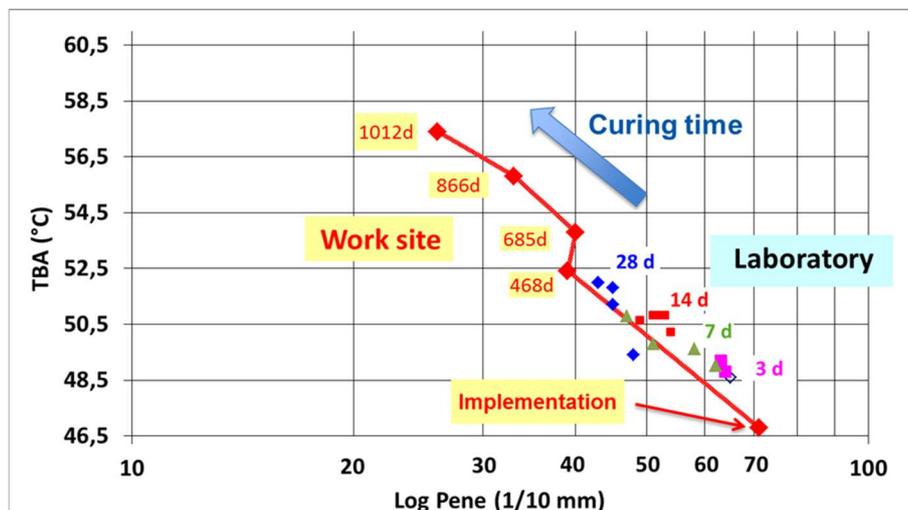


Figure 39 - Cinétiques d’évolution temporelle des caractéristiques des liants extraits des éprouvettes de laboratoire et des prélèvement in situ [39].

1.4.4. Méthode de dimensionnement

De nos jours, il n’existe toujours pas de consensus sur la méthode de dimensionnement des chaussées comprenant une couche d’enrobé à l’émulsion. En France, la conception de ce type de chaussée passe le plus souvent par des guides régionaux [55] qui proposent des épaisseurs minimales d’enrobé à l’émulsion à mettre en place en fonction de la localisation géographique de



la route et de la densité de circulation. Ces structures « pré-faites » sont basées sur des données empiriques extraites des expérimentations sur chantier.

De plus, il arrive qu'une chaussée intégrant une couche d'enrobé à l'émulsion soit dimensionnée à partir du logiciel de dimensionnement Alizé consiste à prendre en compte une épaisseur d'enrobé à l'émulsion et de calculer les sollicitations maximales en fond de couche de la structure de chaussée produites par l'essieu de référence. Ces valeurs doivent rester inférieures aux sollicitations admissibles des matériaux. Sachant que la seule donnée « matériau » prise en compte pour le dimensionnement de l'enrobé à l'émulsion est son module de rigidité qui est non évolutif et fixé à une valeur de 2500 MPa à 15 °C 10 Hz. En effet, la résistance à la fatigue du matériau n'est pas pris en compte pour son dimensionnement. C'est pourquoi la déformation verticale admissible de l'enrobé à l'émulsion s'écrit pour une construction neuve [55] :

$$\varepsilon_{z,ad} = 0,012 NE^{-0,222} \quad \text{Equation 19}$$

avec : NE est le nombre équivalent d'essieux,

et en renforcement :

$$\varepsilon_{z,ad} = 0,0225 NE^{-0,244} \quad \text{Equation 20}$$

I.5. Conclusion de la partie bibliographique

L'enrobé à l'émulsion répond à un usage et se positionne comme un produit à fort potentiel environnemental. Cependant il est sous employé dans la construction et l'entretien des routes et ponctuellement utilisé en tant que couche structurante de chaussée. L'un des principaux freins à son développement est que son comportement n'est pas bien connu et non rationalisé. Alors que les matériaux utilisés dans la construction routière ne sont pas évolutifs, la grave émulsion présente des performances mécaniques qui augmentent au cours d'une période dont la durée est variable appelée mûrissement. Cela pose la question suivante : les moyens de dimensionnement et de caractérisations des performances des matériaux bitumineux à chaud sont-ils pertinents pour l'étude de ce type de matériau ? Or à l'heure actuelle, il n'existe toujours pas de modèle pouvant traduire le comportement évolutif des enrobés à l'émulsion et pouvant prendre en compte de son comportement granulaire à l'état frais et de son comportement visqueux à l'état mûri. C'est pourquoi il est nécessaire de développer une loi de comportement évolutive capable de prédire les déformations du matériau aux passages de charges et ainsi participer au futur dimensionnement des chaussées incorporant une couche d'enrobé à l'émulsion.

De plus, la plupart des essais de caractérisation utilisés sur les enrobés à l'émulsion cités précédemment nécessitent un mûrissement préalable en laboratoire avant d'être testés pour assurer la pérennité géométrique des éprouvettes. La période de mûrissement nécessite d'étudier le matériau à l'état frais avec des essais développés pour la caractérisation de grave non traitée et à l'état mûri avec des essais de caractérisation d'enrobé à chaud dès que la cohésion du matériau le permet. Actuellement, seul le suivi de module à différents états de mûrissement est étudié mais aucun test n'a été développé ou adapté afin d'évaluer le comportement évolutif de l'enrobé à l'émulsion et de son évolution depuis sa mise en œuvre in situ. Il faudrait développer un essai



Chapitre I – Etude bibliographique

pertinent qui serait adapté à ce comportement évolutif et qui puisse suivre l'évolution de ses performances de l'état frais à l'état mûri.

L'objectif de ce travail de thèse est d'apporter une contribution significative au développement de l'utilisation de l'enrobé à l'émulsion en développant une loi de comportement évolutive permettant de traduire le comportement de l'enrobé à l'émulsion depuis son état frais à son état mûri. Ce travail est une première étape vers le dimensionnement des chaussées incorporant des produits à l'émulsion de bitume ; il se limitera aux calculs de contraintes et de déformations réversibles et ne traitera pas les critères de durabilité du matériau. Pour alimenter le modèle, un essai de caractérisation a été développé pouvant suivre l'évolution des performances du matériau tout au long de son mûrissement.





Chapitre II. Loi de comportement 1D pour les enrobés à l'émulsion

II.1. Nécessité d'un nouveau modèle à la transition entre ENL et VE

Comme décrit dans la partie bibliographique, le dimensionnement mécanique d'une chaussée nécessite, dans un premier temps, de connaître les déformations et contraintes à la base des couches au passage de poids lourds de référence. Dans un second temps, Il faut connaître les performances du matériau à la fatigue. Maîtriser ces deux aspects du matériau permettra de l'intégrer au logiciel de dimensionnement et ainsi dimensionner une chaussée, dont au moins une des couches sera composée d'enrobé à froid.

Il s'agit ici d'un des premiers travaux sur le développement d'une loi de comportement pour enrobé à froid. Le travail de thèse se limite donc au développement d'une loi de comportement $\sigma \leftrightarrow \varepsilon$ tournée vers la première étape du dimensionnement de chaussée, sans prise en compte d'un critère de durabilité.

Nous cherchons à reproduire le comportement évolutif des enrobés à l'émulsion de bitume depuis l'état frais jusqu'à l'état mûri. En repartant des éléments bibliographiques présentés précédemment, le modèle de Boyce et le modèle de Huet (que nous simplifierons) seront utilisés. Le premier permettra de « capter » les propriétés élastiques non linéaires (ENL) du matériau au jeune âge lorsque celui-ci est encore sous la forme d'un matériau granulaire non lié. Le second permettra de faire converger le modèle vers les propriétés viscoélastiques (VE) d'un enrobé mûri à long terme. À ce stade, deux voies nous sont offertes pour construire le modèle.

Une première possibilité est de mettre directement en parallèle (Figure 40) les deux lois de comportement. Une variable de mûrissement continue $v(t)$ permettra de déplacer la sollicitation du modèle de Boyce vers le modèle d'Huet en ajoutant, par exemple, un effet croissant de la viscosité.

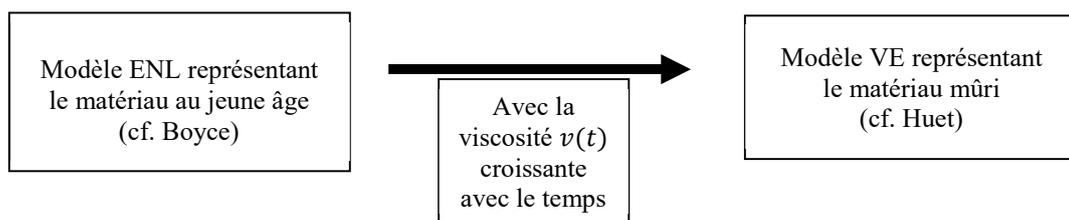


Figure 40 - Mise en parallèle directe de modèles ENL et VE.

Pourtant, cette représentation n'est pas totalement satisfaisante sur le plan « physique » dans la mesure où elle surajoute les composantes élastiques des deux modèles. La seconde méthode, que nous retiendrons par la suite, repose sur une décomposition spectrale conjointe des lois de comportement élastique non linéaire et viscoélastique permettant ainsi d'intégrer dans le modèle une part commune d'élasticité. Afin de bien poser les bases du modèle, et pour un souci de simplicité, nous nous limiterons, dans ce chapitre, à une approche 1D.



II.2. Développement de la loi de comportement en 1D

Dans cette partie, les lois de comportement 1D ENL et VE sont définies et considérées comme le point de départ du développement. Les décompositions spectrales sont développées afin de « fusionner » les modèles ENL et VE permettant ainsi d'obtenir le modèle viscoélastique non linéaire VENL 1D pour grave émulsion. Le paramètre de viscosité du modèle VE est utilisé pour rendre compte du mûrissement du matériau. L'algorithme de résolution numérique de la loi VENL obtenue est présenté. Il donne lieu à l'écriture d'un code programmé sous Visual Basics (VBA). L'équivalence de ce modèle avec chacune des lois ENL (en l'absence de viscoélasticité) et VE (en l'absence d'élasticité non linéaire) est illustrée sur des exemples calculant la réponse contrainte/déformation. La capacité du modèle à décrire les états intermédiaires d'un matériau au cours de mûrissement est décrite en fin ce chapitre.

II.3. Modèles rhéologiques constitutifs

II.3.1. Comportement élastique non linéaire

Pour le développement de la loi de comportement VENL 1D, il est proposé de partir de la loi puissance suivante ($\alpha > 1$) :

$$\sigma = -E_s(-\varepsilon)^\alpha, \text{ pour un état de compression } \sigma < 0 \text{ et } \varepsilon < 0 \quad \text{Equation 21}$$

Cette équation peut être vue comme la relation liant la déformation volumique à la pression moyenne définie dans le modèle de Boyce (équation 1.12), et ce, pour une pression moyenne positive (effort de compression) et une contrainte déviatorique nulle ($q = 0$) soit :

$$\varepsilon_v = -\frac{p}{K_a} \frac{1}{\left(\frac{p}{P_a}\right)^{1-n}}$$

Ou encore, par inversion :

$p = P_a \left(\frac{K_a}{P_a}\right)^{\frac{1}{n}} (-\varepsilon_v)^{\frac{1}{n}}$ qui a bien la même forme compte tenu des signes de p et σ que l'Equation 21. On vérifie aussi que l'exposant $\frac{1}{n}$ équivalent à l'exposant α (Equation 21) est bien supérieur à 1 compte tenu de l'inégalité $0 < n < 1$ supposée (et vérifiée expérimentalement) dans la loi de Boyce.

II.3.2. Décomposition spectrale

La décomposition spectrale, représentée Figure 41, est considérée afin de traduire le comportement rigidifiant caractéristique du modèle de Boyce. Elle est constituée de n éléments « ressort + butée » mis en série et indicés par l'indice l . À chaque instant, tous les éléments partagent la même contrainte mais avec une partition propre de la déformation.



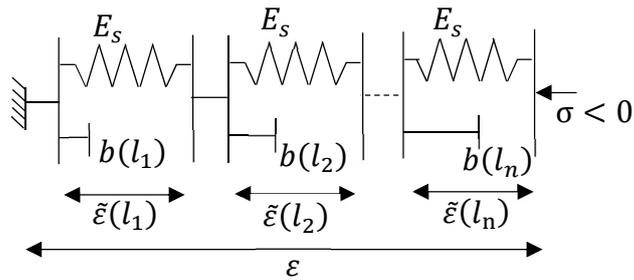


Figure 41 - Décomposition spectrale des lois ENL 1D (cas de série dénombrable).

Le fonctionnement en compression d'un élément « ressort + butée » est illustré sur les Figure 42, Figure 43 et Figure 44.

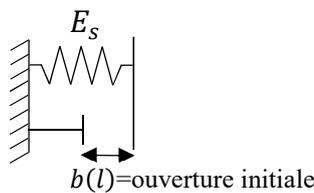


Figure 42 - Élément ouvert à l'état initial.

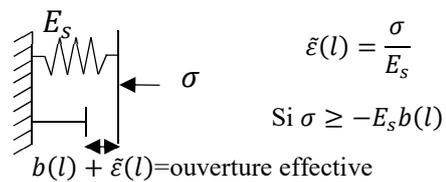


Figure 43 - Déformation de l'élément ouvert pour une contrainte $\sigma \geq -E_s b(l)$.

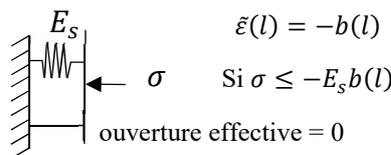


Figure 44 - Déformation de l'élément fermé pour une contrainte $\sigma \leq -E_s b(l)$.

Lors de la mise en compression du spectre, les ouvertures effectives de chaque butée vont diminuer jusqu'à ce que la déformation de certains éléments devienne égale à leur ouverture initiale $b(l)$. Dans ce cas, ces éléments se bloquent et empêchent toute déformation $\tilde{\varepsilon}(l)$ supplémentaire. La fermeture des éléments les uns après les autres entraîne donc une rigidification progressive du modèle rhéologique.

Une telle série est donc caractérisée par la rigidité E_s du « ressort » commune à tous les éléments et par la fonction $b(l)$. Celle-ci peut être choisie sans restriction décroissante avec l (Figure 45). Montrons alors que pour un choix arbitraire de E_s , il est possible de choisir la fonction $b(l)$ de façon à retrouver une loi de comportement ENL rigidifiante $\varepsilon(\sigma)$ donnée.

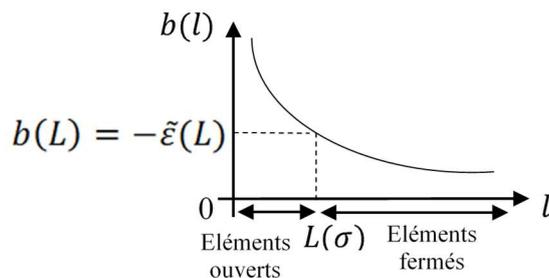


Figure 45 - Evolution de l'ouverture initiale $b(l)$ de chaque élément.



À contrainte imposée σ , la déformation du spectre est donnée par l'intégrale :

$$\varepsilon(\sigma) = \int_0^{+\infty} \tilde{\varepsilon}(l, \sigma) dl \quad \text{Equation 22}$$

Comme montré sur la Figure 45, cette intégrale peut être divisée en deux parties. Une première est associée aux éléments ouverts pour $0 \leq l \leq L(\sigma)$ où $L(\sigma)$ est solution de l'équation implicite :

$$b(L) = -\frac{\sigma}{E_s} \quad \text{Equation 23}$$

La seconde est associée aux éléments fermés pour $L(\sigma) \leq l < +\infty$. D'où :

$$\varepsilon(\sigma) = \frac{\sigma}{E_s} L(\sigma) - \int_{L(\sigma)}^{+\infty} b(l) dl \quad \text{Equation 24}$$

On en déduit par dérivation par rapport à σ :

$$\frac{d\varepsilon}{d\sigma} = \frac{L(\sigma)}{E_s} \quad \text{Equation 25}$$

Introduisons le module de souplesse tangent S défini par :

$$S(\sigma) = \frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma} \quad \text{Equation 26}$$

On en déduit :

$$\sigma = S^{-1} \left(\frac{L}{E_s} \right) \quad \text{Equation 27}$$

Et donc, compte tenu de l'Equation 23 et revenant à la variable courante l :

$$b(l) = -\frac{1}{E_s} S^{-1} \left(\frac{l}{E_s} \right) \quad \text{Equation 28}$$

Appliquons cette expression au cas particulier de la loi de comportement Equation 21.

On a pour celle-ci :

$$\varepsilon = -\left(\frac{-\sigma}{E_s} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad \text{Equation 29}$$

et donc pour le module de souplesse :

$$S(\sigma) = \frac{d\varepsilon}{d\sigma} = \left(\frac{1}{E_s} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \frac{1}{\alpha} (-\sigma)^{\frac{1-\alpha}{\alpha}} \quad \text{Equation 30}$$

soit :

$$\sigma = -\left(\alpha E_s^{\frac{1}{\alpha}} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} S^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \quad \text{Equation 31}$$

Et donc :



$$b(l) = \left(\frac{1}{\alpha l}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha-1}} \quad \text{Equation 32}$$

On vérifie que l'exposant $\frac{\alpha}{\alpha-1}$ est positif pour $\alpha > 1$. La courbe $b(l)$ obtenue a une forme similaire à celle de la Figure 45; elle décroît de l'infini à zéro pour l variant de zéro à l'infini.

II.4. Choix d'une loi VEL et représentation spectrale

En s'inspirant du modèle de Huet, communément utilisé pour représenter le comportement des enrobés bitumineux à chaud, nous proposons de décrire la composante visqueuse du comportement des enrobés à l'émulsion au moyen d'une unique fonction de fluage parabolique d'équation :

$$F(t) = B \left(\frac{t}{A}\right)^{\beta} \quad \text{Equation 33}$$

avec $0 < \beta < 1$.

Dans les premières applications numériques (avant calage du modèle), nous supposons la valeur de β voisine de celle de l'exposant h du modèle de Huet sachant que l'amortisseur parabolique h est représentatif du comportement des enrobés bitumineux dans le domaine des faibles valeurs de modules. Nous aurons ainsi $\beta \approx 0,6$.

Le paramètre A joue le rôle d'un temps caractéristique pouvant être utilisé pour rendre compte de l'effet de température et de mûrissement. A mûrissement donné, A sera supposé avoir la même forme que la fonction $a(\theta)$ introduite en bibliographie en équation 1.5 et donc décroître avec la température. A température fixée, A sera supposée croissant avec le mûrissement.

Sans restreindre le modèle, B peut être pris égal à l'inverse du module E_s retenu pour la composante ENL, en modifiant simplement la valeur du paramètre A par une constante multiplicative.

II.4.1. Décomposition de la loi VE en spectre de fluage

Il est possible d'utiliser les outils classiques de décomposition spectrale des lois VE pour représenter le comportement de l'amortisseur parabolique. De manière générale, les lois de fluage peuvent être représentées par la décomposition en série d'éléments de Kelvin Voigt (spectre de fluage) illustrée en Figure 46 et indicée par l'indice l . Plusieurs variantes d'écriture sont possibles. Dans la suite, nous supposons les éléments composés de « ressorts » de modules identiques, égaux à $E = \frac{1}{B}$ et d'amortisseurs linéaires à viscosité variable $\eta(l)$. Sans restreindre le modèle, la fonction $\eta(l)$ peut être prise croissante.



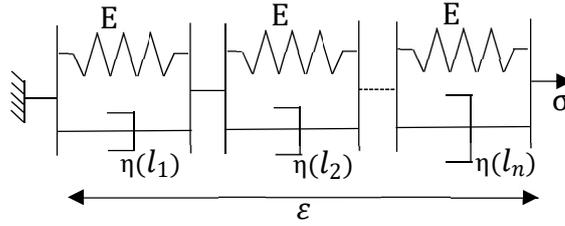


Figure 46 - Spectre de fluage.

La fonction de fluage associée à ce spectre s'écrit sous la forme :

$$F(t) = \frac{1}{E} \int_0^{+\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{\zeta(l)}} \right) dl \quad \text{Equation 34}$$

$$\text{où } \zeta(l) = \frac{\eta(l)}{E} \quad \text{Equation 35}$$

Est établi en annexe 1, le calcul général de la fonction $\zeta(l)$ associée à la fonction de fluage $F(t)$. On obtient :

$$\frac{l}{E} = \int_0^{\zeta} \frac{TL^{-1}(\dot{F}(t))\left(\frac{1}{w}\right)}{w} dw \quad \text{Equation 36}$$

La notation $TL^{-1}(\dot{F}(t))(\cdot)$ est la transformée inverse de Laplace de la dérivée temporelle de la fonction de fluage. $\zeta(l)$ s'obtient par inversion de l'Equation 48.

Appliquons cette transformation au cas de l'Equation 33 avec $E = \frac{1}{B}$. On a successivement :

$$\dot{F}(t) = \frac{\beta}{EA^\beta} \frac{1}{t^{1-\beta}} \quad \text{Equation 37}$$

$$TL^{-1}(\dot{F}(t))\left(\frac{1}{w}\right) = \frac{\beta}{EA^\beta} \frac{w^\beta}{\Gamma(1-\beta)} \quad \text{Equation 38}$$

$$\int_0^{\zeta} \frac{TL^{-1}(\dot{F}(t))\left(\frac{1}{w}\right)}{w} dw = \frac{1}{EA^\beta \Gamma(1-\beta)} w^\beta \quad \text{Equation 39}$$

Et par conséquent, en égalisant cette expression à $\frac{l}{E}$ et en inversant la relation obtenue, nous avons :

$$\zeta(l) = A \Gamma(1-\beta)^{\frac{1}{\beta}} l^{\frac{1}{\beta}} \quad \text{Equation 40}$$

On vérifie *a posteriori* que cette « fonction puissance » d'exposant $\frac{1}{\beta} > 1$ tend vers 0 en 0 et vers $+\infty$ en $+\infty$. On vérifie également que $\zeta(l)$ étant proportionnelle à A .

Par la suite, le spectre VE ainsi défini sera considéré pour le cas particulier de ressorts de module $E = E_s$.



II.5. Modèle de comportement VENL 1D pour enrobé à l'émulsion

La construction des spectres ENL (Figure 41) et VE (Figure 46) (identiques en termes de paramétrage l et de « ressorts E_s ») permet à présent de fusionner « naturellement » ces deux modèles, en vue de simuler le comportement des enrobés à l'émulsion et son mûrissement. Nous sommes en effet conduits à introduire la série d'éléments à trois branches « ressort + amortisseur linéaire + butée » comme présentée Figure 47 qui se comporterait, en l'absence d'amortisseur ($A = 0$), comme la loi ENL et, en l'absence de butée, comme la loi VE. En considérant une croissance de A , le modèle permet de simuler le passage progressif d'un comportement granulaire élastique non linéaire à un comportement viscoélastique non linéaire, caractérisant le phénomène de mûrissement. Ce modèle sera appelé, dans la suite de l'étude, le modèle viscoélastique non linéaire unidimensionnel VENL 1D.

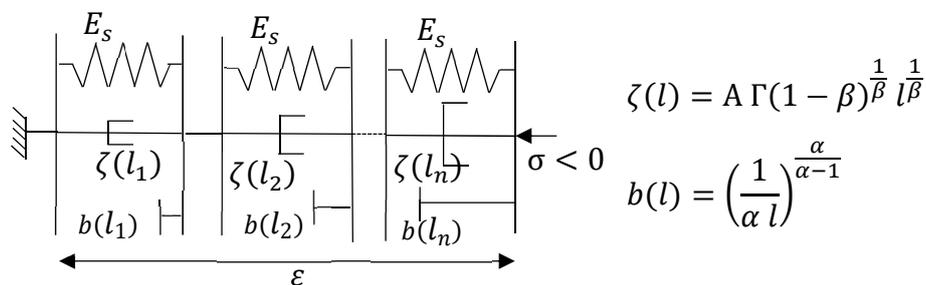


Figure 47 - Spectre à trois branches.

Par la suite, le comportement de cette série sera étudié en considérant les formes des fonctions $b(l)$ et $\zeta(l)$ identiques à celles définies précédemment, en conservant le caractère décroissant de la première et croissant de la seconde avec l . Un essai réalisé avec l'hypothèse inverse consistant à prendre $b(l)$ et $\zeta(l)$ variant dans le même sens (en faisant par exemple dans $b(l)$ la substitution $\rightarrow \frac{1}{l}$) a montré que l'on pouvait perdre le caractère non linéaire de la série d'éléments à trois branches. Dans ce cas, le modèle n'aurait pas la dualité entre l'amortisseur et la « butée », nous aurions toujours eu les mêmes éléments fermés (ceux ayant la plus petite viscosité et la plus petite ouverture de « butée ») et des éléments qui ne se fermeront jamais (ceux avec la plus grande viscosité couplée à la plus grande ouverture de « butée »).

Il aurait été possible, de manière plus générale, de chercher à identifier ces fonctions à partir de la donnée du comportement d'un tel modèle fusionné, mais ceci exigerait de pouvoir disposer sur le matériau censé répondre à ce modèle d'un nombre important de résultats d'essai pour des modalités de chargement variées allant au-delà des essais effectués pendant cette thèse. A l'inverse, la démarche, retenue ici, va permettre de limiter l'identification du modèle aux valeurs de ces quelques paramètres (exposants, coefficients d'« amplitude »).



II.5.1. Loi de comportement du modèle VENL 1D à historique de contrainte $\sigma(t)$ donné

Établissons la réponse du modèle ci-dessus connaissant la fonction $\sigma(t)$. Nous nous limiterons pour ce modèle 1D au passage de $\sigma(t)$ à $\varepsilon(t)$; le passage inverse de $\varepsilon(t)$ à $\sigma(t)$ sera développé en 3D dans le chapitre à venir.

La déformation du spectre est la somme des déformations de chacun des éléments qui le compose :

$$\varepsilon(t) = \int_0^{+\infty} \tilde{\varepsilon}(l, t) dl \quad \text{Equation 41}$$

Néanmoins, il n'existe pas de solution analytique permettant de relier de façon générale les évolutions de déformation $\tilde{\varepsilon}(l, t)$ et de contrainte. En effet, contrairement au cas du spectre ENL, le fait de mettre en parallèle des « butées » d'ouverture décroissante et des « amortisseurs » de viscosité croissante ne permet plus, pour une fonction $\sigma(t)$ non nécessairement monotone (cf. contrainte engendrée dans une chaussée par un poids lourds tridem), d'assurer l'unicité d'une frontière $l = L$ entre éléments fermés et éléments ouverts permettant de simplifier le problème. Il peut y avoir à un instant t donné, une alternance en fonction de l d'éléments ouverts et fermés. Nous allons donc résoudre le problème du calcul de $\varepsilon(t)$ numériquement en introduisant à la fois une discrétisation sur les variables t (temps) et l .

Nous notons $t_0 = 0, t_1 = \Delta t, \dots, t_i = i\Delta t, \dots, t_n = n\Delta t = t_f$, les instants de discrétisation pris équidistants entre les instants initial et final considérés pour le chargement. Pour simplifier le problème, seules les fonctions de contrainte $\sigma(t)$ continues et affines par morceaux sont utilisées par la suite avec l'hypothèse complémentaire de valeurs nulles aux instants $t \leq 0$ ($\sigma(0) = 0$), Figure 48. Ceci permet d'éviter tout saut de contrainte à l'origine du chargement qui nécessite un traitement particulier du comportement intégral propre au comportement viscoélastique. Cet espace de fonction contrainte est noté \mathcal{L}_a .

Dans la perspective d'une élaboration de méthode de dimensionnement de chaussée avec grave émulsion, l'hypothèse $\sigma(0) = 0$ est peu restrictive vis-à-vis des sollicitations à modéliser associées au passage de poids lourd pris isolément. Dans le cas de nos campagnes d'essai basées sur des mesures de module complexe, nos simulations seront établies à partir de chargements sinusoïdaux à petit nombre de cycles partant d'un état de contrainte nul.



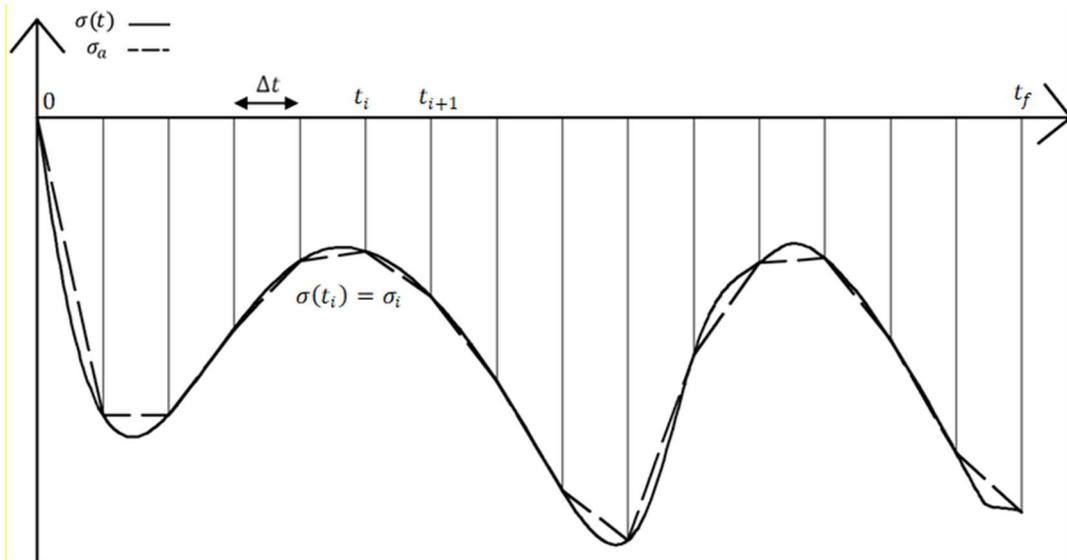


Figure 48 - Approximation de la fonction $\sigma(t)$ par une fonction $\sigma_a(t) \in \mathcal{L}_a$: $\sigma_a(t_i) = \sigma(t_i) = \sigma_i$
(Notation σ_a uniquement utilisée pour les besoins de cette figure).

II.5.1.1. Calcul des déformations $\tilde{\varepsilon}(l, t_{i+1})$

Dans un premier temps, considérons connue, à l'instant t_i , la déformation $\tilde{\varepsilon}(l, t_i)$. Il s'agit alors de calculer la déformation $\tilde{\varepsilon}(l, t_{i+1})$.

Cas d'un élément ouvert à l'instant t_i

Considérons, en premier lieu, le cas d'un élément l ouvert à l'instant t_i tel que $\tilde{\varepsilon}(l, t_i) > -b(l)$.

La déformation libre, en l'absence de butée, se calcule, selon l'annexe 2, de la façon suivante :

$$\tilde{\varepsilon}^{libre}(l, t_{i+1}) = \frac{\sigma_i}{E_s} + \frac{\dot{\sigma}_i}{E_s} (t_{i+1} - t_i - \zeta(l)) + \left(\tilde{\varepsilon}(l, t_i) - \frac{\sigma_i}{E_s} + \frac{\dot{\sigma}_i}{E_s} \zeta(l) \right) e^{-\frac{(t_{i+1}-t_i)}{\zeta(l)}} \quad \text{Equation 42}$$

où $\dot{\sigma}_i = \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_i}{\Delta t}$ est une quantité connue.

- Si celle-ci est supérieure à la valeur $-b(l)$, l'élément reste ouvert sur l'intervalle de temps $[t_i, t_{i+1}]$ et sa déformation à l'instant t_{i+1} est alors égale à :

$$\tilde{\varepsilon}(l, t_{i+1}) = \tilde{\varepsilon}^{libre}(l, t_{i+1}) \quad \text{Equation 43}$$

- Si celle-ci est inférieure à la valeur $-b(l)$, l'élément se ferme sur l'intervalle de temps $[t_i, t_{i+1}]$ et sa déformation à l'instant t_{i+1} se limite à la valeur de butée telle que :

$$\tilde{\varepsilon}(l, t_{i+1}) = -b(l) \quad \text{Equation 44}$$

Cas d'un élément fermé à l'instant t_i :

Si l'élément est fermé à l'instant t_i , soit $\tilde{\varepsilon}(l, t_i) = -b(l)$, la contrainte dans le ressort est égale à :

$$\sigma_{ressort} = -E_s b(l) \quad \text{Equation 45}$$



- Si la contrainte σ_{i+1} est inférieure (algébriquement) à la valeur $\sigma_{ressort}$, cela signifie que l'élément reste fermé sur tout l'intervalle de temps $[t_i, t_{i+1}]$. Sa déformation, à l'instant t_{i+1} , est égale à :

$$\tilde{\varepsilon}(l, t_{i+1}) = -b(l) \quad \text{Equation 46}$$

- Si σ_{i+1} est supérieure à la valeur $\sigma_{ressort}$, l'élément s'ouvre dans l'intervalle de temps $[t_i, t_{i+1}]$, et ce, à l'instant calculé suivant :

$$t_{F/O} = t_i - \frac{E_s b(l) + \sigma_i}{\dot{\sigma}_i} \quad \text{Equation 47}$$

et reste ouvert par la suite.

Sur la fin de l'intervalle de temps considéré, l'élément reste ouvert. La déformation est alors calculée à l'instant t_{i+1} à l'aide de l'expression Equation 30 mais en substituant t_i par $t_{F/O}$ telle que :

$$\tilde{\varepsilon}(l, t_{i+1}) = \tilde{\varepsilon}(l, t_i) + \frac{\dot{\sigma}_i}{E_s} (t_{i+1} - t_{F/O} - \zeta(l)) + \frac{\dot{\sigma}_i}{E_s} \zeta(l) e^{-\frac{(t_{i+1} - t_{F/O})}{\zeta(l)}} \quad \text{Equation 48}$$

avec : $\tilde{\varepsilon}(l, t_i) = \tilde{\varepsilon}(l, t_{F/O}) = \frac{\sigma(t_{F/O})}{E_s} = -b(l)$

II.5.1.2. Calcul de la déformation totale $\varepsilon(t_{i+1})$

La déformation totale est alors mise à jour selon l'expression suivante :

$$\varepsilon(t_{i+1}) = \int_0^{+\infty} \tilde{\varepsilon}(l, t_{i+1}) dl \quad \text{Equation 49}$$

Cette intégrale est calculée en considérant une discrétisation du domaine d'intégration et un calcul analytique de l'intégrale selon la méthode des rectangles, Figure 49. Considérons la variable l comme étant une suite finie de valeurs ($l_0 = 0 < l_1 < \dots < l_j < \dots < l_p < +\infty$). La dernière valeur l_p est considérée comme suffisamment grande pour pouvoir négliger l'intégrale entre l_p et $+\infty$.

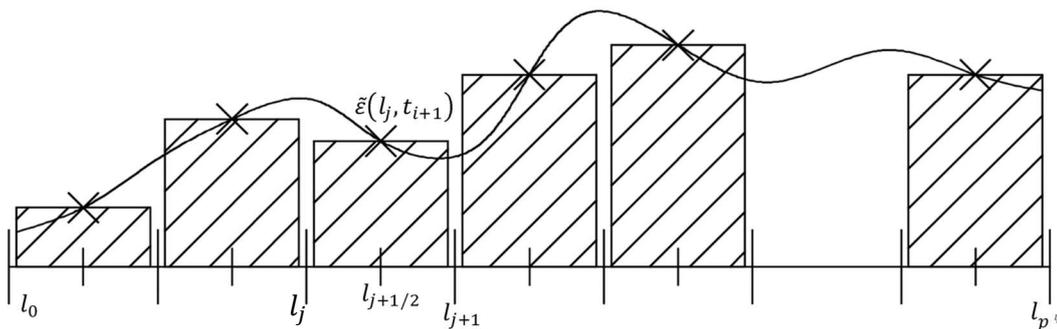


Figure 49 - Schéma de calcul de l'intégrale par la méthode des rectangles.

Sur chaque intervalle $[l_j, l_{j+1}]$, la déformation $\tilde{\varepsilon}(l, t_{i+1})$ est la valeur moyenne dans l'intervalle. En considérant une évolution linéaire de la déformation dans l'intervalle, la valeur moyenne est définie par :



$$\tilde{\varepsilon}(l_{j+1/2}, t_{i+1}) \text{ où } l_{j+1/2} = \frac{l_j + l_{j+1}}{2}$$

La méthode des rectangles permet d'approximer la déformation comme suit :

$$\varepsilon(t_{i+1}) \approx \sum_{j=0}^{p-1} \tilde{\varepsilon}(l_{j+1/2}, t_{i+1}) (l_{j+1} - l_j) \quad \text{Equation 50}$$

Dans l'implémentation des algorithmes développés dans cette thèse, les fonctions puissances $b(l)$ et $\zeta(l)$, utilisées pour reproduire les fonctions ENL et VE associées aux GNT et enrobés bitumineux, nous conduisent à distribuer les valeurs l_j de façon régulière sur une échelle logarithmique entre l_0 et l_p avec $l_0 = 10^{-8}$ et $l_p = 10^8$, soit $l_j = 10^{\log l_0 + \frac{j}{p} \log l_p}$ ($\log =$ logarithme décimal). En pratique, la valeur de p est prise égale à 201.

II.5.2. Algorithme de calcul de la loi VENL 1D et implémentation numérique

La démarche de calcul, développée précédemment, nous conduit à proposer l'algorithme de calcul suivant pour le passage de $\sigma(t)$ à $\varepsilon(t)$ (Figure 50).

Les valeurs $E_s, \alpha, A, \beta, t_f, n$ (nombre de pas de temps), l_0, l_p, p sont données. Également, l'histoire des contraintes (σ_i pour $i = 1, \dots, n$) est connue en considérant un état de contrainte vierge à l'origine ($\sigma_0 = 0$).

De plus, on suppose connues les valeurs $iouvert_j(l_{j+1/2}) = 1$ (éléments ouverts à l'instant 0) et $\tilde{\varepsilon}(l_{j+1/2}, t_0) = 0$ (déformations initiales des éléments du spectre égales à 0).



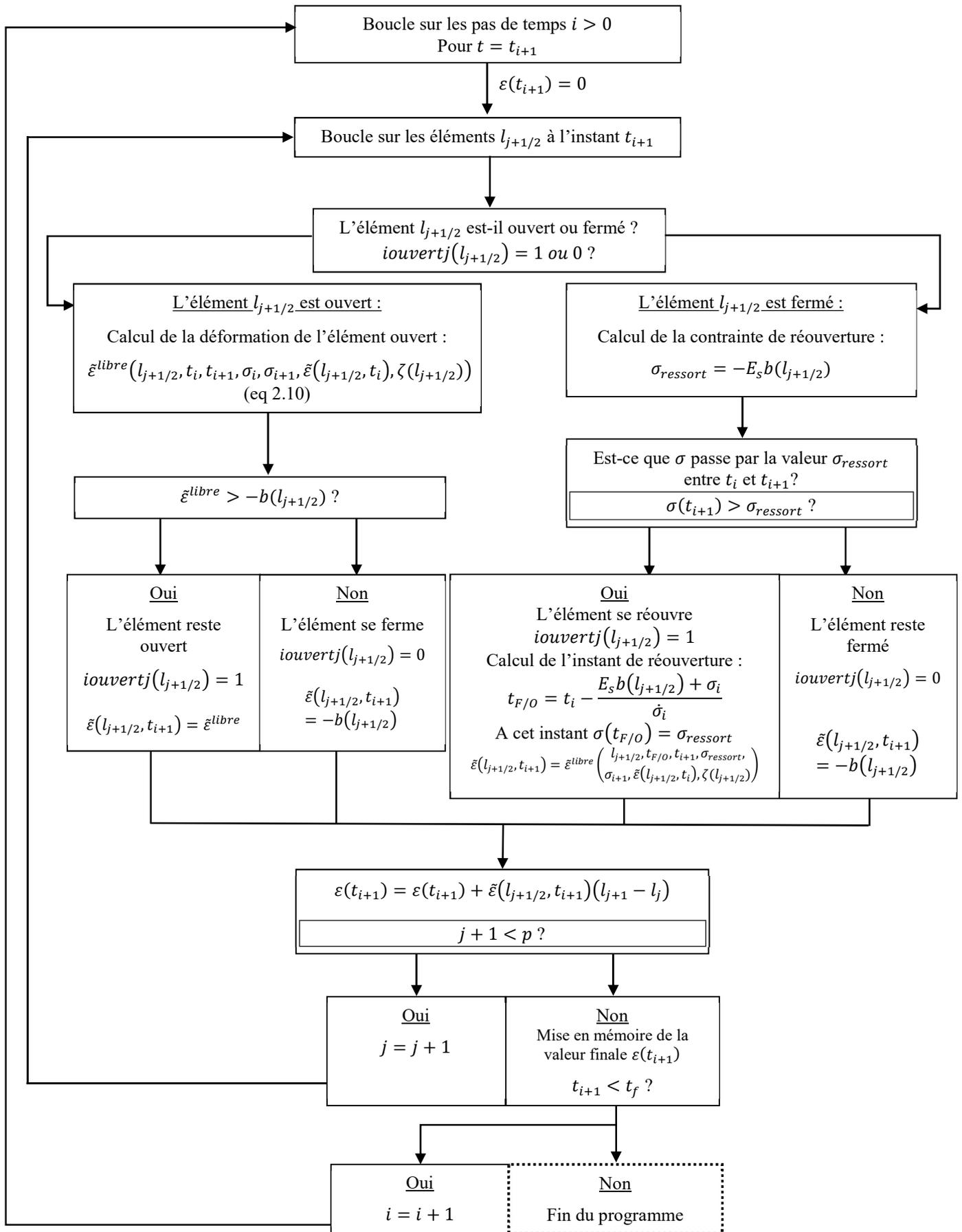


Figure 50 - Diagramme de l'implémentation de la loi 1D.



Cet algorithme est mis en œuvre à travers un codage Visual Basic sous Microsoft Excel (VBA) bénéficiant de l'environnement graphique du tableur. Pour des configurations particulières, l'algorithme peut être intégré dans des procédures de caractérisation des paramètres des modèles ENL ou VE, de façon séparée.

Le modèle ENL est obtenu en faisant tendre la viscosité vers zéro ($\zeta(l) \rightarrow 0$) à travers de petites valeurs de A .

Le modèle VE est isolé en faisant tendre E_s vers zéro tout en gardant le produit $E_s A^\beta$ très grand.

II.5.3. Validation des modèles ENL et VE

Cette première étape de validation emploie le modèle VENL 1D sans et avec viscosité afin de reproduire séparément les deux comportements de base ENL et VE. Ces calculs de vérification sont notés respectivement VENL 1D (ENL) et VENL 1D (VE).

Pour fixer des valeurs réalistes des paramètres, nous imposons pour les calculs VENL 1D (ENL) une déformation égale à $\varepsilon_0 = -10^{-3}$ pour une contrainte $\sigma_0 = -0,4 \text{ MPa}$, typique d'une GNT.

L'exposant α est considéré égal à l'inverse de l'exposant n du modèle de Boyce et pris ici égal à $1/0,6 = 5/3$. L'exposant β , comme explicité précédemment, est choisi du même ordre de grandeur que l'exposant h du modèle de Huet. Sa valeur est choisie ici à 0,68.

La loi de comportement ENL (eq. 2.1) s'écrit :

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^\alpha$$

ce qui revient à prendre : $E_s = \sigma_0 \varepsilon_0^{-\alpha}$. Pour le choix des valeurs ε_0 , α et σ_0 fait ci-dessus, la valeur de E_s est trouvée égale à 40 000 MPa même si celle-ci n'a pas de véritable signification physique.

De façon à minimiser la composante VE des simulations VENL 1D (ENL), la valeur de A est choisie petite, égale à $\frac{t_1}{200\,000}$.

Concernant le modèle VENL 1D (VE), nous optons pour une fonction de fluage qui rend compte d'un module sécant E_1 de 2 000 MPa après un temps t_1 de fluage de 0,02s, correspondant à une valeur typique de GE en cours de mûrissement (cf. chapitre IV). La loi de comportement VE (ep. 2.5) s'écrit, quant à elle, comme suit :

$$F(t) = \frac{1}{E_1} \left(\frac{t}{t_1} \right)^\beta = \frac{1}{E_s} \left(\frac{t}{A} \right)^\beta \text{ avec } A = \left(\frac{E_1}{E_s} \right)^{\frac{1}{\beta}} t_1.$$

De façon à minimiser la composante ENL des simulations VENL 1D (VE), la valeur de E_s est choisie petite, égale à 1 MPa.

Deux cas de chargement sont considérés, et ce, pour les deux modèles VENL 1D (ENL) et VENL 1D (VE).

Le premier cas de chargement représente un état de fluage précédé d'une rampe linéaire de mise en charge (Figure 51). Il est défini par :



$$\sigma(t) = \sigma_0 \frac{t}{t_1} \text{ pour } 0 \leq t \leq 2t_1 \text{ et } \sigma(t) = 2\sigma_0 \text{ pour } 2t_1 \leq t$$

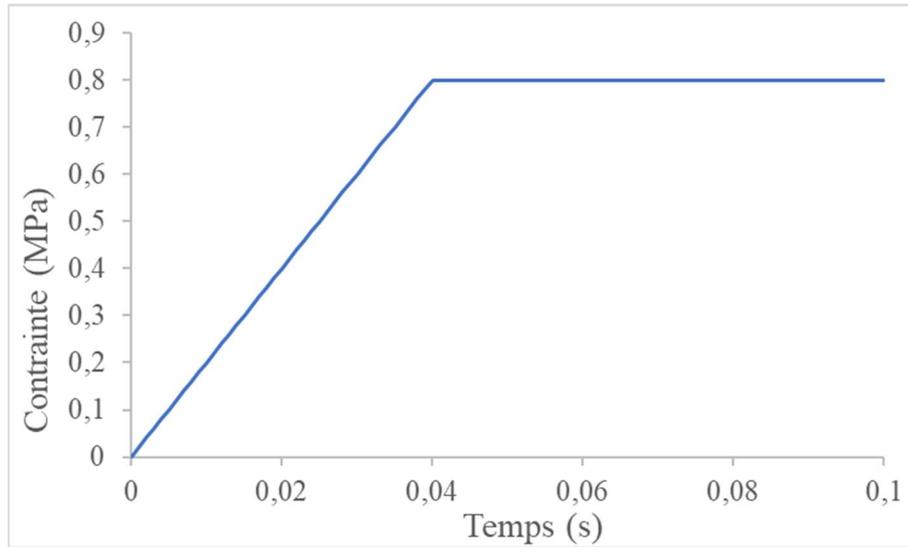


Figure 51 - Contrainte de compression.

Le second est un chargement harmonique, Figure 52. Il est défini par :

$$\sigma(t) = \sigma_0(1 - \cosinus(2\pi ft)) = \sigma_0 - \text{Re}(\sigma_0 e^{i2\pi ft}) = \text{« contrainte constante »} - \text{« contrainte cyclique »}, \text{ pour } 0 \leq t \leq 5/f \text{ avec } f = \text{fréquence} = 10 \text{ Hz}.$$

Celle-ci est approximée par la fonction $\sigma(t)$ de \mathcal{L}_a qui lui est associée.

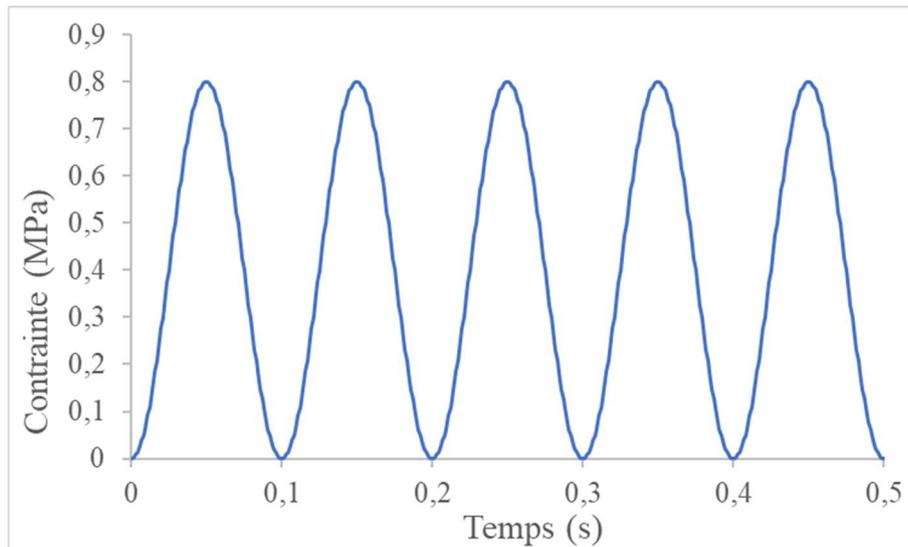


Figure 52 - Contrainte de compression sinusoidale imposée.

Les calculs VENL 1D (ENL) et VENL 1D (VE) sont comparés aux calculs directs issus des lois ENL (Equation 21) et VE. Pour cette dernière, un court programme annexe a été construit. Il est basé sur la loi de convolution induite de la fonction de fluage (Equation 33) :

$$\varepsilon_{VE}(t) = F(t) \otimes \dot{\sigma}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(t - \tau) \dot{\sigma}(\tau) d\tau$$

soit pour les instants de discrétisation t_i et une fonction contrainte dans \mathcal{L}_a :



$$\varepsilon_{VE}(t_i) = \sum_{j=0}^{i-1} \int_{t_j}^{t_{j+1}} F(t_i - \tau) \frac{(\sigma_{j+1} - \sigma_j)}{\Delta t} d\tau$$

où encore pour la fonction puissance $F(t)$ considérée :

$$\varepsilon_{VE}(t_i) = \frac{1}{\Delta t(\beta + 1)E_s A^\beta} \sum_{j=0}^{i-1} (\sigma_{j+1} - \sigma_j) \left[(t_i - t_j)^{\beta+1} - (t_i - t_{j+1})^{\beta+1} \right] \quad \text{Equation 51}$$

Les Figure 53 et Figure 54 montrent les réponses du modèle VENL 1D, comparées aux calculs directs pour le premier chargement. La figure de gauche est relative à l'ENL, celle de droite à la VE.

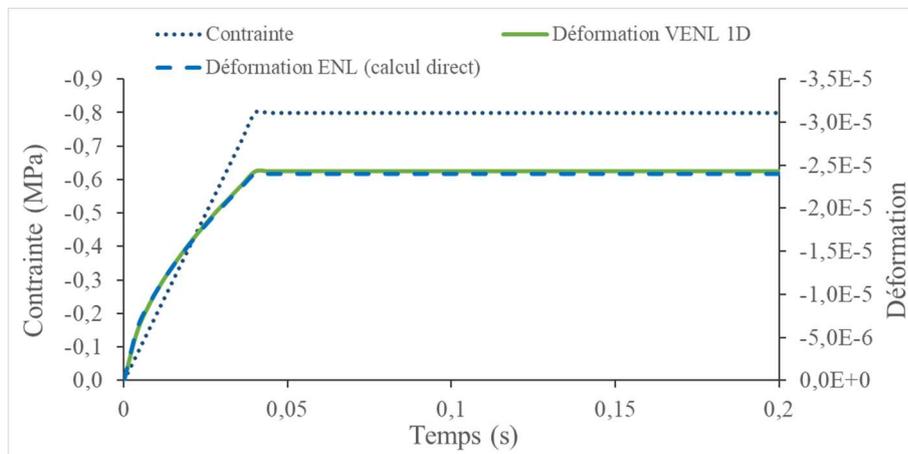


Figure 53 - Modélisations VENL 1D (ENL) vs ENL directe.

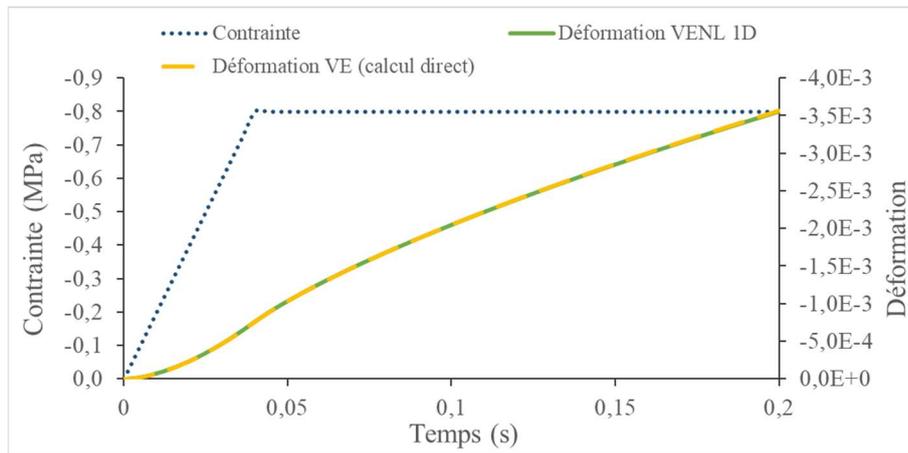


Figure 54 - Modélisations VENL 1D (VE) vs VE directe.

Que ce soit en ENL ou en VE, le modèle spectral VENL 1D reproduit fidèlement les réponses des lois de comportement génériques ENL et VE.



Les Figure 55 (ENL) et Figure 56 (VE) se rapportent au deuxième cas de chargement. Pour les deux modèles, les résultats sont présentés sous la forme de deux graphiques, le premier représentant la déformation en fonction du temps et le second la courbe contrainte déformation.

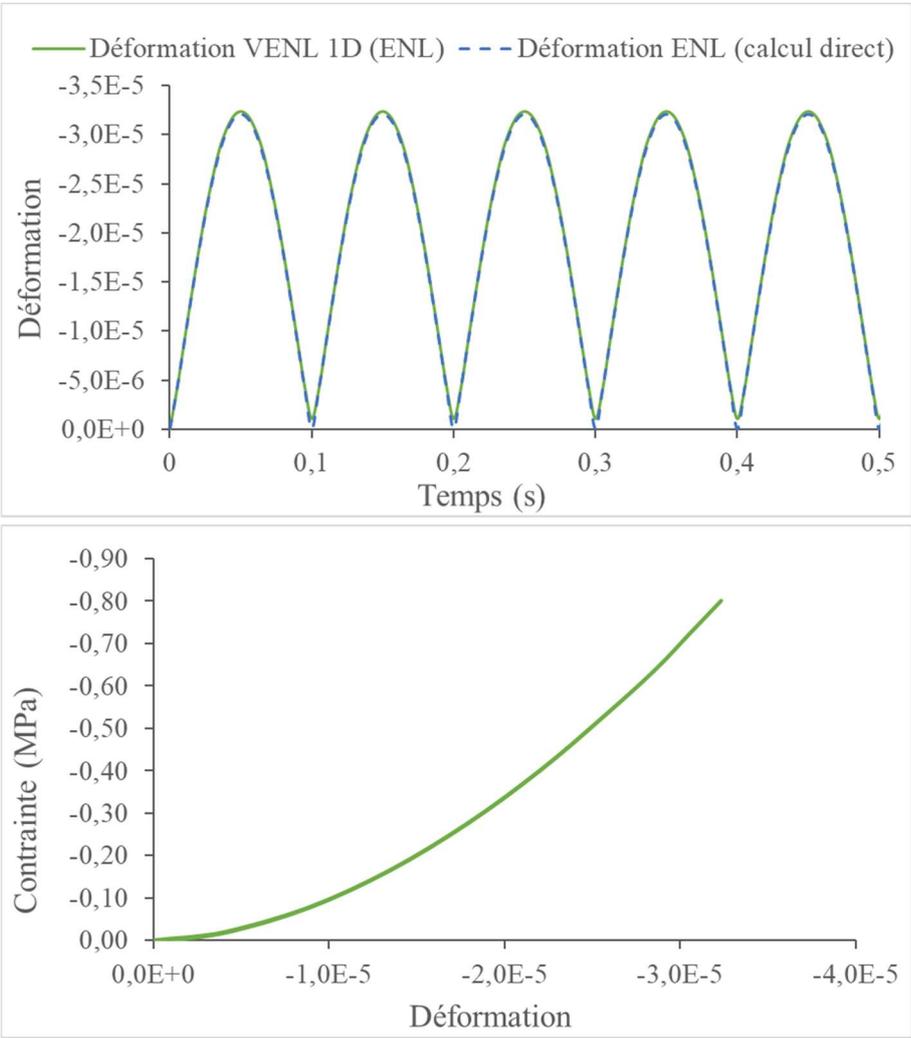
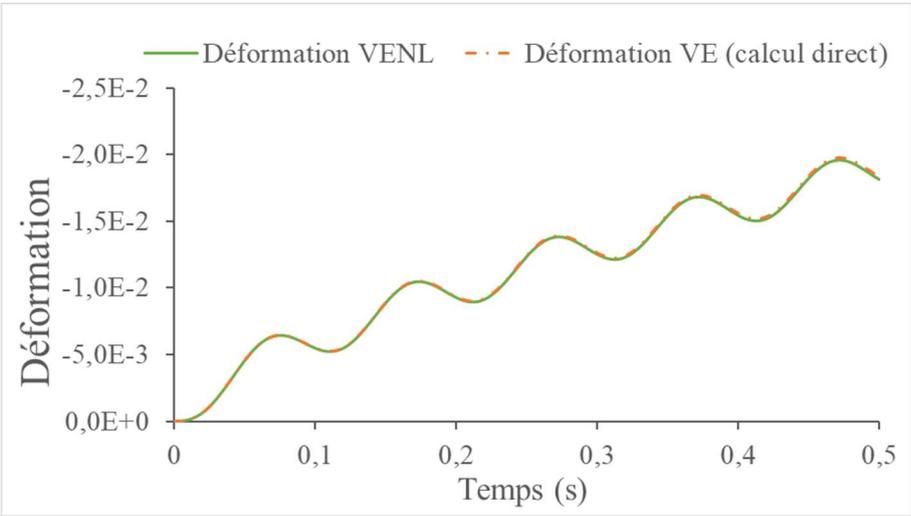


Figure 55 – Modélisations VENL 1D (ENL) vs ENL direct sous chargement cyclique.



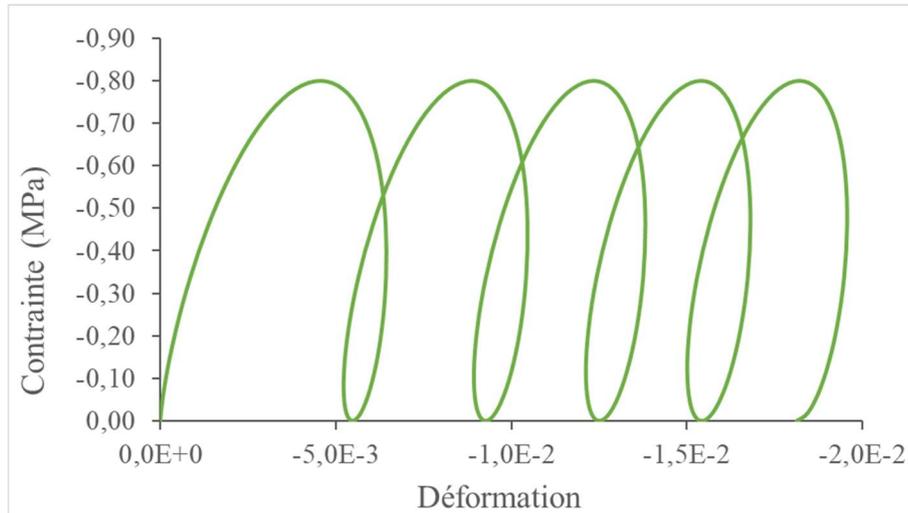


Figure 56 - Modélisations VENL 1D (VE) vs VE direct sous chargement cyclique.

Comme précédemment, on observe une très bonne concordance entre le modèle VENL 1D et les modèles directs, validant ainsi l'algorithmique d'intégration du modèle VENL 1D dans le cas de chargements non monotones.

On observe que le modèle VE montre, comme attendu pour la sollicitation cyclique considérée, une déformation moyennée sur le temps égale à $\varepsilon_m(t) = \frac{\sigma_0}{E_s} \left(\frac{t}{A}\right)^\beta$, correspondant à la valeur moyenne de la contrainte $\sigma(t)$ imposée, Figure 57. Quant à la différence $\varepsilon(t) - \varepsilon_m(t)$, elle se stabilise rapidement sur le cycle contrainte-déformation associé à la valeur de module complexe correspondant à la fonction de fluage F , à savoir, Figure 58 :

$$\varepsilon(t) - \varepsilon_m(t) \approx -Re \left(\frac{\sigma_0}{E^*} e^{i2\pi ft} \right) \text{ avec } E^* = \frac{E_s(i\omega A)^\beta}{\Gamma(\beta+1)}$$

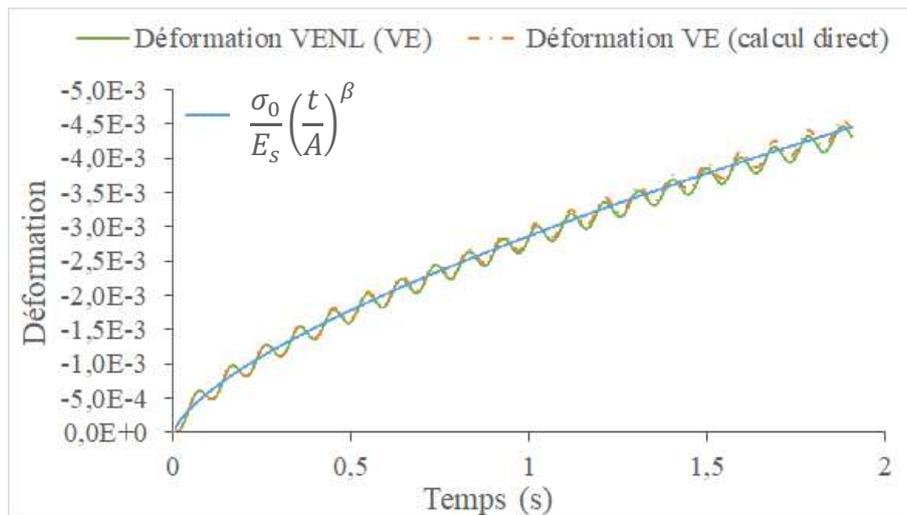


Figure 57 – Comparaison entre modèle VE direct, VENL 1D (VE) et déformation moyenne analytique.



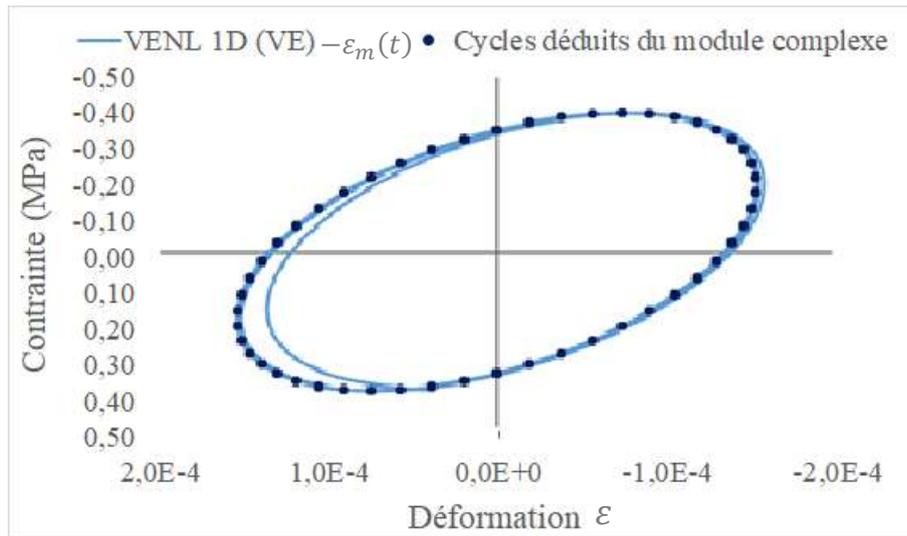


Figure 58 - Comparaison entre déformations cycliques du modèle VENL 1D (VE) et déduites du module complexe.

II.5.4. Simulation VENL 1D d'un mûrissement

Les exemples à suivre illustrent le comportement du modèle VENL 1D, sur la base des deux fonctions $\sigma(t)$ précédentes, en considérant une variable de « mûrissement » A croissante avec l'âge du matériau et donnant de plus en plus de poids à la composante VE. Les valeurs des paramètres $E_s = \sigma_0 \varepsilon_0^{-\alpha}$, α , t_1 et β sont reprises des simulations précédentes.

Les valeurs de A sont fixées à travers la relation $A = \left(\frac{E_1}{E_s}\right)^{\frac{1}{\beta}} t_1$ et le choix de la valeur de E_1 .

La Figure 59 illustre la réponse du modèle VENL 1D pour $E_1 = 1\,000\text{ MPa}$, pour le premier chargement.

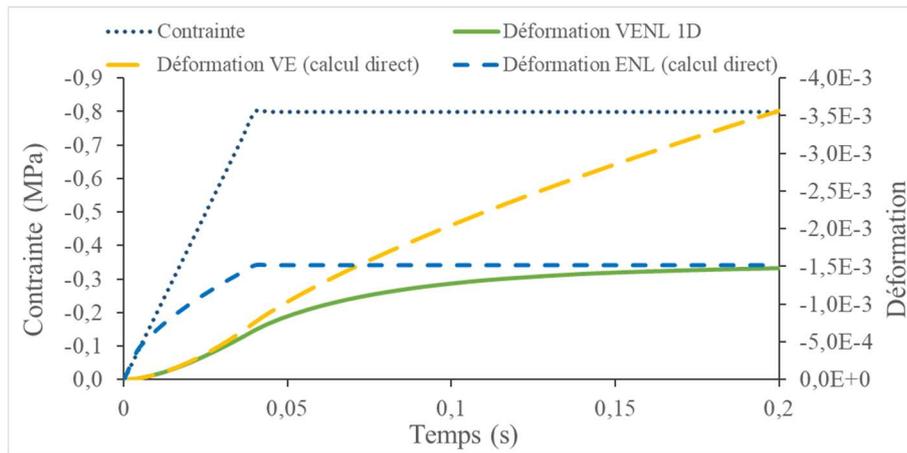


Figure 59 - Modélisation VENL 1D pour $E_1 = 1\,000\text{ MPa}$ et le premier chargement.

La déformation du modèle VENL 1D est voisine à l'origine de la courbe VE et tend asymptotiquement pour les grandes valeurs de temps vers la réponse ENL, traduisant la transition entre les deux types de comportement.



La Figure 60 illustre la réponse du modèle VENL 1D pour la même valeur $E_1 = 1\ 000\ MPa$ et pour un unique cycle du second chargement. Celle-ci est comparée aux réponses des modèles ENL et VE directs.

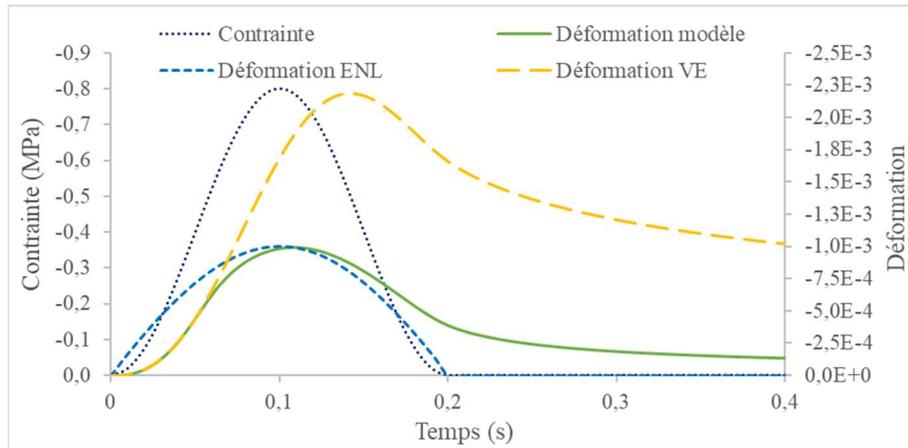
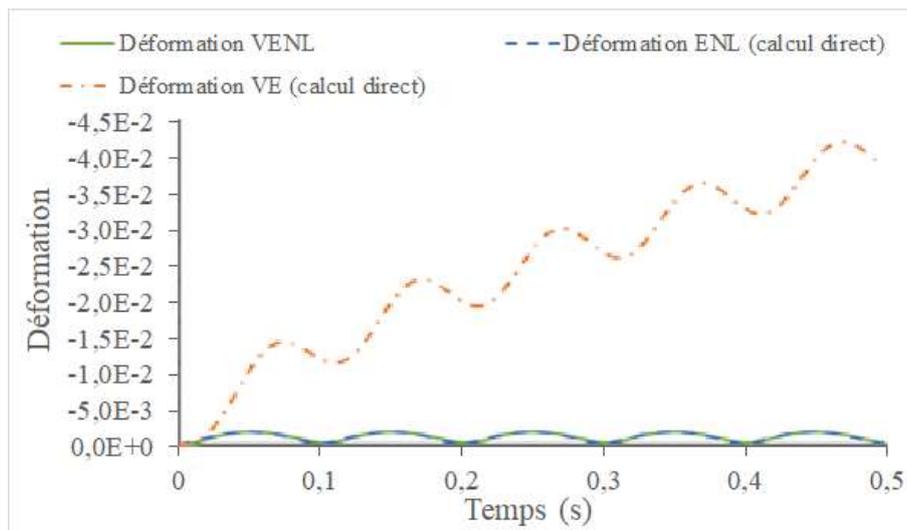


Figure 60 - Modélisation d'un passage de roue sur chaussée.

Comme précédemment, on observe une réponse initiale du modèle VENL 1D similaire à celle du modèle VE. Mais la réponse VENL 1D reste majorée par la valeur pic de la courbe ENL. Au cours de la décharge, la courbe VENL 1D suit une évolution quasi parallèle à la courbe VE tout en restant en-dessous de celle-ci. Elle reste en revanche au-dessus de la courbe ENL qui revient à zéro en même temps que la contrainte.

Pour compléter ces calculs, des premières simulations de mûrissement ont été réalisées pour le second chargement à plusieurs cycles en considérant 3 valeurs de E_1 : 100, 800, 2 000 MPa (Figure 61, Figure 62 et Figure 63). Les graphiques sont composés des déformations calculées pour les modèles ENL et VE de référence.



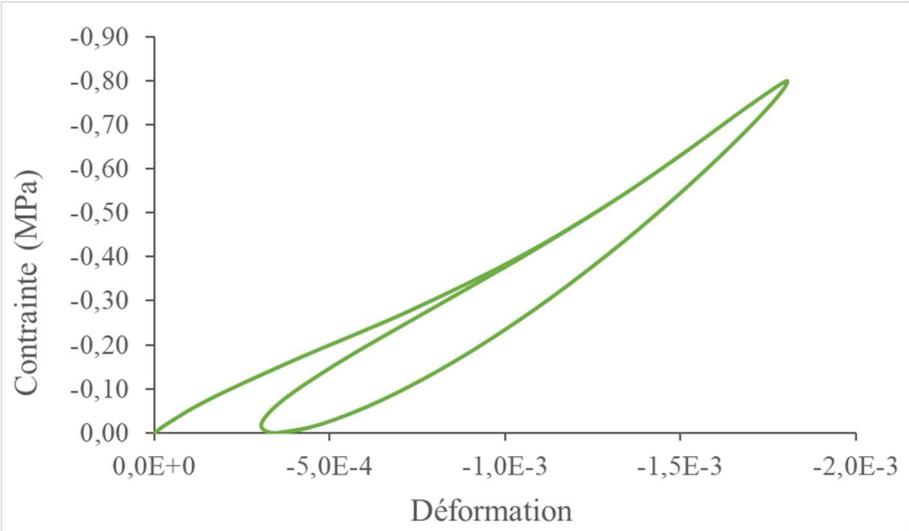


Figure 61 - Modélisation de la réponse sous chargement cyclique pour $E_1 = 100 \text{ MPa}$.

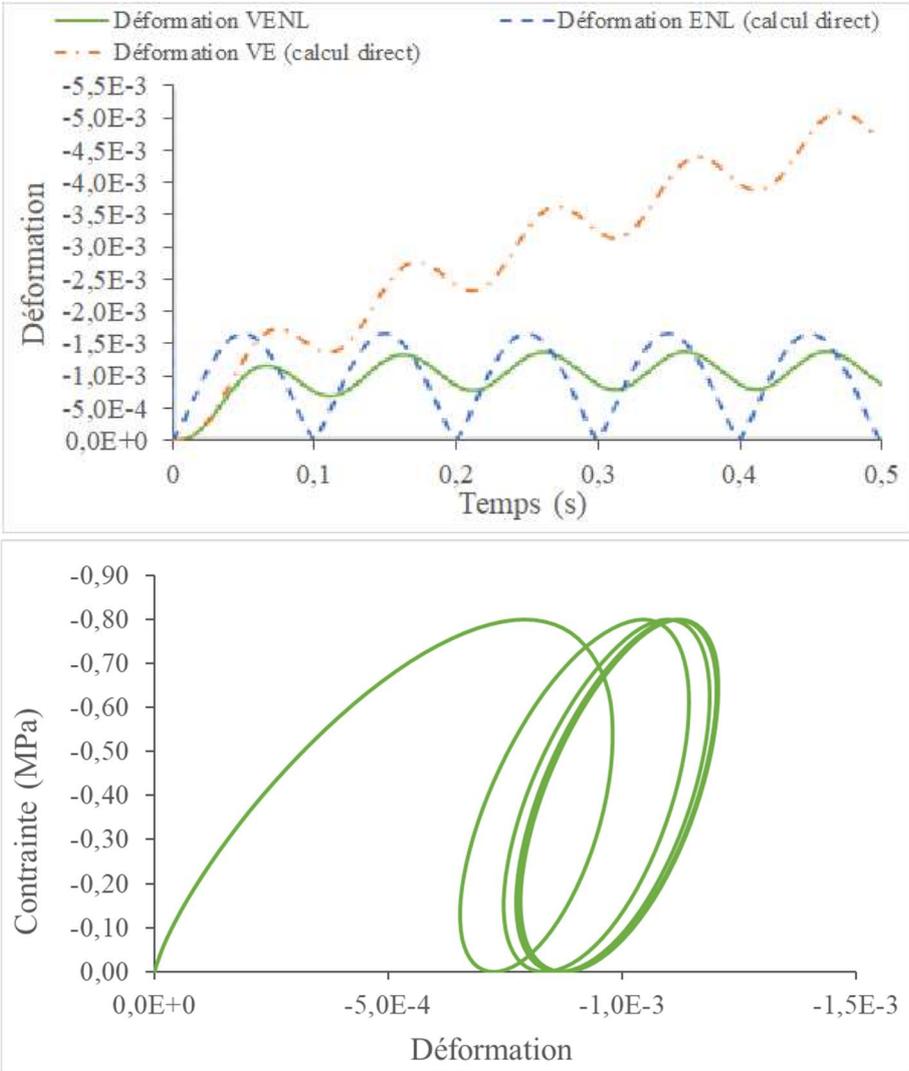


Figure 62 - Modélisation de la réponse sous chargement cyclique pour $E_1 = 800 \text{ MPa}$.



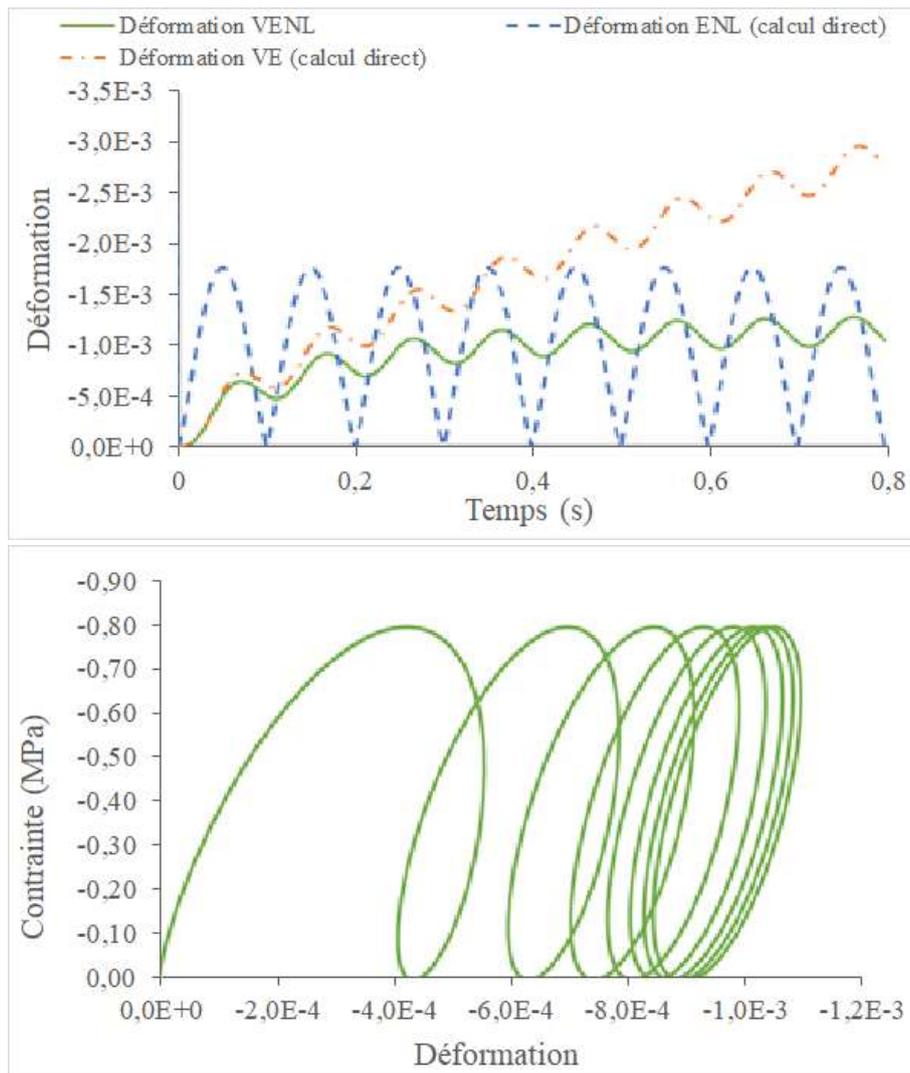


Figure 63 - Modélisation de la réponse sous chargement cyclique pour $E_1 = 2\ 000\ \text{MPa}$.

L'ensemble des résultats figures illustre bien le poids croissant de la composante viscoélastique dans le modèle VENL avec l'augmentation de la valeur de module sécant E_1 et donc de A .

Les cycles stabilisés des boucles relativement fermées et de forme convexe de la Figure 61 s'ouvrent dans les Figure 62 et Figure 63 en prenant une forme elliptique. En rapportant ces cycles à la même origine (Figure 64), on observe également une rigidification du matériau avec des amplitudes de déformation de plus en plus faibles.



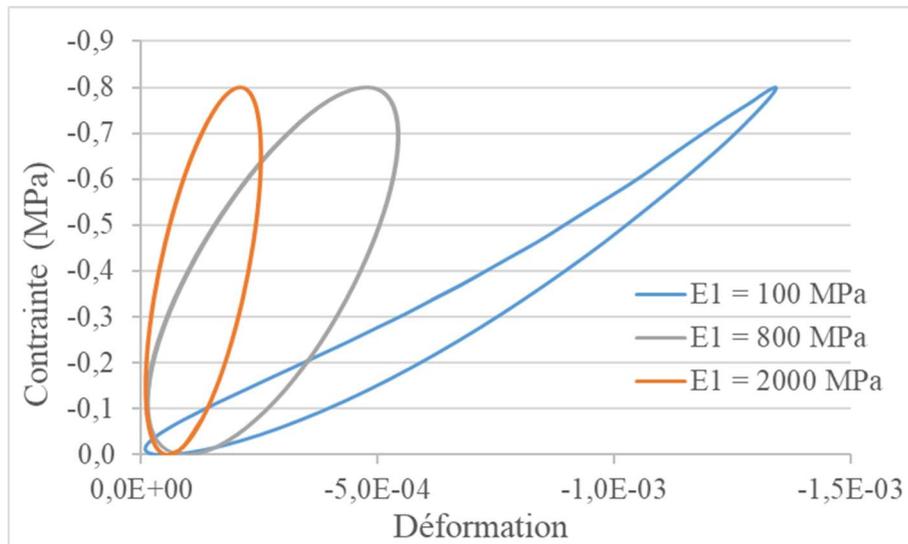


Figure 64 -Comparaison des cycles stabilisés ramenés à la même origine, donnés par le modèle VENL 1D pour 3 « stades de mûrissement ».

II.6. Conclusion

Ce chapitre a permis de décrire et de poser les bases du modèle VENL 1D construit à partir de l'introduction de série d'éléments à 3 branches composés d'un ressort, d'un amortisseur linéaire et d'une butée. Les simulations, effectuées à partir de l'algorithme de résolution associé, montrent la capacité du modèle à décrire un comportement évolutif entre ENL et VE à travers l'utilisation du paramètre de viscosité A que l'on cherchera donc à associer ultérieurement au mûrissement des enrobés à l'émulsion.

Dans l'objectif de proposer un modèle opérationnel pour l'étude du mûrissement des enrobés à l'émulsion à l'échelle du laboratoire et des structures, le modèle unidirectionnel doit être généralisé à une approche tridimensionnelle. Cela fait l'objet des développements proposés dans le chapitre suivant.



Chapitre III. Loi de comportement évolutive 3D pour enrobés à l'émulsion

III.1. Introduction

La démarche de construction du modèle 1D est étendue dans ce chapitre au développement du modèle VENL 3D pour modéliser le comportement des enrobés à l'émulsion. Les développements reposent sur les lois de comportement isotropes ENL et VE formulées dans un espace tridimensionnel à l'aide de leurs composantes volumique et déviatorique. La loi de Boyce est la base du comportement ENL tandis que la loi VE repose sur deux fonctions de fluage paraboliques propres aux composantes volumique et déviatorique avec, en commun, le paramètre de viscosité A . Ces lois sont alors décomposées en deux séries spectrales (volumique et déviatorique) interagissant entre elles dans le cas de la loi ENL 3D.

L'équivalence entre le modèle de Boyce ainsi décomposé en série et sa formulation directe est établie à partir d'un code numérique annexe. Elle est illustrée sur la simulation d'un essai triaxial.

La « fusion » des séries ENL et VE permet alors d'obtenir un modèle viscoélastique non linéaire VENL 3D pour enrobés à l'émulsion. La valeur donnée à A permet d'agir sur le poids respectif des composantes ENL et VE du modèle et, par là même, de rendre compte du mûrissement du matériau. Un modèle d'évolution de A fonction de l'histoire de la température est proposé. Il permet, au-delà du mûrissement physicochimique, de prendre en compte les effets accélérateurs du processus induit par la température.

L'algorithme de résolution numérique de la loi VENL 3D obtenue est présenté. Les applications du modèle à divers jeux de données pilotés en contraintes (cf. essai triaxial) ou en déformations ou en mode mixte (cf. essai œdométrique) sont enfin illustrées. L'incidence du paramètre A sur le comportement mécanique est également mise en évidence.

III.2. Représentation spectrale 3D du modèle ENL de Boyce

Nous proposons de construire la loi VENL 3D visée pour enrobés à l'émulsion sur la base de la loi de Boyce isotrope 3D (cf. Equations 1.12 et 1.13 présentées en bibliographie). Afin de pouvoir « fusionner » ultérieurement celle-ci avec une composante visqueuse, nous prolongeons la démarche de décomposition spectrale de ces lois, vues en une dimension au chapitre II, au cas tridimensionnel.

III.2.1. Décomposition spectrale 3D d'une loi ENL isotrope

Intéressons-nous dans un premier temps à la décomposition spectrale tensorielle d'une loi ENL isotrope. Considérons les équations volumique et déviatorique écrites initialement (comme dans le cas de la loi de Boyce) sous la forme :

$$\begin{cases} \varepsilon_v = \varepsilon_v^*(p, q) \\ \varepsilon_d = \varepsilon_d^*(p, q) \end{cases}$$



Chapitre III. Loi de comportement évolutive 3D pour enrobés à l'émulsion

En exprimant q en fonction de ε_d et p à partir de la seconde équation, il est possible de réécrire la première équation sous la forme $\varepsilon_v = \varepsilon_v(p, \varepsilon_d)$.

De façon duale, en exprimant p en fonction de ε_v et q à partir de la première équation, il est possible de réécrire la seconde équation sous la forme $\varepsilon_d = \varepsilon_d(q, \varepsilon_v)$.

Ainsi, la loi ENL, que nous retiendrons pour la suite, peut s'écrire comme suit :

$$\begin{cases} \varepsilon_v = \varepsilon_v(p, \varepsilon_d) \\ \varepsilon_d = \varepsilon_d(q, \varepsilon_v) \end{cases}$$

Focalisons-nous sur la première de ces deux relations. En considérant celle-ci à ε_d fixé, nous retrouvons une équation non linéaire reliant ε_v à p pouvant être interprétée, par analogie avec le cas 1D, comme la réponse d'une série d'éléments $\tilde{\varepsilon}_v$ de type « ressort + butée » pour laquelle s'ajouterait dans un effet de dilatance/contractance lié à ε_d à valeur p fixée. Autrement dit, on peut poser :

$$\varepsilon_v(p, \varepsilon_d) = \int_0^{+\infty} \tilde{\varepsilon}_v(l_v, p, \varepsilon_d) dl_v + h_v(\varepsilon_d) \quad \text{Equation 52}$$

où :

- l_v est la variable d'indexation des éléments attachés à la composante volumique du comportement du matériau (spectre dit « volumique » par la suite).
- $\tilde{\varepsilon}_v$ est la déformation de l'élément de type « ressort + butée » d'indice l_v .
- $h_v(\varepsilon_d)$ est la déformation volumique positive (dilatance) ou négative (contractance) induite par la déformation déviatorique ε_d .

Les ouvertures de butée b_v des éléments $\tilde{\varepsilon}_v$ sont en plus ici fonction *a priori* de la valeur ε_d , soit : $b_v(l_v, \varepsilon_d)$.

Détermination de la fonction $b_v(l_v, \varepsilon_d)$: cas général

Le calcul de la fonction $b_v(l_v, \varepsilon_d)$ est voisin de celui de la fonction $b(l)$ présenté en 1D. Supposons, sans restriction, la fonction $b_v(l_v, \varepsilon_d)$ décroissante en l_v (Figure 65).

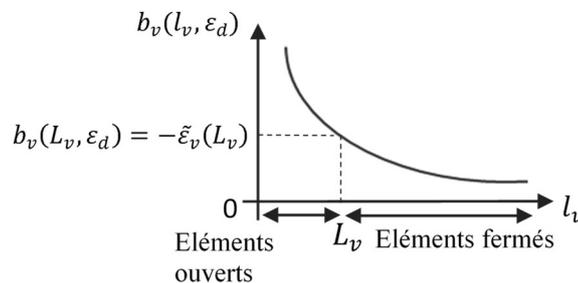


Figure 65 – Valeurs de butée $b_v(l_v, \varepsilon_d)$ des éléments du « spectre volumique ».

En considérant la valeur $L_v(p, \varepsilon_d)$, telle que $b_v(L_v, \varepsilon_d) = \frac{p}{E_s}$ qui délimite les éléments ouverts ($l_v < L_v$) des éléments fermés ($l_v > L_v$), on obtient la relation :



$$\varepsilon_v(p, \varepsilon_d) = \underbrace{\frac{-p L_v(p, \varepsilon_d)}{E_s} - \int_{L_v(p, \varepsilon_d)}^{+\infty} b_v(l_v, \varepsilon_d) dl_v}_{\text{Déf. élastique}} + \underbrace{h_v(\varepsilon_d)}_{\text{Effet de cale}} \quad \text{Equation 53}$$

Après dérivation par rapport à p , on en déduit :

$$\frac{\partial \varepsilon_v(p, \varepsilon_d)}{\partial p} = \frac{-L_v(p, \varepsilon_d)}{E_s} \quad \text{Equation 54}$$

En considérant le module de souplesse volumique tangent ($S_v(p, \varepsilon_d) = -\frac{\partial \varepsilon_v}{\partial p}$), l'équation précédente s'écrit également :

$$S_v(p, \varepsilon_d) = \frac{L_v(p, \varepsilon_d)}{E_s} \quad \text{Equation 55}$$

Enfin, en remplaçant p par $b_v E_s$ et en revenant à la variable courante l_v , on aboutit à l'équation définissant implicitement la fonction $b_v(l_v, \varepsilon_d)$ telle que :

$$S_v(b_v E_s, \varepsilon_d) = \frac{l_v}{E_s} \quad \text{Equation 56}$$

De manière explicite, $b_v(l_v, \varepsilon_d)$ peut être exprimée à partir de la fonction réciproque S_v^{-1} par l'expression suivante :

$$b_v(l_v, \varepsilon_d) = \frac{1}{E_s} S_v^{-1} \left(\frac{l_v}{E_s}, \varepsilon_d \right) \quad \text{Equation 57}$$

Toutefois, dans le cas de la loi de Boyce, b_v sera calculée numériquement à partir de la résolution de l'Equation 56.

Détermination de la fonction $h_v(\varepsilon_d)$: cas général

La détermination de $b_v(L_v, \varepsilon_d)$ permet de calculer la fonction $h_v(\varepsilon_d)$, et ce, pour n'importe quel choix P de p :

$$h_v(\varepsilon_d) = \varepsilon_v(P, \varepsilon_d) + \frac{P L_v(P, \varepsilon_d)}{E_s} + \int_{L_v(P, \varepsilon_d)}^{+\infty} b_v(l_v, \varepsilon_d) dl_v \quad \text{Equation 58}$$

Il est cependant plus pratique (comme nous allons le voir dans le cas du modèle de Boyce) d'utiliser soit la limite $P \rightarrow 0^+$, soit la limite $P \rightarrow +\infty$. L'expression 3.7 devient alors :

$$h_v(\varepsilon_d) = \lim_{\substack{P \rightarrow 0^+ \\ \text{ou } P \rightarrow +\infty}} \varepsilon_v(P, \varepsilon_d) + \frac{P L_v(P, \varepsilon_d)}{E_s} + \int_{L_v(P, \varepsilon_d)}^{+\infty} b_v(l_v, \varepsilon_d) dl_v \quad \text{Equation 59}$$

Il est à noter que les écritures ci-dessus supposent la convergence pour $l_v \rightarrow +\infty$ de l'intégrale généralisée $\int_{L_v(P, \varepsilon_d)}^{+\infty} b_v(l_v, \varepsilon_d) dl_v$ tout en considérant le cas $P \rightarrow +\infty$ conduisant à une valeur bornée de $L_v(P, \varepsilon_d)$. On peut alors voir que cette condition n'est pas strictement nécessaire, en notant qu'au final :



$$\varepsilon_v(p, \varepsilon_d) = \frac{-p L_v(p, \varepsilon_d)}{E_s} + \lim_{P \rightarrow +\infty} \varepsilon_v(P, \varepsilon_d) + \frac{P L_v(P, \varepsilon_d)}{E_s} + \int_{L_v(P, \varepsilon_d)}^{L_v(p, \varepsilon_d)} b_v(l_v, \varepsilon_d) dl_v \quad \text{Equation 60}$$

Le traitement de la composante déviatorique s'opère de façon analogue à celui de la composante volumique aux changements de notation près ($p \rightarrow q, v \leftrightarrow d$) et au changement de signe près entre ε_v et ε_d . Par analogies, nous retiendrons les expressions à suivre :

$$\varepsilon_d(q, \varepsilon_v) = \int_0^{+\infty} \tilde{\varepsilon}_d(l_d, q, \varepsilon_v) dl_d + h_d(\varepsilon_v) \quad \text{Equation 61}$$

$$S_d(b_d E_s, \varepsilon_v) = \frac{l_d}{E_s} \text{ avec } S_d(q, \varepsilon_v) = \frac{\partial \varepsilon_d}{\partial q} \quad \text{Equation 62}$$

$$b_d(L_d, \varepsilon_v) = \frac{1}{E_s} S_d^{-1} \left(\frac{l_d}{E_s}, \varepsilon_v \right) \quad \text{Equation 63}$$

$$h_d(\varepsilon_v) = \lim_{\substack{Q \rightarrow 0^+ \\ \text{ou } Q \rightarrow +\infty}} \varepsilon_d(Q, \varepsilon_v) - \frac{Q L_d(Q, \varepsilon_v)}{E_s} - \int_{L_d(Q, \varepsilon_v)}^{+\infty} b_d(l_d, \varepsilon_v) dl_d \quad \text{Equation 64}$$

$$\varepsilon_d(q, \varepsilon_v) = L_d(q, \varepsilon_v) \frac{q}{E_s} + \lim_{\substack{Q \rightarrow 0 \\ Q \rightarrow +\infty}} \varepsilon_d(Q, \varepsilon_v) - \frac{Q L_d(Q, \varepsilon_v)}{E_s} - \int_{L_d(Q, \varepsilon_v)}^{L_d(q, \varepsilon_v)} b_d(l_d, \varepsilon_v) dl_d \quad \text{Equation 65}$$

où pour rappel, $L_d(q, \varepsilon_v)$ est la solution de $b_d(L_d, \varepsilon_v) = \frac{q}{E_s}$.

III.2.2. Application à la loi de Boyce

Adaptons les formulations précédentes au cas de la loi de Boyce 3D, décrite en bibliographie. Nous obtenons les expressions suivantes :

$$\varepsilon_v^*(p, q) = -\frac{P_a}{K_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^n \left(1 - \chi \left(\frac{q}{p} \right)^2 \right) \quad \text{Equation 66}$$

$$\varepsilon_d^*(p, q) = \frac{q}{3 G_a} \left(\frac{P_a}{p} \right)^{1-n} \quad \text{Equation 67}$$

avec $0 < n < 1$.

III.2.2.1. Partie volumique

III.2.2.1.1. Détermination de la fonction $b_v(l_v, \varepsilon_d)$

Par élimination de la variable q entre les deux équations 3.16 et 3.17, nous obtenons :

$$\varepsilon_v(p, \varepsilon_d) = -\frac{P_a}{K_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^n + \chi \frac{9 G_a^2}{K_a P_a} \varepsilon_d^2 \left(\frac{P_a}{p} \right)^n \quad \text{Equation 68}$$



$S_v(p, \varepsilon_d)$ est obtenu en dérivant l'équation 3.18 p tel que :

$$S_v(p, \varepsilon_d) = n \frac{1}{K_a} \left(\frac{P_a}{p} \right)^{1-n} + n \chi \frac{9 G_a^2}{K_a P_a^2} \varepsilon_d^2 \left(\frac{P_a}{p} \right)^{n+1} \quad \text{Equation 69}$$

D'où l'équation permettant le calcul implicite de la fonction $b_v(l_v, \varepsilon_d)$, expression 3.6 :

$$\frac{n}{K_a} \left(\frac{P_a}{b_v E_s} \right)^{1-n} + n \chi \frac{9 G_a^2}{K_a P_a^2} \varepsilon_d^2 \left(\frac{P_a}{b_v E_s} \right)^{n+1} = \frac{l_v}{E_s} \quad \text{Equation 70}$$

Dans le cas général, l'équation 3.20 ne peut être inversée analytiquement. Par contre, il est facile de voir que l'Equation 70 définit comme souhaité une fonction b_v décroissante en l_v et variant de $+\infty$ à 0 pour l_v allant de 0 à $+\infty$.

Précisons, en prévision de la suite, le comportement de b_v pour $l_v \rightarrow +\infty$.

Pour $l_v \rightarrow +\infty$, b_v est proche de 0 et par conséquent :

$$n \chi \frac{9 G_a^2}{K_a P_a^2} \varepsilon_d^2 \left(\frac{P_a}{b_v E_s} \right)^{1+n} \approx \frac{l_v}{E_s} \quad \text{Equation 71}$$

d'où :

$$b_v \approx \left(n \chi \frac{9 E_s G_a^2}{K_a P_a^2} \varepsilon_d^2 \right)^{\frac{1}{1+n}} \frac{P_a}{E_s} \frac{1}{l_v^{\frac{1}{1+n}}} \quad \text{Equation 72}$$

Compte tenu de l'inégalité $\frac{1}{1+n} < 1$, on peut alors observer que l'intégrale généralisée $\int^{+\infty} b_v(l_v, \varepsilon_d) dl_v$ sera divergente pour $l_v \rightarrow +\infty$ (et $\varepsilon_d > 0$).

III.2.2.1.2. Détermination de la fonction $\varepsilon_v(p, \varepsilon_d)$

Utilisons pour ce calcul, le choix $P \rightarrow +\infty$ et la relation :

$$\varepsilon_v(P, \varepsilon_d) = \frac{-p L_v(p, \varepsilon_d)}{E_s} + \lim_{P \rightarrow +\infty} \varepsilon_v(P, \varepsilon_d) + \frac{P L_v(P, \varepsilon_d)}{E_s} + \int_{L_v(P, \varepsilon_d)}^{L_v(p, \varepsilon_d)} b_v(l_v, \varepsilon_d) dl_v \quad \text{Equation 73}$$

On obtient :

$$L_v(p, \varepsilon_d) = E_s S_v(p, \varepsilon_d) \quad \text{Equation 74}$$

En considérant la forme $S_v(p, \varepsilon_d)$, exprimée par l'équation 3.19, l'expression 3.24 devient :

$$L_v(p, \varepsilon_d) = E_s \left(\frac{n}{K_a} \left(\frac{P_a}{p} \right)^{1-n} + n \chi \frac{9 G_a^2}{K_a P_a^2} \varepsilon_d^2 \left(\frac{P_a}{p} \right)^{n+1} \right) \quad \text{Equation 75}$$



Intéressons-nous alors à la quantité :

$$L = \lim_{P \rightarrow +\infty} \varepsilon_v(P, \varepsilon_d) + \frac{P L_v(P, \varepsilon_d)}{E_s} + \int_{L_v(P, \varepsilon_d)}^{L_v(p, \varepsilon_d)} b_v(l_v, \varepsilon_d) dl_v \quad \text{Equation 76}$$

On remarque que $L_v(P, \varepsilon_d)$ tend vers 0 pour $P \rightarrow +\infty$ d'après l'Equation 75. Nous obtenons :

$$\begin{aligned} \varepsilon_v(P, \varepsilon_d) + \frac{P L_v(P, \varepsilon_d)}{E_s} + \int_{L_v(P, \varepsilon_d)}^{L_v(p, \varepsilon_d)} b_v(l_v, \varepsilon_d) dl_v \\ = -\frac{P_a}{K_a} \left(\frac{P}{P_a}\right)^n + \chi \frac{9 G_a^2}{K_a P_a} \varepsilon_d^2 \left(\frac{P_a}{P}\right)^n \\ + P \left(\frac{n}{K_a} \left(\frac{P_a}{P}\right)^{1-n} + n \chi \frac{9 G_a^2}{K_a P_a^2} \varepsilon_d^2 \left(\frac{P_a}{P}\right)^{n+1} \right) \\ + \int_{L_v(P, \varepsilon_d)}^{L_v(p, \varepsilon_d)} b_v(l_v, \varepsilon_d) dl_v \end{aligned} \quad \text{Equation 77}$$

De plus, en rappelant la plage de variation de n ($0 < n < 1$), nous obtenons :

$$L = \lim_{P \rightarrow +\infty} - (1-n) \frac{P_a}{K_a} \left(\frac{P}{P_a}\right)^n + \int_{L_v(P, \varepsilon_d)}^{L_v(p, \varepsilon_d)} b_v(l_v, \varepsilon_d) dl_v \quad \text{Equation 78}$$

Observons que pour de grandes valeurs de P , nous avons les simplifications suivantes :

$$L_v(P, \varepsilon_d) \approx E_s \frac{n}{K_a} \left(\frac{P_a}{P}\right)^{1-n} \quad \text{Equation 79}$$

$$(1-n) \frac{P_a}{K_a} \left(\frac{P}{P_a}\right)^n \approx \int_{L_v(P, \varepsilon_d)}^{+\infty} \frac{p_a}{E_s} \left(n \frac{E_s}{K_a} \frac{1}{l_v}\right)^{\frac{1}{1-n}} dl_v \quad \text{Equation 80}$$

D'où :

$$\begin{aligned} L = \lim_{P \rightarrow +\infty} \int_{L_v(P, \varepsilon_d)}^{L_v(p, \varepsilon_d)} \left(b_v(l_v, \varepsilon_d) - \frac{p_a}{E_s} \left(n \frac{E_s}{K_a} \frac{1}{l_v}\right)^{\frac{1}{1-n}} \right) dl_v \\ - \int_{L_v(p, \varepsilon_d)}^{+\infty} \frac{p_a}{E_s} \left(n \frac{E_s}{K_a} \frac{1}{l_v}\right)^{\frac{1}{1-n}} dl_v \end{aligned} \quad \text{Equation 81}$$

Posons alors les deux changements de variable suivants :

$$X = b_v(l_v, \varepsilon_d) - \frac{p_a}{E_s} \left(n \frac{E_s}{K_a} \frac{1}{l_v}\right)^{\frac{1}{1-n}} \quad \text{Equation 82}$$

et :

$$Y = \frac{X}{\frac{p_a}{E_s} \left(n \frac{E_s}{K_a} \frac{1}{l_v}\right)^{\frac{1}{1-n}}} \quad \text{Equation 83}$$



Compte tenu de l'Equation 70, on obtient l'équation en Y :

$$(1 + Y)^{1+n} - (1 + Y)^{2n} - \chi \left(\frac{3 G_a \varepsilon_d}{P a} \right)^2 \left(\frac{K_a l_v}{n E_S} \right)^{\frac{2n}{1-n}} = 0 \quad \text{Equation 84}$$

Lorsque l_v tend vers 0, Y tend également vers 0. L'équation 3.33 s'écrit alors :

$$Y \approx \frac{1}{1-n} \left(\frac{K_a l_v}{n E_S} \right)^{\frac{2n}{1-n}} \chi \left(\frac{3 G_a \varepsilon_d}{P a} \right)^2 \quad \text{Equation 85}$$

Ainsi, l'équation 3.31 permet de redéfinir X comme suit :

$$X \approx \frac{n}{1-n} \left(\frac{K_a}{n E_S} \right)^{\frac{n}{1-n}} \chi \frac{(3 G_a \varepsilon_d)^2}{P_a K_a} \frac{1}{l_v^{\frac{1-2n}{1-n}}} \quad \text{Equation 86}$$

Or l'exposant $\frac{1-2n}{1-n}$ étant strictement inférieur à 1, l'intégrale $\int_0^L X dl_v$ est intégrable en 0. L peut alors s'écrire selon la forme suivante :

$$L = \int_0^{L_v(p, \varepsilon_d)} \left(b_v(l_v, \varepsilon_d) - \frac{p_a}{E_S} \left(n \frac{E_S}{K_a} \frac{1}{l_v} \right)^{\frac{1}{1-n}} \right) dl_v - \int_{L_v(p, \varepsilon_d)}^{+\infty} \frac{p_a}{E_S} \left(n \frac{E_S}{K_a} \frac{1}{l_v} \right)^{\frac{1}{1-n}} dl_v \quad \text{Equation 87}$$

Finalement, la déformation volumique $\varepsilon_v(p, \varepsilon_d)$ d'écrit comme suit :

$$\varepsilon_v(p, \varepsilon_d) = -L_v(p, \varepsilon_d) \frac{p}{E_S} + \int_0^{L_v(p, \varepsilon_d)} \left(b_v(l_v, \varepsilon_d) - \frac{p_a}{E_S} \left(n \frac{E_S}{K_a} \frac{1}{l_v} \right)^{\frac{1}{1-n}} \right) dl_v - \int_{L_v(p, \varepsilon_d)}^{+\infty} \frac{p_a}{E_S} \left(n \frac{E_S}{K_a} \frac{1}{l_v} \right)^{\frac{1}{1-n}} dl_v \quad \text{Equation 88}$$

ou encore :

$$\varepsilon_v(p, \varepsilon_d) = -L_v(p, \varepsilon_d) \frac{p}{E_S} - \frac{1-n}{n} \frac{p_a}{E_S} \left(n \frac{E_S}{K_a L_v(p, \varepsilon_d)} \right)^{\frac{1}{1-n}} + \int_0^{L_v(p, \varepsilon_d)} \left(b_v(l_v, \varepsilon_d) - \frac{p_a}{E_S} \left(n \frac{E_S}{K_a} \frac{1}{l_v} \right)^{\frac{1}{1-n}} \right) dl_v \quad \text{Equation 89}$$



III.2.2.2. Partie déviatorique

III.2.2.2.1. Détermination de la fonction $b_d(l_d, \varepsilon_v)$

Comme vu précédemment, le formalisme général demande, pour la détermination de la fonction $b_d(l_d, \varepsilon_v)$, de calculer le module sécant $S_d(q, \varepsilon_v)$ défini par $\frac{\partial \varepsilon_d}{\partial q}$ à déformation volumique ε_v constante. La fonction $\varepsilon_d(q, \varepsilon_v)$ ne peut toutefois être déterminée de façon explicite pour la loi de Boyce. Différentions alors les Equation 66, Equation 67 pour ε_v^* constante. On obtient :

$$-\frac{n P_a}{K_a} \left(\frac{p}{P_a}\right)^n \left(1 - \chi \left(\frac{q}{p}\right)^2\right) \frac{dp}{p} - 2 \frac{P_a}{K_a} \left(\frac{p}{P_a}\right)^n \chi \left(\frac{q}{p}\right)^2 \frac{dp}{p} + 2 \frac{P_a}{K_a} \left(\frac{p}{P_a}\right)^n \chi \left(\frac{q}{p}\right)^2 \frac{dq}{q} = 0 \Rightarrow$$

Equation 90

$$\frac{dp}{p} \frac{q}{dq} = \frac{2\chi \left(\frac{q}{p}\right)^2}{n \left(1 - \chi \left(\frac{q}{p}\right)^2\right) + 2\chi \left(\frac{q}{p}\right)^2} = \frac{2\chi}{n \left(\frac{p}{q}\right)^2 + \chi(2-n)}$$

Equation 91

$$d\varepsilon_d^*(p, q) = -(1-n) \frac{q}{3 P_a G_a} \left(\frac{P_a}{p}\right)^{2-n} dp + \frac{1}{3 G_a} \left(\frac{P_a}{p}\right)^{1-n} dq$$

Equation 92

D'où :

$$S_d(p, q) = \frac{d\varepsilon_d^*(p, q)}{dq} = \frac{1}{3 G_a} \left(\frac{P_a}{p}\right)^{1-n} \left(1 - (1-n) \frac{q}{p} \frac{dp}{dq}\right)$$

Equation 93

Soit :

$$S_d(p, q) = \frac{1}{3 G_a} \left(\frac{P_a}{p}\right)^{1-n} \left(1 - \frac{(1-n)2\chi}{\left(\frac{p}{q}\right)^2 n + \chi(2-n)}\right)$$

Equation 94

Les équations, permettant le calcul implicite de la fonction $b_d(l_d, \varepsilon_v)$ d'après le formalisme général vu précédemment, sont reprises ci-dessous :

$$S_d(p, b_d E_s) = \frac{l_d}{E_s} \Rightarrow \frac{1}{3 G_a} \left(\frac{P_a}{p}\right)^{1-n} \left(1 - \frac{(1-n)2\chi}{\left(\frac{p}{b_d E_s}\right)^2 n + \chi(2-n)}\right) = \frac{l_d}{E_s}$$

Equation 95

$$\varepsilon_v^*(p, b_d E_s) = \varepsilon_v \Rightarrow -\frac{P_a}{K_a} \left(\frac{p}{P_a}\right)^n \left(1 - \chi \left(\frac{b_d E_s}{p}\right)^2\right) = \varepsilon_v$$

Equation 96

Dans le cas général, le système, composé des équations 3.44 et 3.45, ne peut être inversé analytiquement. En pratique, dans les codes de calcul que nous avons développés, b_d est déterminé numériquement à partir de la résolution itérative des Equation 95 et Equation 96, via un algorithme



de résolution de Newton. L'annexe 3 montre qu'en partant des Equation 95 et Equation 96, on retrouve bien que b_d est monotone décroissant avec l_d .

III.2.2.2.2. Discussion

Précisons néanmoins le comportement de b_d pour b_d au voisinage de 0 et de $+\infty$.

Cas n°1 : $\varepsilon_v = 0$.

Pour ce premier cas, l'élimination de p entre les Equation 95 et Equation 96 donne :

$$b_d = \frac{Pa}{\sqrt{\chi}E_s} \left(\frac{n}{3} \frac{E_s}{G_a l_d} \right)^{\frac{1}{1-n}} \quad \text{Equation 97}$$

Cette équation montre que la fonction b_d est définie pour $0 \leq l_d \leq +\infty$ et qu'elle est décroissante avec l_d . En l'occurrence, $b_d(0) = +\infty$, $b_d(+\infty) = 0$.

Cas n°2 : $\varepsilon_v < 0$.

Pour $b_d \rightarrow 0$, selon les Equation 95 et Equation 96, l_d est bornée par sa valeur maximale :

$$l_{d \max} = \frac{E_s}{3 G_a} \left(\frac{-Pa}{\varepsilon_v K_a} \right)^{\frac{1-n}{n}} \quad \text{Equation 98}$$

Pour $b_d \rightarrow +\infty$, posons la valeur de p solution de l'Equation 96 sous la forme $p = \sqrt{\chi}E_s b_d + y$, en supposant y petit devant b_d . Nous obtenons alors :

$$-\frac{Pa}{K_a} \left(\frac{\sqrt{\chi}E_s b_d + y}{Pa} \right)^n \left(1 - \chi \left(\frac{\sqrt{\chi}E_s b_d + y}{b_d E_s} \right)^{-2} \right) = \varepsilon_v \quad \text{Equation 99}$$

Soit, par approximation :

$$-\frac{Pa}{K_a} \left(\frac{\sqrt{\chi}E_s b_d}{Pa} \right)^n \left(1 - \left(1 + \frac{y}{\sqrt{\chi}E_s b_d} \right)^{-2} \right) \approx \varepsilon_v \quad \text{Equation 100}$$

$$\text{Ou } -\frac{2 Pa}{K_a} \left(\frac{\sqrt{\chi}E_s b_d}{Pa} \right)^n \frac{y}{\sqrt{\chi}E_s b_d} \approx \varepsilon_v \quad \text{Equation 101}$$

Ainsi, p peut s'approximer par :

$$p \approx \sqrt{\chi}E_s b_d - \frac{\varepsilon_v K_a}{2} \left(\frac{\sqrt{\chi}E_s b_d}{Pa} \right)^{1-n} \quad \text{Equation 102}$$

En reportant 3.51 dans l'Equation 95, nous obtenons :

$$b_d \approx \frac{Pa}{\sqrt{\chi}E_s} \left(\frac{n}{3} \frac{E_s}{G_a l_d} \right)^{\frac{1}{1-n}} \quad \text{Equation 103}$$



Chapitre III. Loi de comportement évolutive 3D pour enrobés à l'émulsion

Cas n°3 : $\varepsilon_v > 0$.

À partir de l'Equation 96, au voisinage de 0, on obtient l'approximation suivante :

$$b_d \approx \frac{p}{E_s} \sqrt{\frac{1}{\chi} \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a}\right)^{-n}} \varepsilon_v \quad \text{Equation 104}$$

Ou encore :

$$\frac{p}{P_a} \approx \left(\frac{E_s}{p_a} \sqrt{\frac{\chi p_a}{K_a \varepsilon_v}} b_d \right)^{\frac{2}{2-n}} \quad \text{Equation 105}$$

En considérant 3.54 dans l'Equation 95, nous obtenons :

$$\frac{1}{3 G_a} \left(\frac{E_s}{p_a} \sqrt{\frac{\chi p_a}{K_a \varepsilon_v}} b_d \right)^{-\frac{2-2n}{2-n}} \left(1 - \frac{(1-n)2\chi}{\left(\frac{p}{b_d E_s}\right)^2 n + \chi(2-n)} \right) \approx \frac{l_d}{E_s} \quad \text{Equation 106}$$

Or :

Ainsi, au voisinage de 0, nous en déduisons l'expression suivante :

$$\frac{1}{3 G_a} \left(\frac{E_s}{p_a} \sqrt{\frac{\chi p_a}{K_a \varepsilon_v}} b_d \right)^{-\frac{2-2n}{2-n}} \frac{n}{2-n} \approx \frac{l_d}{E_s} \quad \text{Equation 107}$$

Ou encore :

$$b_d \approx \left(\frac{n}{2-n} \frac{E_s}{3 G_a} \right)^{\frac{2-n}{2-2n}} \frac{p_a}{E_s} \sqrt{\frac{K_a \varepsilon_v}{\chi p_a}} \frac{1}{l_d^{\frac{2-n}{2-2n}}} \quad \text{Equation 108}$$

Par contre, pour de grandes valeurs de b_d , nous pouvons écrire :

$$b_d \approx \frac{p}{E_s} \sqrt{\frac{1}{\chi}} \quad \text{Equation 109}$$

Soit :

$$p \approx \sqrt{\chi} E_s b_d \quad \text{Equation 110}$$

En considérant l'expression 3.60, l'équation 3.44 se simplifie comme suit :

$$\frac{n}{3 G_a} \left(\frac{P_a}{\sqrt{\chi} E_s b_d} \right)^{1-n} \approx \frac{l_d}{E_s} \quad \text{Equation 111}$$

$$\text{Et } b_d \approx \frac{p_a}{\sqrt{\chi} E_s} \left(\frac{n}{3 G_a} \frac{E_s}{l_d} \right)^{\frac{1}{1-n}} \quad \text{Equation 112}$$



III.2.2.2.3. Détermination de la fonction $\varepsilon_d(q, \varepsilon_v)$

Utilisons pour ce calcul, le choix $Q \rightarrow 0$ dans l'expression de $\varepsilon_d(q, \varepsilon_v)$:

$$\varepsilon_d(q, \varepsilon_v) = L_d(q, \varepsilon_v) \frac{q}{E_s} + \lim_{Q \rightarrow 0} \varepsilon_d(Q, \varepsilon_v) - \frac{Q L_d(Q, \varepsilon_v)}{E_s} - \int_{L_d(Q, \varepsilon_v)}^{L_d(q, \varepsilon_v)} b_d(l_d, \varepsilon_v) dl_d \quad \text{Equation 113}$$

Rappelons que :

$$\lim_{Q \rightarrow 0} \varepsilon_d(Q, \varepsilon_v) = 0 \quad \text{et} \quad \lim_{Q \rightarrow 0} \frac{Q L_d(Q, \varepsilon_v)}{E_s} = \frac{Q}{E_s} \quad \text{Equation 114}$$

$$\varepsilon_d(q, \varepsilon_v) = L_d(q, \varepsilon_v) \frac{q}{E_s} - \lim_{Q \rightarrow 0} \left(\frac{Q L_d(Q, \varepsilon_v)}{E_s} + \int_{L_d(Q, \varepsilon_v)}^{L_d(q, \varepsilon_v)} b_d(l_d, \varepsilon_v) dl_d \right) \quad \text{Equation 115}$$

L'étude précédente de b_d montre que deux cas sont à distinguer : $\varepsilon_v \leq 0$ et $\varepsilon_v > 0$.

Sous cas n°1 : $\varepsilon_v \leq 0$

Dans ce cas, $L_d(Q, \varepsilon_v) \rightarrow \frac{E_s}{3 G_a} \left(\frac{-P}{\varepsilon_v K_a} \right)^{\frac{1-n}{n}}$, d'où $\frac{Q L_d(Q, \varepsilon_v)}{E_s} \rightarrow 0$

et :

$$\varepsilon_d(q, \varepsilon_v) = L_d(q, \varepsilon_v) \frac{q}{E_s} + \int_{L_d(q, \varepsilon_v)}^{\frac{E_s}{3 G_a} \left(\frac{-P}{\varepsilon_v K_a} \right)^{\frac{1-n}{n}}} b_d(l_d, \varepsilon_v) dl_d \quad \text{Equation 116}$$

Sous cas n°2 : $\varepsilon_v > 0$

Dans ce cas, $L_d(Q, \varepsilon_v) \rightarrow +\infty$. L'Equation 108 montre qu'en remplaçant, dans celle-ci, $b_d E_s$ par Q , nous obtenons :

$$\frac{L_d}{E_s} \approx \frac{1}{3 G_a} \left(\frac{Q}{p_a \sqrt{\frac{\chi p_a}{K_a} \varepsilon_v}} \right)^{-\frac{2-2n}{2-n}} \frac{n}{2-n} \quad \text{Equation 117}$$

d'où :

$$\frac{Q L_d}{E_s} \approx \frac{Q^{\frac{n}{2-n}}}{3 G_a} \left(\frac{1}{p_a \sqrt{\frac{\chi p_a}{K_a} \varepsilon_v}} \right)^{-\frac{2-2n}{2-n}} \frac{n}{2-n} \rightarrow 0 \quad \text{pour } Q \rightarrow 0 \quad \text{Equation 118}$$

On peut vérifier par ailleurs que l'intégrale $\int b_d(l_d, \varepsilon_v) dl_d$ est convergente en $+\infty$. En effet pour l_d grand, l'Equation 115 montre que b_d est de l'ordre de $\frac{1}{l_d^{\frac{2-n}{2-2n}}}$ pour lequel l'exposant $\frac{2-n}{2-2n}$ est supérieur à 1 compte tenu de l'inégalité $n > 1$. Finalement, $\varepsilon_d(q, \varepsilon_v)$ se simplifie par :



$$\varepsilon_d(q, \varepsilon_v) = L_d(q, \varepsilon_v) \frac{q}{E_s} + \int_{L_d(q, \varepsilon_v)}^{+\infty} b_d(l_d, \varepsilon_v) dl_d \quad \text{Equation 119}$$

Il est à noter que si p et q sont connus (voir plus loin l'algorithme à p et q donnés), il est avantageux de remplacer, dans les Equation 116 et Equation 119, la fonction $L_d(q, \varepsilon_v)$ par la fonction $L_d^*(p, q)$ solution de l'équation :

$$L_d^*(p, q) = E_s S_d(p, q) \quad \text{Equation 120}$$

Nous obtenons ainsi :

$$L_d^*(p, q) = \frac{E_s}{3 G_a} \left(\frac{Pa}{p} \right)^{1-n} \left(1 - \frac{(1-n)2\chi}{\left(\frac{p}{q}\right)^2 n + \chi(2-n)} \right) \quad \text{Equation 121}$$

III.2.3. Interprétation

Les Equation 89, Equation 116 et Equation 119 permettent de compléter l'interprétation « spectrale » vue dans le cas unidimensionnel. Chaque spectre est constitué d'éléments mis en série et en nombre infini indicé par les variables continues l_v et l_q pour la partie volumique et déviatorique, respectivement, définies sur \mathbb{N} ou \mathbb{R}^+ . L'ensemble des éléments d'un spectre partage la même composante de contrainte mais avec sa propre déformation.

Les ouvertures de butées sont représentées décroissantes avec l_v et l_q comme établi lors de l'étude des fonctions $b_v(l_v, \varepsilon_d)$ et $b_d(l_d, \varepsilon_v)$. L'influence de la déformation déviatorique sur la déformation volumique et inversement de la déformation volumique sur la déformation déviatorique (traduites à travers les dépendances de b_v vis-à-vis de ε_d et b_d vis-à-vis de ε_v) est traduite par l'introduction de cales et de barres rigides venant modifier les ouvertures de butée pour chaque élément spectral. Il y a lieu par ailleurs pour le spectre volumique de complexifier la structure élémentaire « ressort + butée » par l'introduction d'un 'double fond'.

Revenons ainsi dans un premier temps sur la structure des éléments volumique et déviatorique avant de redonner la description complète du modèle basé sur l'interaction des spectres volumique et déviatorique.

III.2.3.1. Partie volumique :

Considérons l'expression Equation 88 de la déformation volumique afin de définir la forme des éléments constituant le spectre volumique (Figure 66). Sa forme est rappelée ci-dessous :

$$\varepsilon_v(p, \varepsilon_d) = \underbrace{\frac{-p L_v(p, \varepsilon_d)}{E_s} - \int_{L_v(p, \varepsilon_d)}^{+\infty} b_v(l_v, \varepsilon_d) dl_v}_{\text{Déf. élastique}} + \underbrace{\int_0^{+\infty} b_v(l_v, \varepsilon_d) - b_v(l_v, 0) dl_v}_{\text{Effet de cale}} \quad \text{Equation 122}$$



$$\text{avec : } b_v(l_v, 0) = \frac{p_a}{E_s} \left(n \frac{E_s}{K_a} \frac{1}{l_v} \right)^{\frac{1}{1-n}} \quad \text{Equation 123}$$

Les termes de l'équations 3.71, composant ε_v , conduisent alors à introduire la représentation des éléments constitutifs du spectre volumique vue en Figure 66.

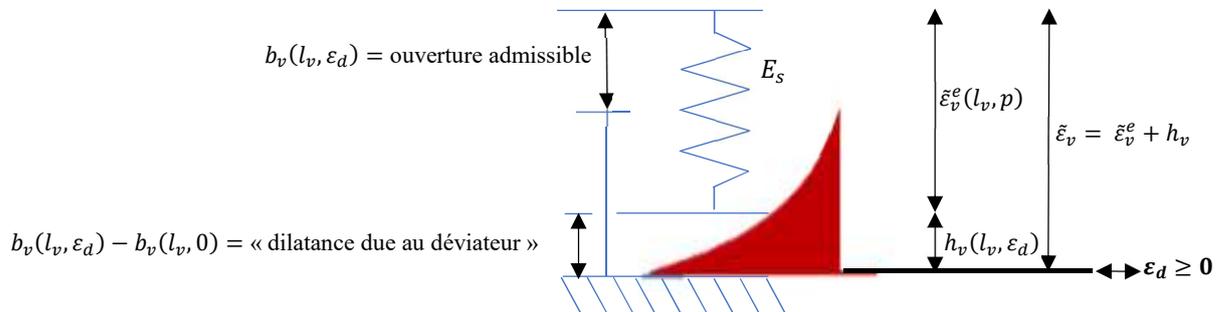


Figure 66 – Représentation d'un élément volumique.

Ces éléments sont à présent constitués de « ressort + butée + double fond + cale ». Les calculs montrent que la forme de la cale est convexe. Les Figure 67, Figure 68, Figure 69 et Figure 70 montrent le fonctionnement en compression d'un tel élément combiné à une translation horizontale de la cale (de forme simplifiée ici) associée à la déformation déviatorique.

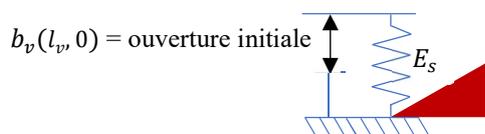


Figure 67 – Elément ouvert à l'état initial.
($p = 0, \varepsilon_d = 0$)

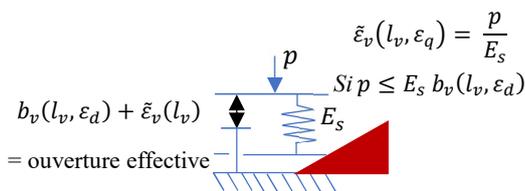


Figure 69 - Déformation de l'élément ouvert après application d'une contrainte volumique
 $0 \leq p \leq E_s b_v(l_v, \varepsilon_d)$ ($\varepsilon_d \geq 0$).

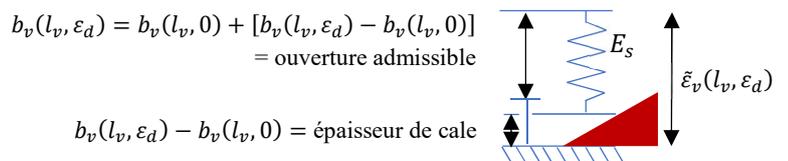


Figure 68 - Déformation de l'élément après déformation du spectre déviatorique seul ($p = 0, \varepsilon_d > 0$).

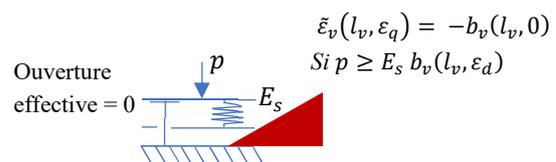


Figure 70 - Déformation de l'élément fermé pour une contrainte volumique
 $E_s b_v(l_v, \varepsilon_d) \leq p$ ($\varepsilon_d \geq 0$).

La Figure 67 illustre qu'en l'absence de déviateur, on obtient le même spectre et le même fonctionnement que le modèle ENL 1D.

Les Figure 66 et Figure 68 montrent qu'à effort de compression nul et en présence de déviateur, les cales rentrent à l'intérieur du « double fond » venant ainsi créer une dilatance $b_v(l_v, \varepsilon_d) - b_v(l_v, 0)$ et augmenter d'autant l'ouverture de butée initiale. Cette ouverture, fonction à la fois de l'ouverture initiale et de l'introduction de la cale, sera appelée, par la suite, « ouverture admissible ».



En présence de déviateur et de contrainte volumique, les Figure 69 et Figure 70 montrent que le fonctionnement de l'élément est identique à celui du spectre ENL 1D et se cumule aux effets de variation de butée et de dilatance décrits précédemment. On constate notamment que les éléments (suffisamment comprimés pour être fermés) ont une déformation insensible au déviateur. Leurs déformations restent égales à $-b_v(l_v, 0)$.

Comme vu dans le cas unidimensionnel, la mise en compression du spectre volumique (à déformation déviatorique constante) fait diminuer les « ouvertures effectives » de chaque élément jusqu'à ce que la déformation de certains devienne égale à leur valeur admissible. Dans ce cas, ces éléments se ferment et empêchent toute déformation ε_v ultérieure, contribuant à la rigidification progressive de la série.

Il est à noter qu'à effort de compression constant, un accroissement de la déformation déviatorique entraîne une dilatation de l'ensemble de la série et peut donc conduire à des situations pour lesquelles ε_v est positive.

III.2.3.2. Partie déviatorique :

Reprenons à présent l'Equation 116 (pour $\varepsilon_v < 0$) et l'Equation 119 (pour $\varepsilon_v > 0$). Ces deux expressions ne font plus intervenir d'effet similaire à celui de la dilatance vue en volumique. Elles peuvent être traduites par des éléments « ressort + butée + cale ». En revanche, la dissymétrie des cas $\varepsilon_v > 0$ et $\varepsilon_v < 0$ conduit à introduire des formes de cale comme celle montrée en Figure 71, avec méplat à gauche et courbe convexe à droite, et ce, avec une correspondance des côtes du méplat et du sommet de la butée.

Notons $\varepsilon_{v\ coin}$ la valeur de ε_v pour laquelle le coin supérieur droit de la cale est à l'aplomb de la butée. Cette valeur est solution de l'équation $L_d(0, \varepsilon_{v\ coin}) = l_d$ soit :

$$\varepsilon_{v\ coin} = -\frac{Pa}{K_a} \left(\frac{E_s}{3 G_a l_d} \right)^{\frac{n}{1-n}} \quad \text{Equation 124}$$

La déformation de tels éléments sera donc nulle pour $\varepsilon_v < \varepsilon_{v\ coin}$ quelle que soit la valeur de q .

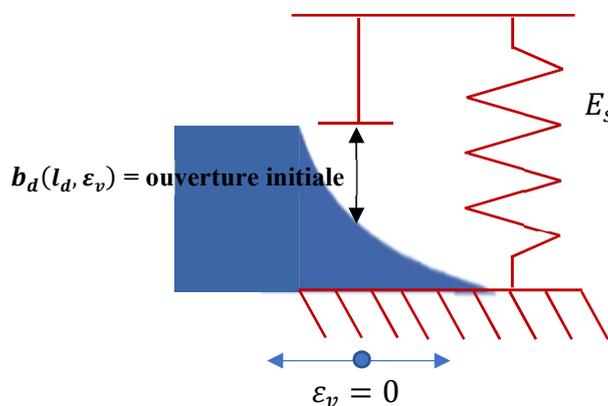
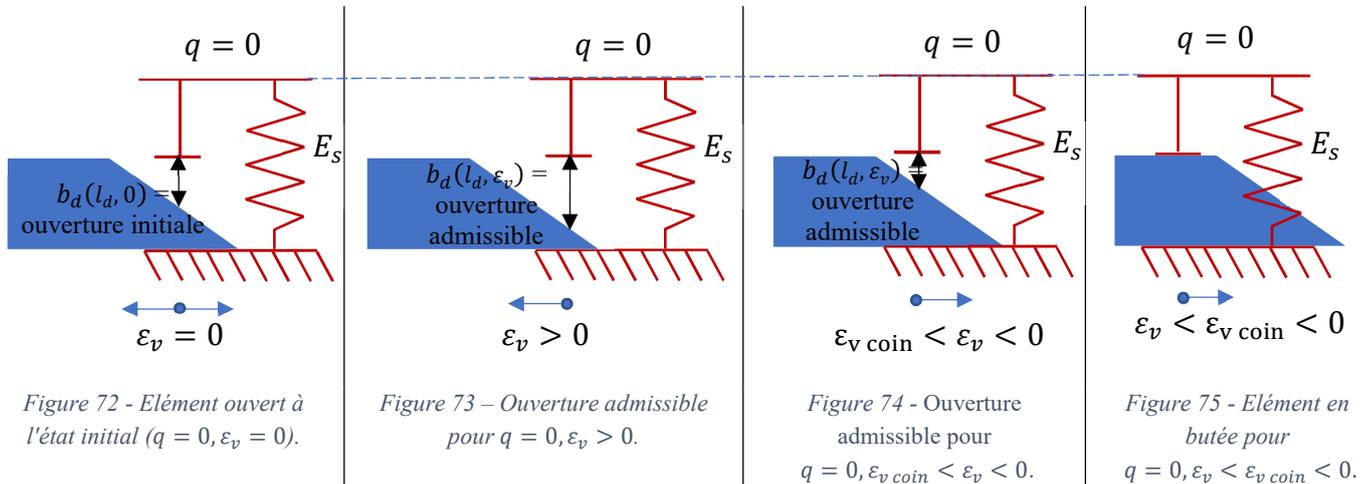


Figure 71 – Représentation d'un élément déviatorique.

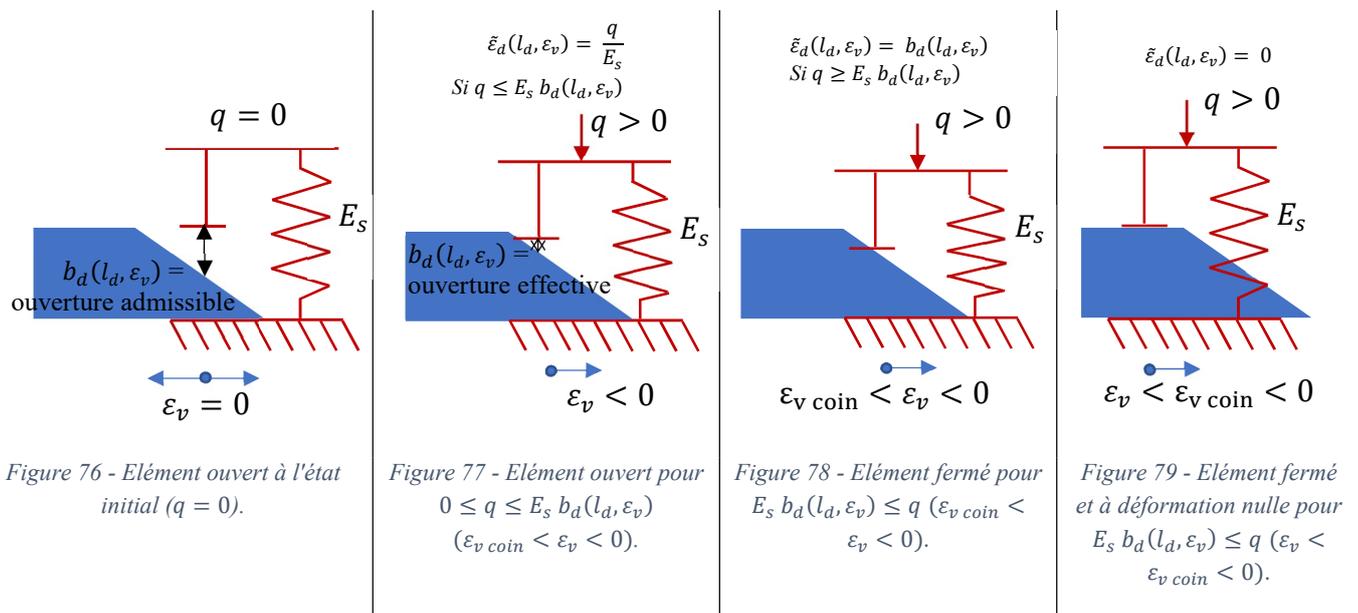


Plus précisément, les Figure 72 à Figure 82 illustrent le fonctionnement général de l'élément (avec cale de forme simplifiée ici du côté convexe).

La Figure 72 montre l'élément déviatorique initial. Les Figure 73, Figure 74 et Figure 75 montrent les variations d'ouverture admissible d'un tel élément soumis à l'influence d'une déformation volumique en l'absence de déviateur.

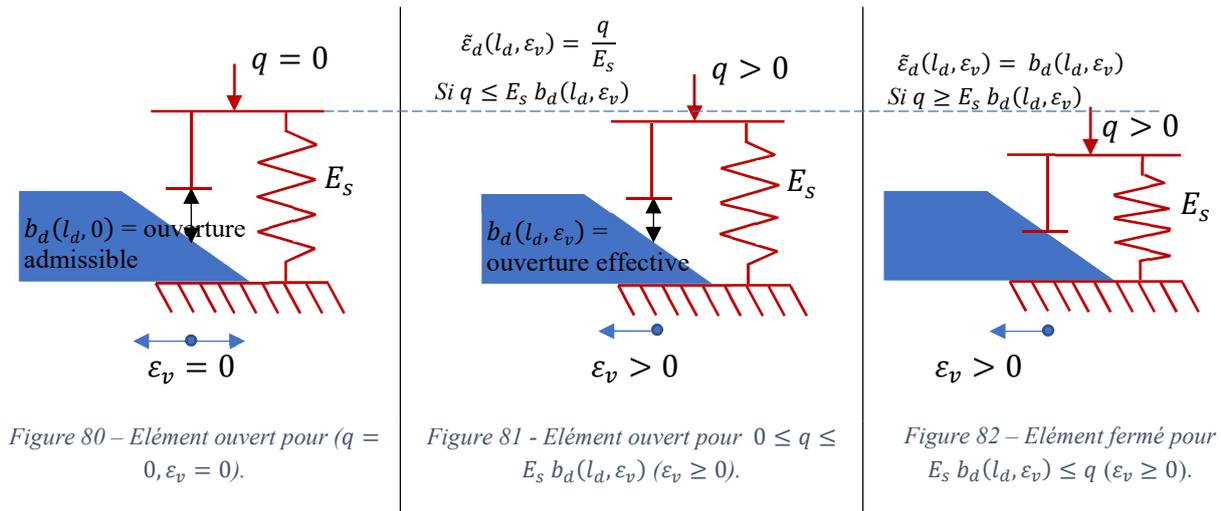


Les Figure 77, Figure 78 et Figure 79 montrent le fonctionnement de cet élément déviatorique pour $q > 0$ et $\varepsilon_v < 0$.



Les Figure 80, Figure 81 et Figure 82 montrent le fonctionnement de l'élément pour $\varepsilon_v > 0$.





III.2.3.3. Combinaison des deux spectres

La Figure 83 représente l'ensemble des spectres volumique et déviatorique ainsi que leur interaction grâce à l'introduction de cales et de barres rigides. Ces dernières permettent de répercuter la même déformation ε_v à l'ensemble des cales déviatoriques et *vice versa*. Finalement, ce modèle est équivalent aux deux équations ENL 3D du modèle de Boyce comme nous le vérifierons numériquement ultérieurement.

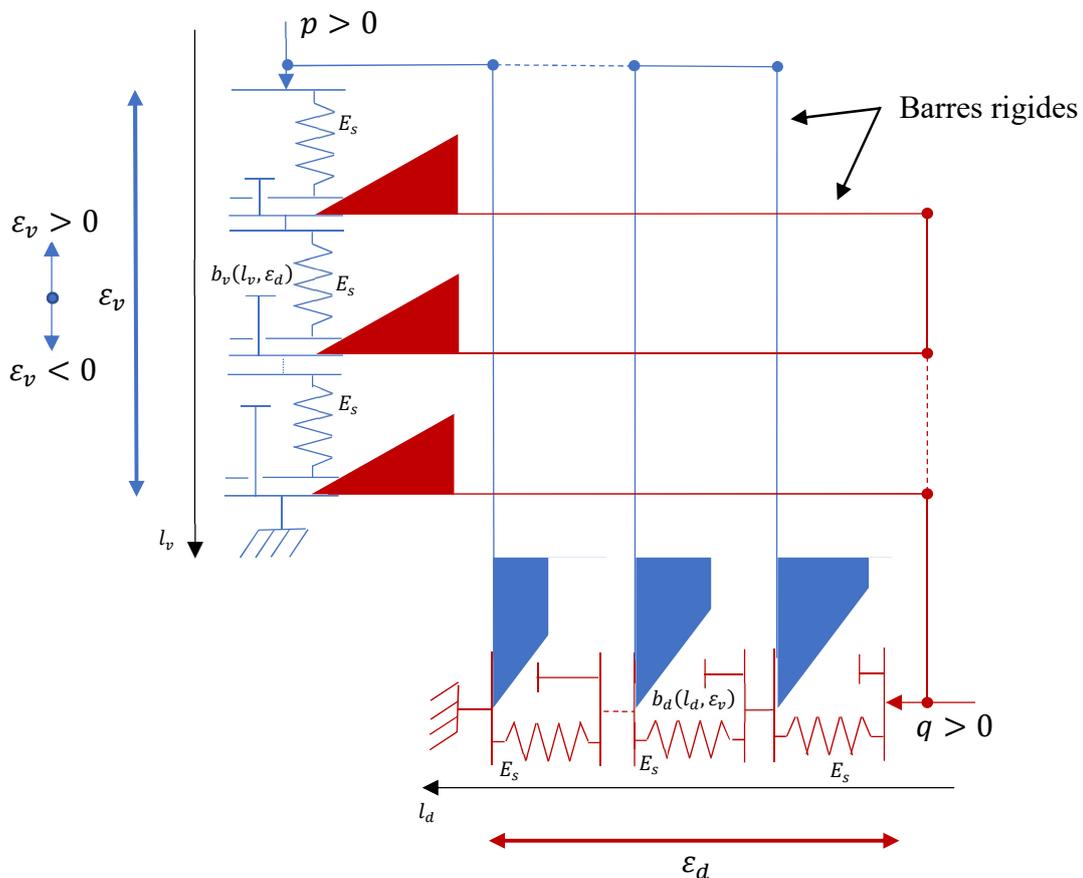


Figure 83 - Représentation spectrale du modèle ENL 3D.



III.2.4. Calcul numérique de la réponse du spectre ENL 3D à efforts p et q donnés

III.2.4.1. Partie volumique

III.2.4.1.1. Calcul de la fonction $b_v(l_v, \varepsilon_d) - b_v(l_v, 0)$ pour l_v et ε_d données

Pour le calcul de cette quantité, à l_v et ε_d données, nous sommes repartis de l'Equation 84 en Y . Ce calcul est effectué numériquement dans le code de calcul ENL 3D que nous avons développé sur la base de l'algorithme itératif de Newton. A chaque itération, nous résolvons les équations suivantes :

$$\begin{aligned} & \left[(1+n)(1+Y^{(i)})^n - 2n(1+Y^{(i)})^{2n-1} \right] \delta Y^{(i+1)} \\ & = \chi \left(\frac{3G_a \varepsilon_d}{Pa} \right)^2 \left(\frac{K_a l_v}{nE_s} \right)^{\frac{2n}{1-n}} - (1+Y^{(i)})^{1+n} - (1+Y^{(i)})^{2n} \end{aligned} \quad \text{Equation 125}$$

$$Y^{(i+1)} = Y^{(i)} + \delta Y^{(i+1)} \quad \text{Equation 126}$$

où i = indice d'itération, S_v = module de souplesse volumique donné par l'Equation 69.

La dérivée $\frac{\partial S_v(p, \varepsilon_d)}{\partial p}$ est ici calculée analytiquement. L'algorithme est initialisé en imposant :

$$Y^{(0)} = \frac{\chi \varepsilon_q^2}{1-n} \left(\frac{K_a}{nE_s} \right)^{\frac{2n}{1-n}} \left(\frac{3G_a}{Pa} \right)^2 l_v^{\frac{2n}{1-n}} \quad \text{Equation 127}$$

Le critère d'arrêt est défini par $|\delta Y^{(i+1)}| > \left| \frac{Y^{(i+1)}}{1000} \right|$

Par la suite, il est facile de trouver la valeur de X en inversant l'Equation 83.

III.2.4.1.2. Calcul de la déformation volumique de spectre $\varepsilon_v(p, \varepsilon_d)$

Le calcul de l'intégrale Equation 89, est effectué numériquement par la méthode des rectangles après discrétisation de la variable l_v en un nombre fini de valeurs $l_{v0} = 0 < l_{v1} < \dots < l_{vj} < \dots < l_{vN} = L_v(p, \varepsilon_d)$, Equation 75.

En chaque milieu d'intervalle $[l_{vj}, l_{vj+1}]$, nous calculons la quantité $b_v(l_{vj+1/2}, \varepsilon_d) - \frac{p_a}{E_s} \left(n \frac{E_s}{K_a l_{vj+1/2}} \right)^{\frac{1}{1-n}} (l_{vj+1/2} = \frac{l_{vj} + l_{vj+1}}{2})$. On obtient alors :

$$\begin{aligned} \varepsilon_v(p, \varepsilon_d) \approx & -L_v(p, \varepsilon_d) \frac{p}{E_s} - \frac{1-n}{n} \frac{p_a}{E_s} \left(n \frac{E_s}{K_a L_v(p, \varepsilon_d)} \right)^{\frac{1}{1-n}} \\ & + \sum_{j=0}^{N_v-1} \left(b_v(l_{vj+1/2}, \varepsilon_d) - \frac{p_a}{E_s} \left(n \frac{E_s}{K_a l_{vj+1/2}} \right)^{\frac{1}{1-n}} \right) (l_{vj+1} - l_{vj}) \end{aligned} \quad \text{Equation 128}$$



Les valeurs $l_{v j}$ sont choisies réparties uniformément entre $l_{v 0}$ et $l_{v N}$ sur une échelle logarithmique avec $l_{v 0} = 10^{-8}$, soit $l_{v j} = l_{v 0} 10^{\frac{j}{N} \log(\frac{l_{v N}}{l_{v 0}})}$ ($\log = \logarithme\ décimal$). En pratique, N_v est pris égal à 201.

III.2.4.2. Partie déviatorique

III.2.4.2.1. Calcul effectif de la fonction $b_d(l_d, \varepsilon_v)$

La résolution de b_d (à partir des Equation 95 et Equation 96) ne peut être obtenue que par calcul numérique, et ce, en considérant une résolution itérative par algorithme de Newton, selon les expressions suivantes :

$$\begin{cases} \varepsilon_v^{**}(p^{(i)} + \delta p^{(i)}, b_d^{(i)} + \delta b_d^{(i)}) = \varepsilon_v \\ S_d^{**}(p^{(i)} + \delta p^{(i)}, b_d^{(i)} + \delta b_d^{(i)}) = \frac{l_d}{E_s} \end{cases} \quad \text{Equation 129}$$

$$\begin{bmatrix} \delta p^{(i)} \\ \delta b_d^{(i)} \end{bmatrix} = \frac{1}{(\varepsilon_{v,p}^{**} S_{d,b_d}^{**} - \varepsilon_{v,b_d}^{**} S_{d,p}^{**})} \begin{bmatrix} S_{d,b_d}^{**} & -\varepsilon_{v,b_d}^{**} \\ -S_{d,p}^{**} & \varepsilon_{v,p}^{**} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_v - \varepsilon_v^{**}(p^{(i)}, b_d^{(i)}) \\ \frac{l_d}{E_s} - S_d^{**}(p^{(i)}, b_d^{(i)}) \end{bmatrix} \quad \text{Equation 130}$$

$$\begin{cases} p^{(i+1)} = p^{(i)} + \delta p^{(i)} \\ b_d^{(i+1)} = b_d^{(i)} + \delta b_d^{(i)} \end{cases} \quad \text{Equation 131}$$

$$\varepsilon_v^{**}(p, b_d) = -\frac{P_a}{K_a} \left(\frac{p}{P_a}\right)^n \left(1 - \chi \left(\frac{b_d E_s}{p}\right)^2\right) \quad \text{Equation 132}$$

$$S_d^{**}(p, b_d) = \frac{1}{3 G_a} \left(\frac{P_a}{p}\right)^{1-n} \left(1 - \frac{(1-n)2\chi}{\left(\frac{p}{b_d E_s}\right)^2 n + \chi(2-n)}\right) \quad \text{Equation 133}$$

Les dérivées des fonctions ε_v^{**} et S_d^{**} , apparaissant dans l'Equation 130, sont analytiques. L'algorithme est initialisé en imposant les valeurs $p^{(1)}$ et $b_d^{(1)}$ égales aux valeurs après itération du pas de temps précédent. Les critères d'arrêt sont définis par :

$$|\delta p^{(i+1)}| > \left|\frac{p^{(i+1)}}{1000}\right| \text{ et } |\delta b_d^{(i+1)}| > \left|\frac{b_d^{(i+1)}}{1000}\right| \quad \text{Equation 134}$$

III.2.4.2.2. Calcul de $\varepsilon_d(q, \varepsilon_v)$

Tout comme pour la partie volumique, l'intégrale sur les éléments fermés (intégrales en $b_d(l_d, \varepsilon_v)$) des Equation 116 et Equation 119 est calculée numériquement par discrétisation de la variable l_d en un nombre fini de valeurs. Sur chacun des intervalles $[l_{d j}, l_{d j+1}]$, $b_d(l_{d j+1/2}, \varepsilon_v)$ est calculée par la méthode des rectangles :

$$\varepsilon_d(q, \varepsilon_v) = L_d^* (p, q) \frac{q}{E_s} + \sum_{j=0}^{N_d-1} b_d(l_{d j+1/2}, \varepsilon_v) (l_{d j+1} - l_{d j}) \quad \text{Equation 135}$$



Pour $\varepsilon_v \leq 0$:

Les valeurs $l_{d j}$ sont réparties de façon régulière sur une échelle logarithmique entre $L_d^*(p, q)$ et la borne $L_d(0, \varepsilon_v) = \frac{E_s}{3 G_a} \left(\frac{-Pa}{\varepsilon_v K_a} \right)^{\frac{1-n}{n}}$ ($l_{d j} = 10^{\log L_d^*(p, q) + \frac{j}{N_d} \log L_d(0, \varepsilon_v)}$).

Pour $\varepsilon_v > 0$:

Les valeurs $l_{d j}$ sont choisies de façon régulière sur une plage logarithmique entre $L_d^*(p, q)$ et 10^8 suffisamment grande pour que les déformations des éléments entre 10^8 et $+\infty$ soient négligeables ($l_{d j} = 10^{\log L_d^*(p, q) + \frac{j}{N_d} \log 10^8}$).

III.2.4.3. Algorithme de calcul de la loi ENL 3D à p et q donnés et implémentation numérique ($ENL_{p,q}$)

L'ensemble numérique est mis en œuvre dans le code Visual Basics $VBA_{p,q}^{ENL}$ selon l'algorithme présenté en Figure 84.



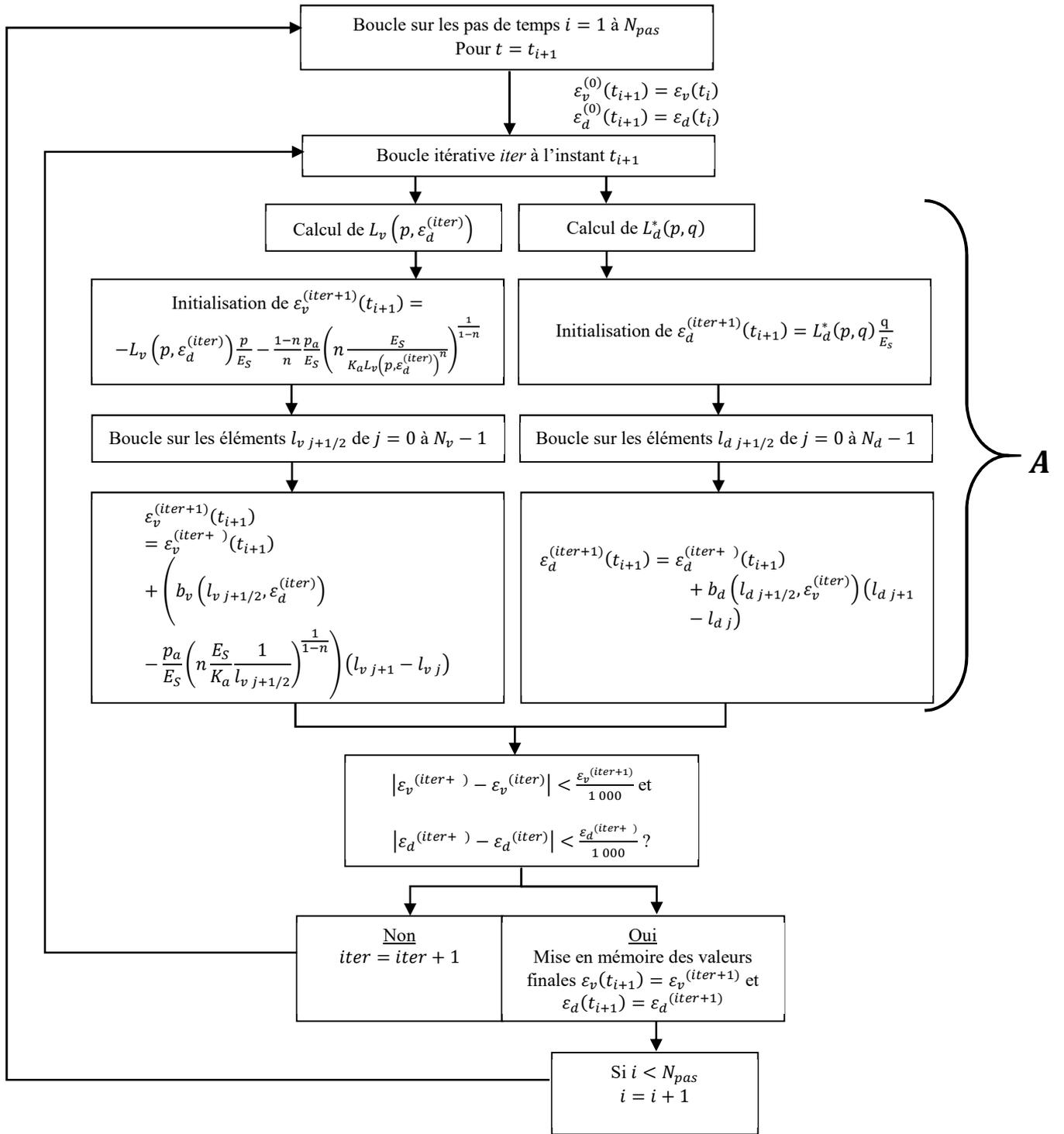


Figure 84 – Diagramme d'implémentation de la loi ENL 3D pour p et q donnés.



III.2.4.4. Algorithme de calcul de la loi ENL 3D à ε_v et ε_d données et implémentation numérique ($ENL_{\varepsilon_v, \varepsilon_d}$)

L'algorithme dual,

Figure 85 a également été implémenté (code $VBA_{\varepsilon_v, \varepsilon_d}^{ENL}$) pour la détermination de p et q à valeurs de déformation ε_v et ε_d données, notées ici $\bar{\varepsilon}_v$ et $\bar{\varepsilon}_d$. Le calcul (à l'intérieur de chaque pas de temps) est basé sur la résolution itérative du système d'équations
$$\begin{cases} \varepsilon_v(p, \bar{\varepsilon}_d) = \bar{\varepsilon}_v \\ \varepsilon_d(q, \bar{\varepsilon}_v) = \bar{\varepsilon}_d \end{cases}$$

par la méthode de Newton, où les fonctions $\varepsilon_v(p, \varepsilon_d)$ et $\varepsilon_d(q, \varepsilon_v)$ sont celles introduites précédemment.

Une grande partie de l'algorithme précédent (cf. cases **A** de la Figure 84) est ainsi conservée pour le calcul de ces fonctions $\varepsilon_v(p, \varepsilon_d)$ et $\varepsilon_d(q, \varepsilon_v)$ en cours d'itération. Les dérivées partielles $\frac{\partial \varepsilon_v}{\partial p}$ et $\frac{\partial \varepsilon_d}{\partial q}$ sont calculées numériquement par différences finies.

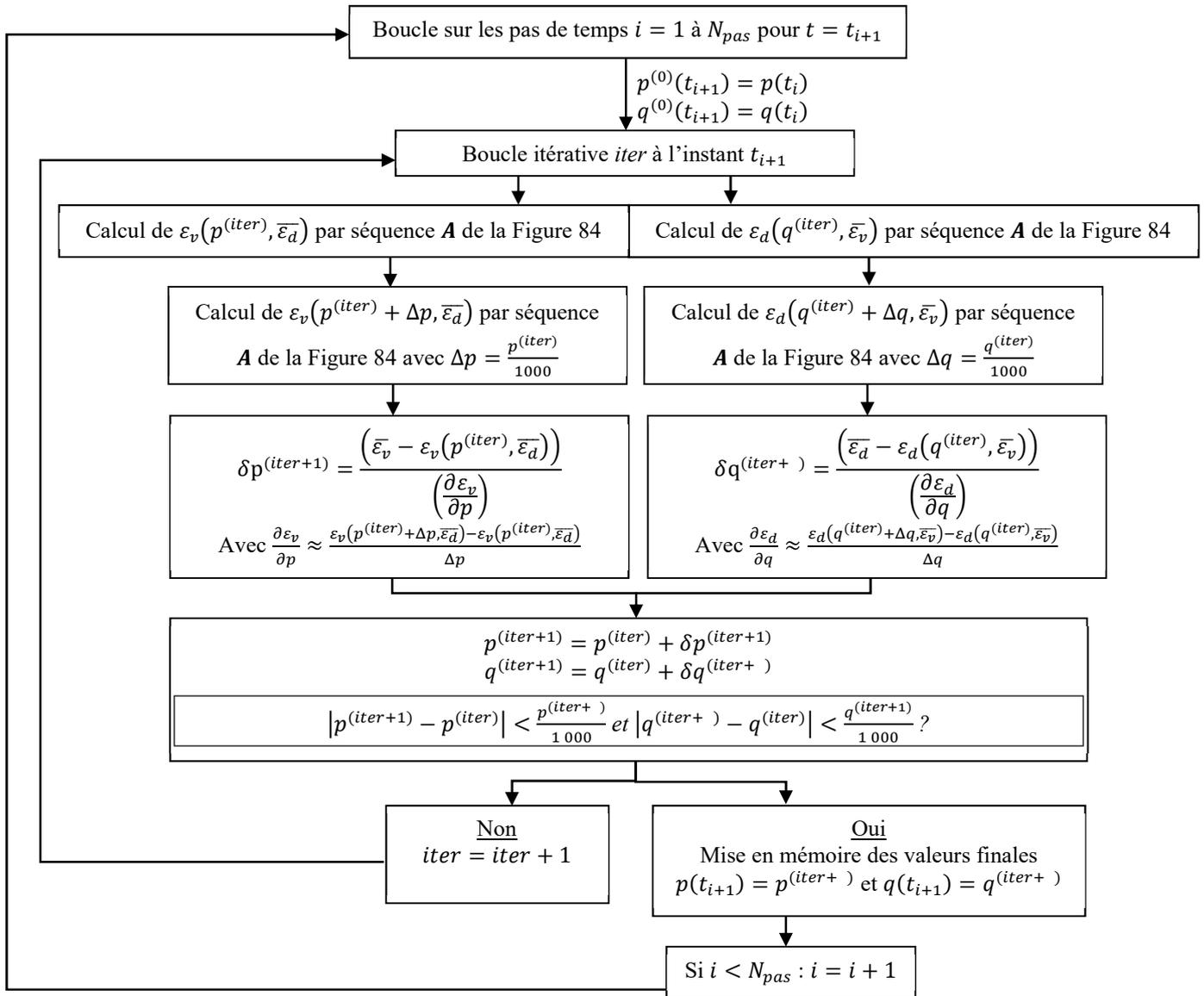


Figure 85 – Diagramme d'implémentation de la loi ENL 3D pour ε_v et ε_d donnés.

III.2.5. Validations des programmes $ENL_{p,q}$ et $ENL_{\varepsilon_v, \varepsilon_d}$ et de l'équivalence entre le modèle de Boyce et son approche spectrale à partir de la simulation d'un essai triaxial

Les deux algorithmes précédents ont été implémentés sur Visual Basics (VBA) et appliqués à la simulation d'un essai triaxial. Les résultats obtenus sont comparés aux valeurs directement calculées à partir des Equation 66 et Equation 67 originelles du modèle de Boyce. Pour un choix réaliste de valeurs des paramètres, nous utilisons un jeu de données typique d'une GNT soit :

$$K_a = 98 \text{ MPa}, G_a = 118 \text{ MPa}, n = 0,55 \text{ et } \chi = \frac{(1-n)K_a}{6G_a}.$$

Par ailleurs, nous utilisons pour E_s la valeur « forfaitaire » $E_s = 100 \text{ MPa}$, dont le choix n'a pas d'incidence sur les résultats compte tenu du mode de construction du modèle spectral.

III.2.5.1. Validation du programme $VBA_{p,q}^{ENL}$

Le programme est appliqué à la simulation d'un essai triaxial piloté en force. Dans un premier temps, une mise en pression du fluide de confinement est imposée de façon linéaire (entre t_0 et t_1) jusqu'à une valeur constante ($u = 0.3 \text{ MPa}$). Suite à cette mise en compression, il est simulé l'effet d'une contrainte verticale sinusoïdale σ_{zz} (fréquence 1 Hz) sur l'éprouvette (Figure 86).

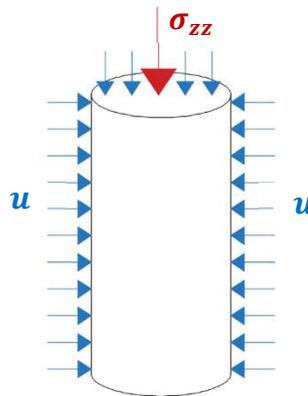


Figure 86 - Schéma de l'essai triaxial.

Le tenseur de contrainte est donné par :

$$\bar{\sigma} = \begin{pmatrix} -u & 0 & 0 \\ 0 & -u & 0 \\ 0 & 0 & -u + \sigma_{zz} \end{pmatrix} \quad \text{Equation 136}$$

avec :

- $u(t) = 0.3 \frac{t}{t_1}$ et $\sigma_{zz}(t) = 0$ entre 0 et $t_1 = 2s$; Equation 137

- $u(t) = 0.3$ et $\sigma_{zz}(t) = \frac{-0.4(1 - \cos(2\pi(t-t_1)))}{2}$ entre t_1 et $t_f = 7s$. Equation 138



D'où les valeurs de p et q (Figure 87) :

- $p(t) = 0.3 \frac{t}{t_1}$ et $q(t) = 0$ entre 0 et t_1 ; Equation 139

$$p(t) = 0.3 + \frac{0.4(1-\cos(2\pi(t-t_1)))}{6} ; \quad \text{Equation 140}$$

- $q(t) = \frac{0.4(1-\cos(2\pi(t-t_1)))}{2}$ (entre t_1 et t_f). Equation 141

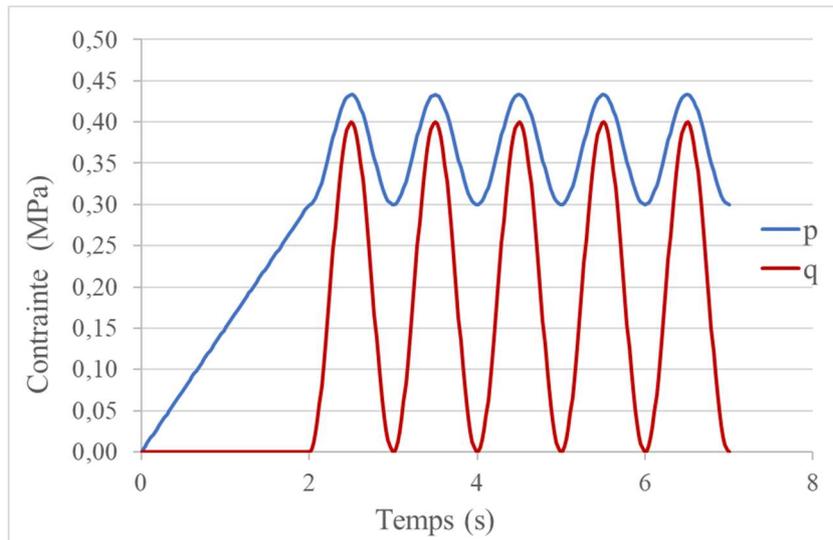


Figure 87 - Contraintes imposées.

La Figure 88 montre les réponses issues des équations originelles du modèle de Boyce et du programme $VBA_{p,q}^{ENL}$.

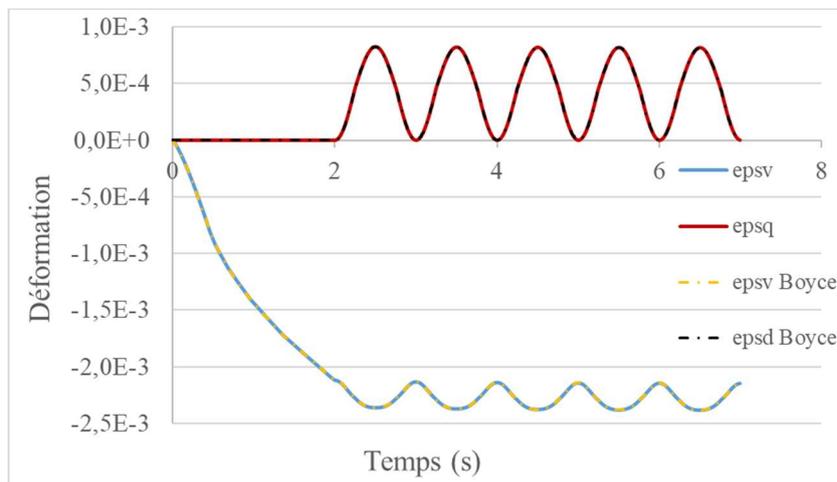


Figure 88 – Modélisation $ENL_{p,q}$ 3D.

On peut observer une reproduction fidèle des calculs directs du modèle de Boyce, ce qui valide l'équivalence entre la loi de Boyce, la représentation spectrale introduite ainsi que l'implémentation de cette dernière dans le code $VBA_{p,q}^{ENL}$.



III.2.5.2. Validation du programme $VBA_{\varepsilon_v, \varepsilon_d}^{ENL}$

Afin de valider l'algorithme dual (à déformations imposées), nous employons, comme données d'entrée du programme $VBA_{\varepsilon_v, \varepsilon_d}^{ENL}$, les réponses en déformation de la simulation précédente (Figure 88). Nous observons que les réponses $p(t)$, $q(t)$, Figure 89, correspondent à la contrainte donnée initialement, ce qui valide la dualité de l'algorithme.

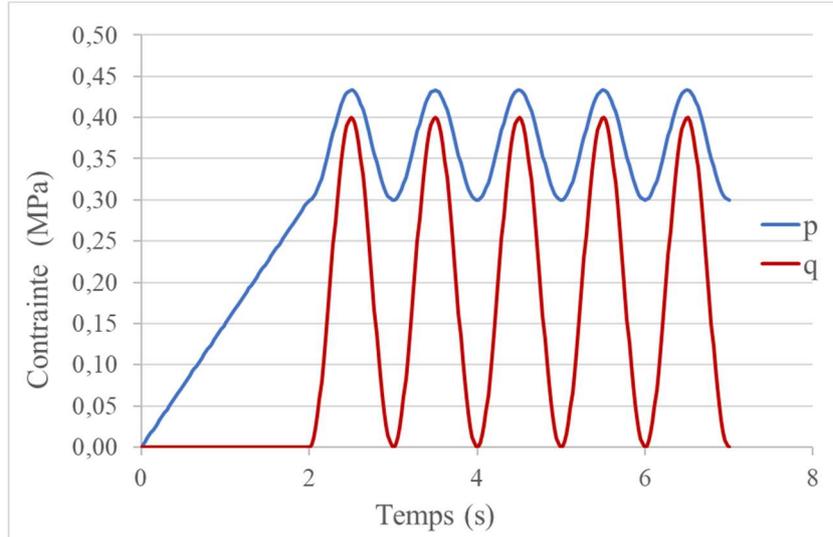


Figure 89 -Réponse en contrainte du modèle $ENL_{\varepsilon_v, \varepsilon_d}$.

III.2.6. Conclusion sur le modèle ENL 3D

Cette partie a permis de décrire en détail le modèle ENL 3D qui nous servira de base au modèle VENL 3D. Les différentes simulations ont permis de vérifier l'équivalence entre le modèle de Boyce et le modèle spectral ENL 3D. Nous pouvons passer maintenant aux étapes suivantes à savoir la représentation spectrale de la viscoélasticité en 3D, puis son introduction dans le modèle ENL 3D.

III.3. Viscoélasticité 3D

La généralisation de l'approche unidimensionnelle est réalisée en considérant une fonction de fluage volumique et déviatorique (F_v reliant ε_v à $-p$), (F_d reliant ε_d à q), respectivement. La considération de ces relations entre invariants permet de conférer à la loi VE un caractère isotrope. En négligeant l'impact de la viscoélasticité sur le coefficient de Poisson ν (réel et constant), nous obtenons les relations, selon la loi de Hooke, suivantes :

$$\varepsilon_v = \frac{-3(1 - 2\nu)}{E} p \quad \text{Equation 142}$$

$$\varepsilon_d = \frac{2(1 + \nu)}{3E} q \quad \text{Equation 143}$$

en accord avec :



$$\frac{\varepsilon_d}{q} / \frac{\varepsilon_v}{(-p)} = \frac{2(1 + \nu)}{9(1 - 2\nu)} \quad \text{Equation 144}$$

Cette hypothèse simplificatrice conduit à une proportionnalité entre les fonctions de fluage volumique et déviatorique selon le ratio :

$$F_d = \frac{2(1 + \nu)}{9(1 - 2\nu)} F_v \quad \text{Equation 145}$$

Nous supposons toutefois que ces deux fonctions bénéficient de lois d'évolutions indépendantes et paraboliques telles que :

$$F_v(t) = \frac{\delta}{E} \left(\frac{t}{A} \right)^\gamma \quad \text{Equation 146}$$

$$F_d(t) = \frac{1}{E} \left(\frac{t}{A} \right)^\beta \quad \text{Equation 147}$$

Avec $0 < \gamma < 1$, $0 < \beta < 1$, $\delta > 0$. A est un paramètre temporel. E est un paramètre homogène à une rigidité.

Comme déjà vu dans l'approche unidimensionnelle, chacune de ces fonctions peut être représentée sous une forme spectrale par une série infinie d'éléments de Kelvin-Voigt, Figure 46 et Figure 91.

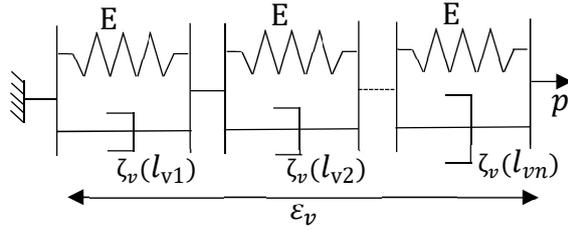


Figure 90 - Spectre de fluage volumique.

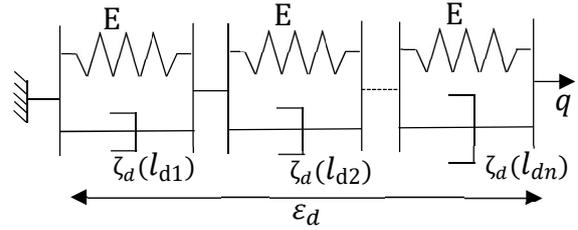


Figure 91 - Spectre de fluage déviatorique.

Dans ce cas, les fonctions de fluages s'écrivent sous la forme :

$$F_v(t) = \frac{1}{E} \int_0^{+\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{\zeta_v(l_v)}} \right) dl_v \quad \text{Equation 148}$$

$$\text{et } F_d(t) = \frac{1}{E} \int_0^{+\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{\zeta_d(l_d)}} \right) dl_d \quad \text{Equation 149}$$

où les fonctions de viscosité $\zeta_v(l_v)$ et $\zeta_d(l_d)$ sont données par :

$$\zeta_v(l_v) = A \left(\frac{\Gamma(1-\gamma)}{\delta} \right)^{\frac{1}{\gamma}} l_v^{\frac{1}{\gamma}} \text{ et } \zeta_d(l_d) = A \Gamma(1 - \beta)^{\frac{1}{\beta}} l_d^{\frac{1}{\beta}} \quad \text{Equation 150}$$

Nous sommes à présent en mesure de fusionner les spectres ENL et VE dans le but de construire le modèle viscoélastique non linéaire (VENL) 3D recherché, et ce, pour un état de mûrissement donné A constant.



III.4. « Fusion » 3D entre ENL et VE

Comme pour le modèle VENL 1D, nous proposons de fusionner, à l_v (resp. l_d) donné, les éléments des spectres ENL et VE volumique et déviatorique conduisant à introduire des éléments à 3 branches « ressort + amortisseur linéaire + butée ».

Si cette opération ne pose pas de difficulté pour le spectre déviatorique, il reste cependant, pour le spectre volumique, à positionner le « pied » de l'amortisseur linéaire soit en bas de l'élément, soit au niveau de l'ancrage du ressort.

L'annexe 4 montre qu'il est nécessaire de retenir la première option (ancrage en bas d'élément) afin de satisfaire au premier principe de la thermodynamique et éviter ainsi la non convergence de l'intégrale relative à l'effet de cale (dilatance). La représentation spectrale du modèle VENL 3D présentée Figure 92.

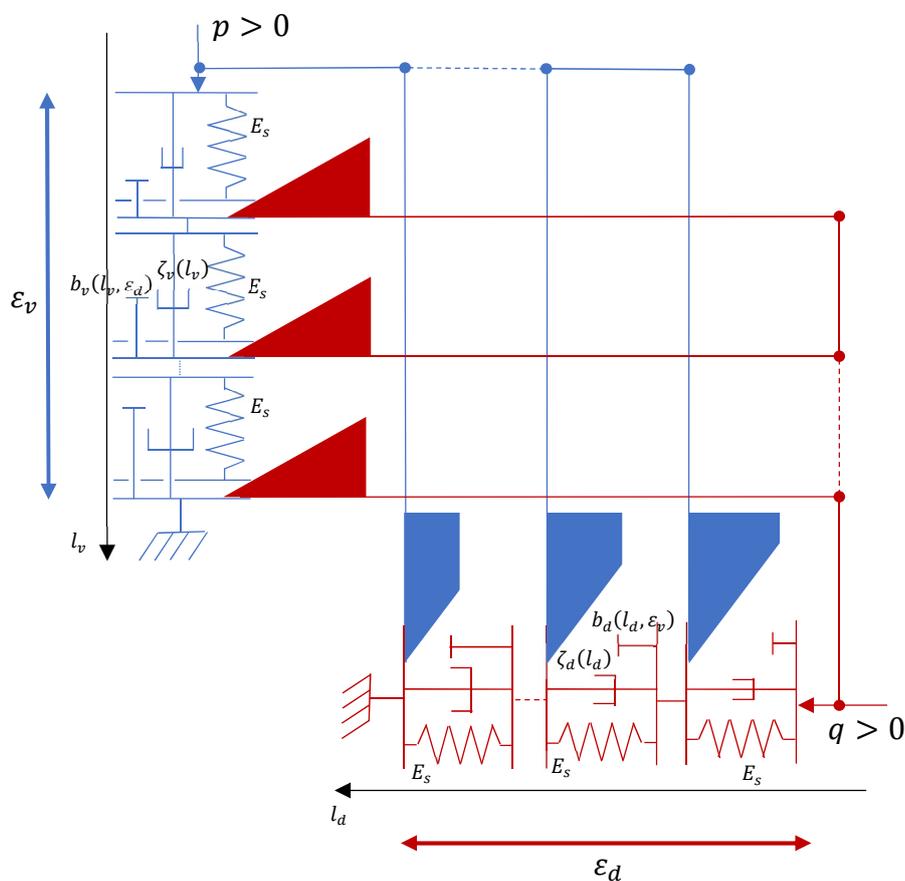


Figure 92 – Représentation spectrale du modèle VENL 3D.

Nous examinons à présent le comportement de ce modèle et son implémentation dans un code numérique pour des sollicitations données en contrainte, en déformation ou mixte. Nous supposons ici les fonctions $b_v(l_v, \varepsilon_d)$, $b_d(l_d, \varepsilon_v)$, $\zeta_v(l_v)$ et $\zeta_d(l_d)$ connues, identiques à celles définies précédemment.



III.4.1. Loi de comportement du modèle VENL 3D à historique de contrainte $\bar{\sigma}(t)$ donné

Etablissons la loi de comportement du modèle ci-dessus en supposant le tenseur de contrainte $\bar{\sigma}(t)$ connu avant d'étudier le passage inverse à tenseur de déformation $\bar{\varepsilon}(t)$ donné. La déformation de chaque spectre est la somme des déformations de chacun des éléments qui le compose :

$$\varepsilon_v(t) = \int_0^{+\infty} \tilde{\varepsilon}_v(l_v, t, \varepsilon_d) dl_v \quad \text{Equation 151}$$

$$\varepsilon_d(t) = \int_0^{+\infty} \tilde{\varepsilon}_d(l_d, t, \varepsilon_v) dl_d \quad \text{Equation 152}$$

Tout comme le modèle VENL 1D, il n'existe pas de relation analytique simple pour un tel modèle permettant de relier de façon générale les évolutions de déformation et de contrainte entre elles.

Nous allons donc résoudre le problème du calcul de $\varepsilon(t)$ numériquement en introduisant à la fois une discrétisation sur les variables t (temps), l_v , l_d et en examinant le comportement de chacun des éléments des spectres volumique et déviatorique.

Regardons ainsi le passage à variations de contrainte p , q données des déformations « élémentaires » $\left\{ \begin{array}{l} \tilde{\varepsilon}_v(l_v, t_i, \varepsilon_d(t_i)) \\ \tilde{\varepsilon}_d(l_d, t_i, \varepsilon_v(t_i)) \end{array} \right.$ supposées connues à l'instant t_i aux déformations $\left\{ \begin{array}{l} \tilde{\varepsilon}_v(l_v, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_d) \\ \tilde{\varepsilon}_d(l_d, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_v) \end{array} \right.$ à l'instant t_{i+1} en supposant également connues les valeurs de $\bar{\varepsilon}_v$ et $\bar{\varepsilon}_d$.

III.4.1.1. Calcul des déformations volumiques $\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_d)$

III.4.1.1.1. Cas d'un élément ouvert à l'instant t_i

Considérons le cas d'un élément l_v ouvert à l'instant t_i tel que $\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t_i, \varepsilon_d(t_i)) > -b_v(l_v, \varepsilon_d(t_i))$.

Calculons, dans un premier temps, la déformation volumique « libre » qu'aurait l'élément à 3 branches avec double fond, en l'absence de butée (Annexe 5) :

$$\begin{aligned} \tilde{\varepsilon}_v^{libre}(l_v, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_d) &= A \left(1 - e^{-\frac{-(t_{i+1}-t_i)}{\zeta_v(l_v)}} \right) \\ &\quad - B \zeta_v(l_v) \left(1 - \frac{t_{i+1} - t_i}{\zeta_v(l_v)} - e^{-\frac{-(t_{i+1}-t_i)}{\zeta_v(l_v)}} \right) + \tilde{\varepsilon}_v(t_i) e^{-\frac{-(t_{i+1}-t_i)}{\zeta_v(l_v)}} \end{aligned} \quad \text{Equation 153}$$

avec :

$$A = -\frac{p(t_i)}{E_s} + b_v(l_v, \varepsilon_d(t_i)) - b_v(l_v, 0) \quad \text{et} \quad B = -\frac{\dot{p}_i}{E_s} + \frac{b_v(l_v, \bar{\varepsilon}_d) - b_v(l_v, \varepsilon_d(t_i))}{t_{i+1} - t_i} \quad \text{Equation 154}$$

$$\text{On a noté : } \dot{p}_i = \frac{p(t_{i+1}) - p(t_i)}{\Delta t} \quad \text{Equation 155}$$

- Si celle-ci est supérieure à la valeur $-b_v(l_v, \bar{\varepsilon}_d)$, l'élément reste ouvert sur l'intervalle de temps $[t_i, t_{i+1}]$ et sa déformation à l'instant t_{i+1} est alors égale à :



$$\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_d) = \tilde{\varepsilon}_v^{libre}(l_v, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_d) \quad \text{Equation 156}$$

- Si celle-ci est inférieure à la valeur $-b_v(l_v, \bar{\varepsilon}_d)$, l'élément se ferme sur l'intervalle de temps $[t_i, t_{i+1}]$ et sa déformation à l'instant t_{i+1} est égale à :

$$\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_d) = -b_v(l_v, \bar{\varepsilon}_d) \quad \text{Equation 157}$$

III.4.1.1.2. Cas d'un élément fermé à l'instant t_i :

Si l'élément est fermé à l'instant t_i , soit $\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t_i, \varepsilon_d(t_i)) = -b_v(l_v, \varepsilon_d(t_i))$, on pose :

$$p_{ressort} = E_s b_v(l_v, \bar{\varepsilon}_d) \quad \text{Equation 158}$$

- Si la pression $p(t_{i+1})$ est supérieure à la valeur $p_{ressort}$, l'élément reste fermé sur tout l'intervalle de temps $[t_i, t_{i+1}]$ et sa déformation à l'instant t_{i+1} est égale à :

$$\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_d) = -b_v(l_v, \bar{\varepsilon}_d) \quad \text{Equation 159}$$

- Si $p(t_{i+1})$ est inférieure à la valeur $p_{ressort}$, l'élément s'ouvre sur l'intervalle de temps $[t_i, t_{i+1}]$ à l'instant :

$$t_{F/O} = t_i + \frac{E_s b_v(l_v, \bar{\varepsilon}_d) - p(t_i)}{(-\dot{p}_i)} \quad \text{Equation 160}$$

Il est alors possible de calculer la déformation de l'élément à l'instant t_{i+1} par la même expression que la déformation libre en substituant t_i par $t_{F/O}$ et $\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t_i, \varepsilon_d(t_i))$ par :

$$\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t_{F/O}, \varepsilon_d(t_i)) = -\frac{p(t_{F/O})}{E_s} = -b_v(l_v, \varepsilon_d(t_i)), \quad \text{Equation 161}$$

soit :

$$\begin{aligned} \tilde{\varepsilon}_v(l_v, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_d) = & A \left(1 - e^{-\frac{(t_{i+1}-t_{F/O})}{\zeta_v(l_v)}} \right) \\ & - B \zeta_v(l_v) \left(1 - \frac{t_{i+1} - t_{F/O}}{\zeta_v(l_v)} - e^{-\frac{(t_{i+1}-t_{F/O})}{\zeta_v(l_v)}} \right) \\ & + \tilde{\varepsilon}_v(t_i) e^{-\frac{(t_{i+1}-t_{F/O})}{\zeta_v(l_v)}} \end{aligned} \quad \text{Equation 162}$$

III.4.1.2. Calcul des déformations déviatoriques $\tilde{\varepsilon}_d(l_d, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_v)$

III.4.1.2.1. Cas d'un élément ouvert à l'instant t_i

Considérons le cas d'un élément déviatorique l_d ouvert à l'instant t_i et donc tel que :

$$\tilde{\varepsilon}_d(l_d, t_i, \varepsilon_v(t_i)) > b_v(l_d, \varepsilon_v(t_i)) \quad \text{Equation 163}$$

D'après l'annexe 6, la déformation déviatorique « libre », qu'aurait l'élément en l'absence de butée, se détermine par :



$$\begin{aligned} \tilde{\varepsilon}_d^{libre}(l_d, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_v) &= \frac{q(t_i)}{E_s} \left(1 - e^{-\frac{(t_{i+1}-t_i)}{\zeta_d(l_d)}} \right) \\ &- \frac{\dot{q}_i}{E_s} \zeta_d(l_d) \left(1 - \frac{t_{i+1} - t_i}{\zeta_d(l_d)} - e^{-\frac{(t_{i+1}-t_i)}{\zeta_d(l_d)}} \right) + \tilde{\varepsilon}_d(t_i) e^{-\frac{(t_{i+1}-t_i)}{\zeta_d(l_d)}} \end{aligned} \quad \text{Equation 164}$$

avec $\dot{q}_i = \frac{q(t_{i+1})-q(t_i)}{\Delta t}$ Equation 165

- Si la déformation libre est inférieure à la valeur $b_d(l_d, \bar{\varepsilon}_v)$, l'élément reste ouvert sur l'intervalle de temps $[t_i, t_{i+1}]$ et sa déformation à l'instant t_{i+1} est alors égale à :

$$\tilde{\varepsilon}_d(l_d, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_v) = \tilde{\varepsilon}_d^{libre}(l_d, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_v) \quad \text{Equation 166}$$

- Si celle-ci est supérieure à la valeur $b_d(l_d, \bar{\varepsilon}_v)$, l'élément se ferme sur l'intervalle de temps $[t_i, t_{i+1}]$ et sa déformation à l'instant t_{i+1} est égale à :

$$\tilde{\varepsilon}_d(l_d, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_v) = b_d(l_d, \bar{\varepsilon}_v) \quad \text{Equation 167}$$

III.4.1.2.2. Cas d'un élément fermé à l'instant t_i :

Si l'élément est fermé à l'instant t_i , soit $\tilde{\varepsilon}_d(l_d, t_i, \varepsilon_v(t_i)) = b_d(l_d, \varepsilon_v(t_i))$, on pose :

$$q_{ressort} = E_s b_d(l_d, \bar{\varepsilon}_v) \quad \text{Equation 168}$$

- Si la contrainte déviatorique $q(t_{i+1})$ est supérieure à la valeur $q_{ressort}$, l'élément reste fermé sur tout l'intervalle de temps $[t_i, t_{i+1}]$ et sa déformation à l'instant t_{i+1} est égale à :

$$\tilde{\varepsilon}_d(l_d, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_v) = b_d(l_d, \bar{\varepsilon}_v) \quad \text{Equation 169}$$

- Si q_{i+1} est inférieure à la valeur $q_{ressort}$, l'élément s'ouvre sur l'intervalle de temps $[t_i, t_{i+1}]$ à l'instant :

$$t_{F/O} = t_i + \frac{E_s b_d(l_d, \bar{\varepsilon}_v) - q(t_i)}{(-\dot{q}_i)} \quad \text{Equation 170}$$

Il reste ouvert par la suite.

Il est alors possible de calculer la déformation de l'élément déviatorique à l'instant t_{i+1} par la même expression que la déformation déviatorique libre en substituant t_i par $t_{F/O}$ et $\tilde{\varepsilon}_d(l_d, t_i, \varepsilon_v(t_i))$ par :

$$\begin{aligned} \tilde{\varepsilon}_d(l_d, t_{F/O}, \varepsilon_v(t_i)) &= \frac{q(t_{F/O})}{E_s} \\ &= b_d(l_d, \varepsilon_v(t_i)) \end{aligned} \quad \text{Equation 171}$$

soit :



$$\begin{aligned}
 \tilde{\varepsilon}_d(l_d, t_{i+1}, \bar{\varepsilon}_v) &= \\
 &= \frac{q(t_i)}{E_s} \left(1 - e^{-\frac{(t_{i+1}-t_{F/O})}{\zeta_d(l_d)}} \right) \\
 &\quad - \frac{\dot{q}_i}{E_s} \zeta_d(l_d) \left(1 - \frac{t_{i+1} - t_{F/O}}{\zeta_d(l_d)} - e^{-\frac{(t_{i+1}-t_{F/O})}{\zeta_d(l_d)}} \right) \\
 &\quad + \tilde{\varepsilon}_d(t_i) e^{-\frac{(t_{i+1}-t_{F/O})}{\zeta_d(l_d)}}
 \end{aligned}
 \tag{Equation 172}$$

Nous avons ainsi établi les relations de passage recherchées pour chacun des éléments l_d du spectre déviatorique.

III.4.2. Calcul des déformations $\varepsilon_v(t_{i+1})$ et $\varepsilon_d(t_{i+1})$ à efforts donnés

Supposons connues les valeurs de $\varepsilon_v(t_i)$ et $\varepsilon_d(t_i)$. Les Equation 151 et Equation 152 définissent implicitement le système (en $\varepsilon_v(t_{i+1})$ et $\varepsilon_d(t_{i+1})$) à résoudre pour le calcul de la solution à l'instant t_{i+1} , soit :

$$\begin{cases}
 \varepsilon_v(t_{i+1}) = F_v(\bar{p}(t_{i+1}), \varepsilon_d(t_{i+1})) \\
 \varepsilon_d(t_{i+1}) = F_d(\bar{q}(t_{i+1}), \varepsilon_v(t_{i+1}))
 \end{cases}
 \tag{Equation 173}$$

Solution pour laquelle nous avons posé :

$$\begin{cases}
 F_v(\bar{p}, \varepsilon_d) = \int_0^{+\infty} \tilde{\varepsilon}_v(l_v, t, \bar{p}, \varepsilon_d) dl_v \\
 F_d(\bar{q}, \varepsilon_v) = \int_0^{+\infty} \tilde{\varepsilon}_d(l_d, t, \bar{q}, \varepsilon_v) dl_d
 \end{cases}
 \tag{Equation 174}$$

Pour se faire, nous proposons d'employer l'algorithme itératif de Newton, en posant à l'itération $n + 1$ et en supposant $\varepsilon_v^{(n)}(t_{i+1})$ et $\varepsilon_d^{(n)}(t_{i+1})$ connus :

$$\begin{cases}
 \varepsilon_v^{(n+1)}(t_{i+1}) = \varepsilon_v^{(n)}(t_{i+1}) + \delta \varepsilon_v^{(n+1)}(t_{i+1}) \\
 \varepsilon_d^{(n+1)}(t_{i+1}) = \varepsilon_d^{(n)}(t_{i+1}) + \delta \varepsilon_d^{(n+1)}(t_{i+1})
 \end{cases}
 \tag{Equation 175}$$

Pour $n = 1$, nous considérons l'initialisation suivante :

$$\begin{cases}
 \varepsilon_v^{(1)}(t_{i+1}) = \varepsilon_v(t_i) \\
 \varepsilon_d^{(1)}(t_{i+1}) = \varepsilon_d(t_i)
 \end{cases}
 \tag{Equation 176}$$

Par développement limité au premier ordre, $\delta \varepsilon_v^{(n+1)}$ et $\delta \varepsilon_d^{(n+1)}$ vérifient le système ci-dessous :

$$\begin{cases}
 \varepsilon_v^{(n)} + \delta \varepsilon_v^{(n+1)} = F_v(\bar{p}, \varepsilon_d^{(n)}) + \frac{\partial F_v}{\partial \varepsilon_d}(\bar{p}, \varepsilon_d^{(n)}) \delta \varepsilon_d^{(n+1)} \\
 \varepsilon_d^{(n)} + \delta \varepsilon_d^{(n+1)} = F_d(\bar{q}, \varepsilon_v^{(n)}) + \frac{\partial F_d}{\partial \varepsilon_v}(\bar{q}, \varepsilon_v^{(n)}) \delta \varepsilon_v^{(n+1)}
 \end{cases}
 \tag{Equation 177}$$

Nous obtenons alors l'expression suivante :



$$\begin{bmatrix} 1 & -\frac{\partial F_v}{\partial \varepsilon_d}(\bar{p}, \varepsilon_d^{(n)}) \\ -\frac{\partial F_d}{\partial \varepsilon_v}(\bar{q}, \varepsilon_v^{(n)}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \varepsilon_v^{(n+1)} \\ \delta \varepsilon_d^{(n+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_v(\bar{p}, \varepsilon_d^{(n)}) - \varepsilon_v^{(n)} \\ F_d(\bar{q}, \varepsilon_v^{(n)}) - \varepsilon_d^{(n)} \end{bmatrix} \quad \text{Equation 178}$$

On en déduit ainsi :

$$\delta \varepsilon_v^{(n+1)} = \frac{F_v(\bar{p}, \varepsilon_d^{(n)}) - \varepsilon_v^{(n)} + \frac{\partial F_d}{\partial \varepsilon_v}(\bar{q}, \varepsilon_v^{(n)}) (F_d(\bar{q}, \varepsilon_v^{(n)}) - \varepsilon_d^{(n)})}{1 - \frac{\partial F_d}{\partial \varepsilon_v}(\bar{q}, \varepsilon_v^{(n)}) \frac{\partial F_v}{\partial \varepsilon_d}(\bar{p}, \varepsilon_d^{(n)})} \quad \text{Equation 179}$$

$$\delta \varepsilon_d^{(n+1)} = \frac{\frac{\partial F_v}{\partial \varepsilon_d}(\bar{p}, \varepsilon_d^{(n)}) (F_v(\bar{p}, \varepsilon_d^{(n)}) - \varepsilon_v^{(n)}) + F_d(\bar{q}, \varepsilon_v^{(n)}) - \varepsilon_d^{(n)}}{1 - \frac{\partial F_d}{\partial \varepsilon_v}(\bar{q}, \varepsilon_v^{(n)}) \frac{\partial F_v}{\partial \varepsilon_d}(\bar{p}, \varepsilon_d^{(n)})} \quad \text{Equation 180}$$

La convergence des itérations est décrite par le critère suivant :

$$\left| \delta \varepsilon_v^{(n+1)}(t_{i+1}) \right| > \left| \frac{\varepsilon_v^{(n+1)}(t_{i+1})}{1000} \right| \quad \text{et} \quad \left| \delta \varepsilon_d^{(n+1)}(t_{i+1}) \right| > \left| \frac{\varepsilon_d^{(n+1)}(t_{i+1})}{1000} \right| \quad \text{Equation 181}$$

Les valeurs des déformations $F_v(p(t_{i+1}), \varepsilon_d^{(n)}(t_{i+1}))$ et $F_d(q(t_{i+1}), \varepsilon_v^{(n)}(t_{i+1}))$ sont calculées numériquement en introduisant une discrétisation des variables l_v et l_d et en utilisant par exemple la méthode des rectangles. Les intégrales Equation 151, Equation 152 découlent alors des expressions des déformations « élémentaires » décrites en parties 4.1.1 et 4.1.2. Les dérivées partielles $\frac{\partial F_d}{\partial \varepsilon_v}$ et $\frac{\partial F_v}{\partial \varepsilon_d}$ sont calculées numériquement par différences finies :

$$\frac{\partial F_v}{\partial \varepsilon_d} \approx \frac{\varepsilon_v(\bar{p}, \varepsilon_d^{(n)} + \Delta \varepsilon_d) - \varepsilon_v(\bar{p}, \varepsilon_d^{(n)})}{\Delta \varepsilon_d} \quad \text{Equation 182}$$

$$\frac{\partial F_d}{\partial \varepsilon_v} \approx \frac{\varepsilon_d(\bar{q}, \varepsilon_v^{(n)} + \Delta \varepsilon_v) - \varepsilon_d(\bar{q}, \varepsilon_v^{(n)})}{\Delta \varepsilon_v} \quad \text{Equation 183}$$

III.4.3. Implémentation numérique à efforts donnés

Les éléments précédents ont été implémentés dans le code numérique en Visual Basics, constitué d'un programme principal et de deux sous-programmes. Le programme principal contient la résolution de Newton ; les deux sous-programmes correspondent aux calculs des intégrales du système (Equation 174). On suppose en début d'algorithme avoir choisi les valeurs de : K_a , G_a , Pa , χ , n , E_s , δ , γ , β , A (paramètre de la loi viscoélastique) et n_f (nombre de pas de temps).

III.4.3.1. Partie volumique : calcul de $F_v(p(t_{i+1}), \varepsilon_d(t_{i+1}))$

Pour ce calcul, on suppose connues la déformation déviatorique $\varepsilon_d^{(n)}(t_{i+1})$, et les contraintes p et q pour tous les pas de temps $i = 1, \dots, n_f$. Dans le reste de ce chapitre, cet algorithme est noté \mathbf{B} , Figure 3.29.



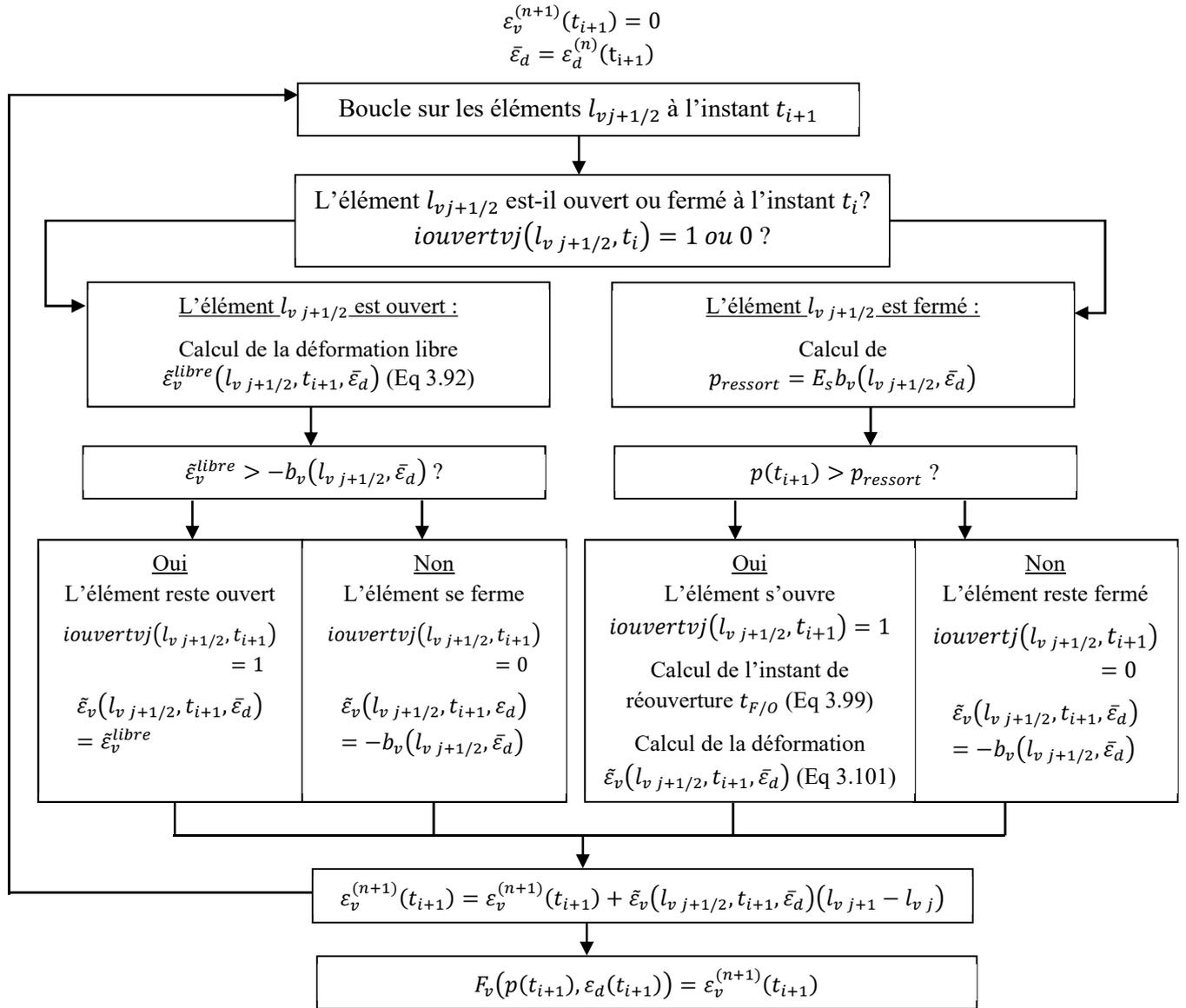


Figure 93 – Diagramme d'implémentation du calcul de la déformation volumique $F_v(p(t_{i+1}), \varepsilon_d(t_{i+1}))$.



III.4.3.2. Partie déviatorique : calcul de $F_d(q(t_{i+1}), \varepsilon_v(t_{i+1}))$

Pour le calcul de la déformation déviatorique, on suppose connaître la déformation volumique $\varepsilon_v^{(n)}(t_{i+1})$. Dans le reste de ce chapitre, cet algorithme sera noté **C**, Figure 3.30.

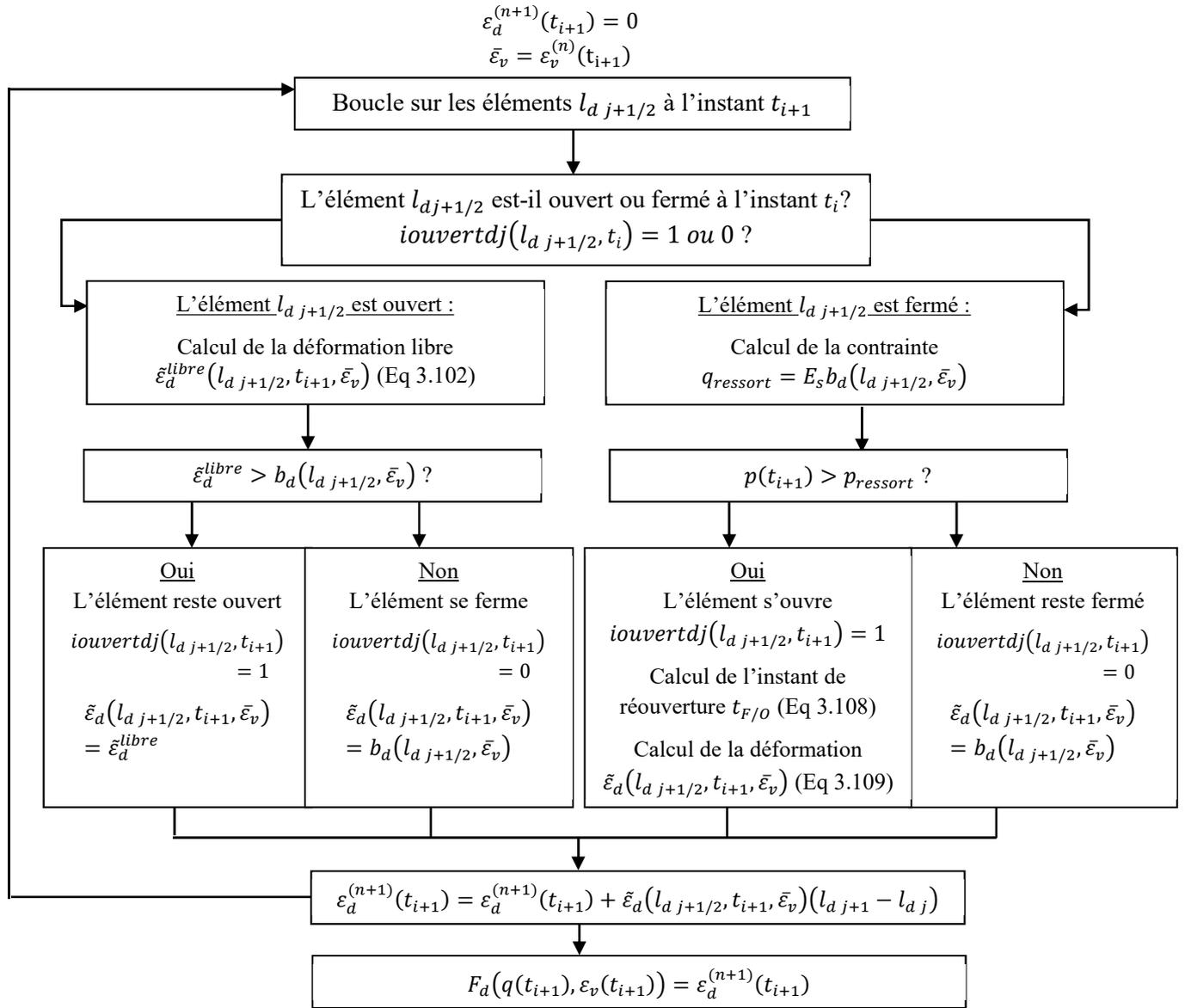


Figure 94 – Diagramme d'implémentation du calcul de la déformation déviatorique $F_d(q(t_{i+1}), \varepsilon_v(t_{i+1}))$.



III.4.3.3. Implémentation du code de calcul $VENL_{p,q}$ à p et q donnés

L'algorithme présenté en 4.2 et les sous programmes de calcul F_v (algorithme **B**) et F_d (algorithme **C**) ont été implémentés dans un code noté $VENL_{p,q}$, Figure 3.31.

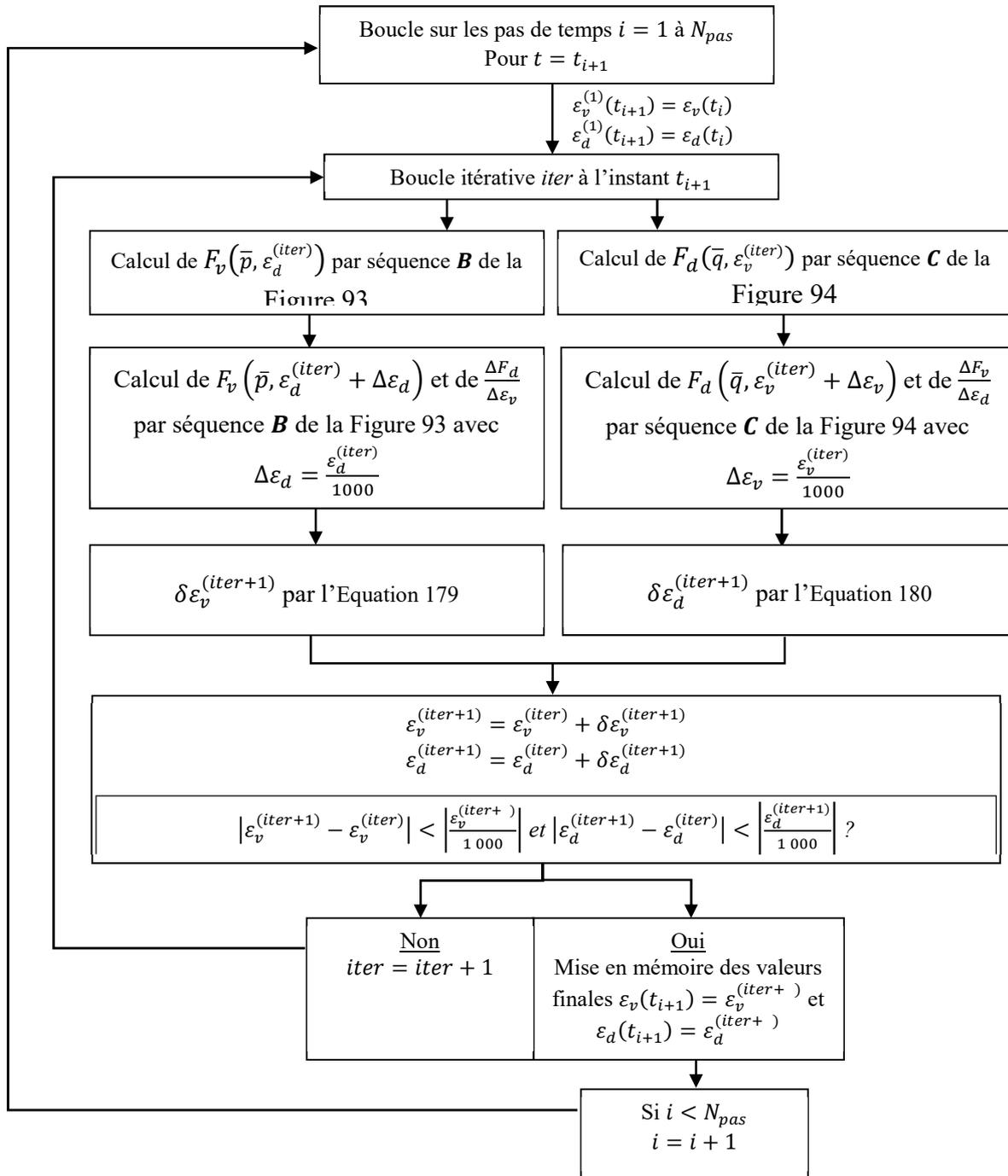


Figure 95 – Diagramme d'implémentation du code $VENL_{p,q}$ pour p et q donnés.



III.4.4. Calcul des contraintes $p(t_{i+1})$ et $q(t_{i+1})$ à déformations données

Supposons à présent connues les valeurs de déformation à l'instant t_{i+1} , notées ici $\bar{\varepsilon}_v$ et $\bar{\varepsilon}_d$ ainsi que les valeurs de contrainte $p(t_i)$ et $q(t_i)$ à l'instant t_i . Le calcul à l'intérieur de chaque pas de temps est basé sur la résolution itérative du système d'équations suivant :

$$\begin{cases} \bar{\varepsilon}_v(t_{i+1}) = F_v(p(t_{i+1}), \bar{\varepsilon}_d(t_{i+1})) \\ \bar{\varepsilon}_d(t_{i+1}) = F_d(q(t_{i+1}), \bar{\varepsilon}_v(t_{i+1})) \end{cases} \quad \text{Equation 184}$$

avec :

$$\begin{cases} F_v(p, \bar{\varepsilon}_d) = \int_0^{+\infty} \tilde{\varepsilon}_v(l_v, t, p, \bar{\varepsilon}_d) dl_v \\ F_d(q, \bar{\varepsilon}_v) = \int_0^{+\infty} \tilde{\varepsilon}_d(l_d, t, \bar{\varepsilon}_v) dl_d \end{cases} \quad \text{Equation 185}$$

La résolution emploie l'algorithme itératif de Newton, en posant à l'itération $n + 1$ ($p^{(n)}(t_{i+1})$ et $q^{(n)}(t_{i+1})$ sont supposés connus) :

$$\begin{cases} p^{(n+1)}(t_{i+1}) = p^{(n)}(t_{i+1}) + \delta p^{(n+1)}(t_{i+1}) \\ q^{(n+1)}(t_{i+1}) = q^{(n)}(t_{i+1}) + \delta q^{(n+1)}(t_{i+1}) \end{cases} \quad \text{Equation 186}$$

Pour $n = 1$, on utilise l'initialisation :

$$\begin{cases} p^{(1)}(t_{i+1}) = p(t_i) \\ q^{(1)}(t_{i+1}) = q(t_i) \end{cases} \quad \text{Equation 187}$$

Par développement limité au premier ordre, $\delta p^{(n+1)}$ et $\delta q^{(n+1)}$ vérifient le système :

$$\begin{cases} \bar{\varepsilon}_v = F_v(p^{(n)}, \bar{\varepsilon}_d) + \frac{dF_v}{dp}(p^{(n)}, \bar{\varepsilon}_d) \delta p^{(n+1)} \\ \bar{\varepsilon}_d = F_d(q^{(n)}, \bar{\varepsilon}_v) + \frac{dF_d}{dq}(q^{(n)}, \bar{\varepsilon}_v) \delta q^{(n+1)} \end{cases} \quad \text{Equation 188}$$

L'expression 3.132 conduit au système d'équation matriciel suivant :

$$\begin{bmatrix} \frac{dF_v}{dp}(p^{(n)}, \bar{\varepsilon}_d) & 0 \\ 0 & \frac{dF_d}{dq}(q^{(n)}, \bar{\varepsilon}_v) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta p^{(n+1)} \\ \delta q^{(n+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\varepsilon}_v - F_v(p^{(n)}, \bar{\varepsilon}_d) \\ \bar{\varepsilon}_d - F_d(q^{(n)}, \bar{\varepsilon}_v) \end{bmatrix} \quad \text{Equation 189}$$

avec :

$$\delta p^{(n+1)} = \frac{\bar{\varepsilon}_v - F_v(p^{(n)}, \bar{\varepsilon}_d)}{\frac{dF_v}{dp}(p^{(n)}, \bar{\varepsilon}_d)} \quad \text{Equation 190}$$

$$\delta q^{(n+1)} = \frac{\bar{\varepsilon}_d - F_d(q^{(n)}, \bar{\varepsilon}_v)}{\frac{dF_d}{dq}(q^{(n)}, \bar{\varepsilon}_v)} \quad \text{Equation 191}$$



Les critères d'arrêt sont définis par $|\delta p^{(n+1)}(t_{i+1})| > \left| \frac{p^{(n+1)}(t_{i+1})}{1000} \right|$ et $|\delta q^{(n+1)}(t_{i+1})| > \left| \frac{q^{(n+1)}(t_{i+1})}{1000} \right|$.

Les valeurs des déformations $F_v(p^{(n)}, \varepsilon_d(t_{i+1}))$ et $F_d(q^{(n)}, \varepsilon_v(t_{i+1}))$ sont calculées numériquement en introduisant une discrétisation des variables l_v et l_d et en utilisant la méthode des rectangles. Les intégrales Equation 151, Equation 152 sont déduites des expressions des déformations « élémentaires » décrites en parties 4.1.1 et 4.1.2.

Les dérivées partielles $\frac{\partial \varepsilon_v}{\partial p}$ et $\frac{\partial \varepsilon_d}{\partial q}$ sont calculées numériquement par différences finies comme suit :

$$\frac{\partial \varepsilon_v}{\partial p} \approx \frac{\varepsilon_v(p^{(iter)} + \Delta p, \bar{\varepsilon}_d) - \varepsilon_v(p^{(iter)}, \bar{\varepsilon}_d)}{\Delta p} \quad \text{Equation 192}$$

$$\frac{\partial \varepsilon_d}{\partial q} \approx \frac{\varepsilon_d(q^{(iter)} + \Delta q, \bar{\varepsilon}_v) - \varepsilon_d(q^{(iter)}, \bar{\varepsilon}_v)}{\Delta q} \quad \text{Equation 193}$$

où Δp et Δq sont choisis petits.

Les éléments précédents ont été implémentés dans un code numérique en Visual Basics que l'on nomme $VENL_{\varepsilon_v, \varepsilon_d}$ contenant la résolution de Newton présentée précédemment utilisant les algorithmes **B** (Figure 93) et **C** (Figure 94). On suppose en début d'algorithme (Figure 3.32) avoir choisi les valeurs de : K_a , G_a , P_a , χ , n , E_s , δ , γ , β , A (paramètre de la loi viscoélastique) et n_f (nombre de pas de temps).



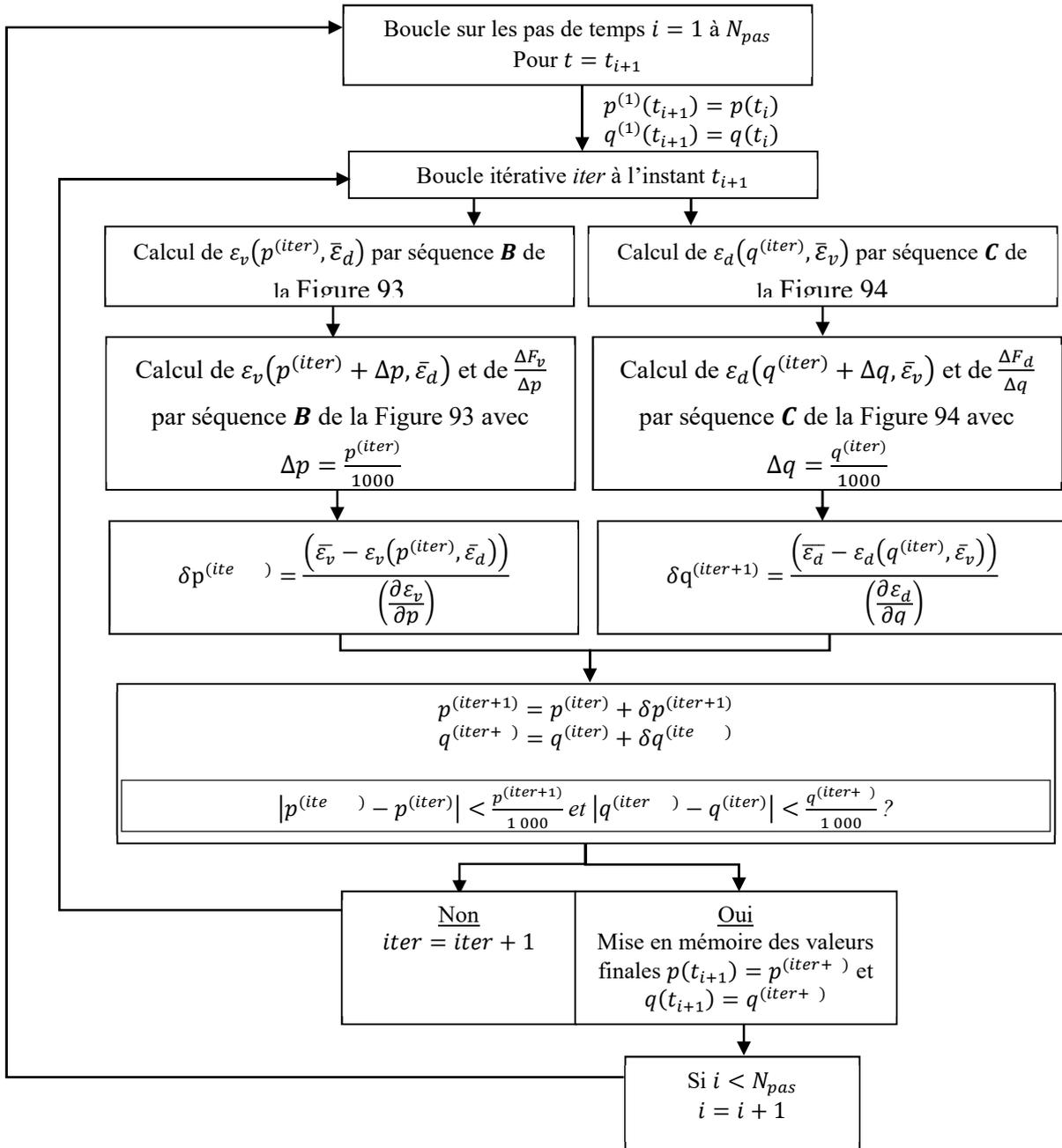


Figure 96 – Diagramme d'implémentation de la loi VENL 3D pour ε_v et ε_d donnés.



III.4.5. Implémentation du code de calcul $VENL_{oedo}$ dans le cas d'une simulation d'un essai œdométrique

Lors d'un chargement mixte (en contrainte et/ou en déformation) comme par exemple dans le cas d'un essai œdométrique à déformations radiale et tangentielle nulles et à contrainte longitudinale imposée (Figure 97), il n'est pas possible de déterminer les valeurs de p , q , ε_v et ε_d . Dans ce cas, nous rappelons les expressions à suivre :

$$p = \frac{-(\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz})}{3} \quad \text{Equation 194}$$

$$q = \sigma_{xx} - \sigma_{zz} \quad \text{Equation 195}$$

$$\varepsilon_v = \varepsilon_{zz} \quad \text{Equation 196}$$

$$\varepsilon_q = -\frac{2}{3} \varepsilon_v \quad \text{Equation 197}$$

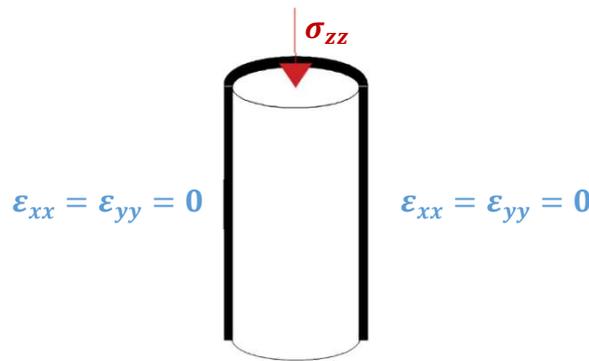


Figure 97 – Schéma de l'essai œdométrique.

Supposons connues les valeurs de contrainte $p(t_i)$ et $q(t_i)$ et de déformation $\varepsilon_v(t_i)$ et $\varepsilon_d(t_i)$ à l'instant t_i . Le calcul (à l'intérieur de chaque pas de temps) est basé sur la résolution itérative du système d'équations suivant :

$$\begin{cases} \varepsilon_v(t_{i+1}) = F_v(p(t_{i+1}), \varepsilon_d(t_{i+1})) \\ \varepsilon_d(t_{i+1}) = F_d(q(t_{i+1}), \varepsilon_v(t_{i+1})) \\ \frac{2}{3} \varepsilon_v(t_{i+1}) = -\varepsilon_d(t_{i+1}) \\ p(t_{i+1}) + \frac{2}{3} q(t_{i+1}) = -\sigma_z(t_{i+1}) \end{cases} \quad \text{Equation 198}$$

En rappelant :

$$\begin{cases} F_v(p, \varepsilon_d) = \int_0^{+\infty} \tilde{\varepsilon}_v(l_v, t, p, \varepsilon_d) dl_v \\ F_d(q, \varepsilon_v) = \int_0^{+\infty} \tilde{\varepsilon}_d(l_d, t, \varepsilon_v) dl_d \end{cases} \quad \text{Equation 199}$$

La résolution repose sur l'algorithme itératif de Newton, en supposant $p^{(n)}(t_{i+1})$, $q^{(n)}(t_{i+1})$, $\varepsilon_v^{(n)}(t_{i+1})$ et $\varepsilon_d^{(n)}(t_{i+1})$ connus et en posant à l'itération $n + 1$:



$$\begin{cases} p^{(n+1)}(t_{i+1}) = p^{(n)}(t_{i+1}) + \delta p^{(n+1)}(t_{i+1}) \\ q^{(n+1)}(t_{i+1}) = q^{(n)}(t_{i+1}) + \delta q^{(n+1)}(t_{i+1}) \\ \varepsilon_v^{(n+1)}(t_{i+1}) = \varepsilon_v^{(n)}(t_{i+1}) + \delta \varepsilon_v^{(n+1)}(t_{i+1}) \\ \varepsilon_d^{(n+1)}(t_{i+1}) = \varepsilon_d^{(n)}(t_{i+1}) + \delta \varepsilon_d^{(n+1)}(t_{i+1}) \end{cases} \quad \text{Equation 200}$$

Pour $n = 1$, on utilise l'initialisation :

$$\begin{cases} p^{(1)}(t_{i+1}) = p(t_i) \\ q^{(1)}(t_{i+1}) = q(t_i) \\ \varepsilon_v^{(1)}(t_{i+1}) = \varepsilon_v(t_i) \\ \varepsilon_d^{(1)}(t_{i+1}) = \varepsilon_d(t_i) \end{cases} \quad \text{Equation 201}$$

L'algorithme itératif de Newton est de nouveau employant à l'instant t_{i+1} :

$$\begin{cases} \varepsilon_v^{(n)} - F_v(p^{(n)}, \varepsilon_d^{(n)}) = \frac{dF_v}{dp}(p^{(n)}, \varepsilon_d^{(n)}) \delta p^{(n+1)} - \delta \varepsilon_v^{(n+1)} \frac{dF_v}{d\varepsilon_d}(p^{(n)}, \varepsilon_d^{(n)}) \delta \varepsilon_d^{(n+1)} \\ \varepsilon_d^{(n)} - F_d(q^{(n)}, \varepsilon_v^{(n)}) = \frac{dF_d}{dq}(q^{(n)}, \varepsilon_v^{(n)}) \delta q^{(n+1)} + \frac{dF_d}{d\varepsilon_v}(q^{(n)}, \varepsilon_v^{(n)}) \delta \varepsilon_v^{(n+1)} - \delta \varepsilon_d^{(n+1)} \\ \frac{2}{3} \varepsilon_v^{(n)} + \frac{2}{3} \delta \varepsilon_v^{(n+1)} = -\varepsilon_d^{(n)} - \delta \varepsilon_d^{(n+1)} \\ p^{(n)} + \delta p^{(n+1)} + \frac{2}{3} q^{(n)} + \frac{2}{3} \delta q^{(n+1)} = -\sigma_{zz} \end{cases} \quad \text{Equation 202}$$

Le système à résoudre s'écrit de la façon suivante :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial F_v}{\partial p} & 0 & -1 & \frac{\partial F_v}{\partial \varepsilon_d} \\ 0 & \frac{\partial F_d}{\partial q} & \frac{\partial F_d}{\partial \varepsilon_v} & -1 \\ 0 & 0 & 2/3 & 1 \\ 1 & 2/3 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta p^{(n+1)} \\ \delta q^{(n+1)} \\ \delta \varepsilon_v^{(n+1)} \\ \delta \varepsilon_d^{(n+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varepsilon_v - F_v(p^{(n)}, \varepsilon_d^{(n)}) \\ \varepsilon_d - F_d(q^{(n)}, \varepsilon_v^{(n)}) \\ -\frac{2}{3} \varepsilon_v - \varepsilon_d \\ -\sigma_z - p - \frac{2}{3} q \end{bmatrix} \quad \text{Equation 203}$$

Les critères d'arrêt sont définis par $|\delta p^{(n+1)}(t_{i+1})| > \left| \frac{p^{(n+1)}(t_{i+1})}{1000} \right|$, $|\delta q^{(n+1)}(t_{i+1})| > \left| \frac{q^{(n+1)}(t_{i+1})}{1000} \right|$, $|\delta \varepsilon_v^{(n+1)}(t_{i+1})| > \left| \frac{\varepsilon_v^{(n+1)}(t_{i+1})}{1000} \right|$ et $|\delta \varepsilon_d^{(n+1)}(t_{i+1})| > \left| \frac{\varepsilon_d^{(n+1)}(t_{i+1})}{1000} \right|$.

Les dérivées partielles sont calculées numériquement par différences finies :

$$\frac{\partial \varepsilon_v}{\partial p} \approx \frac{\varepsilon_v(p^{(iter)} + \Delta p, \varepsilon_d^{(iter)}) - \varepsilon_v(p^{(iter)}, \varepsilon_d^{(iter)})}{\Delta p} \quad \text{Equation 204}$$

$$\frac{\partial \varepsilon_v}{\partial \varepsilon_d} \approx \frac{\varepsilon_v(p^{(iter)}, \varepsilon_d^{(iter)} + \Delta \varepsilon_d) - \varepsilon_v(p^{(iter)}, \varepsilon_d^{(iter)})}{\Delta \varepsilon_d} \quad \text{Equation 205}$$



$$\frac{\partial \varepsilon_d}{\partial q} \approx \frac{\varepsilon_d(q^{(iter)} + \Delta q, \varepsilon_v^{(iter)}) - \varepsilon_d(q^{(iter)}, \varepsilon_v^{(iter)})}{\Delta q} \quad \text{Equation 206}$$

$$\frac{\partial \varepsilon_d}{\partial \varepsilon_v} \approx \frac{\varepsilon_d(q^{(iter)}, \varepsilon_v^{(iter)} + \Delta \varepsilon_v) - \varepsilon_d(q^{(iter)}, \varepsilon_v^{(iter)})}{\Delta \varepsilon_v} \quad \text{Equation 207}$$

L'ensemble s'insère dans l'algorithme de résolution vu en Figure 3.34.

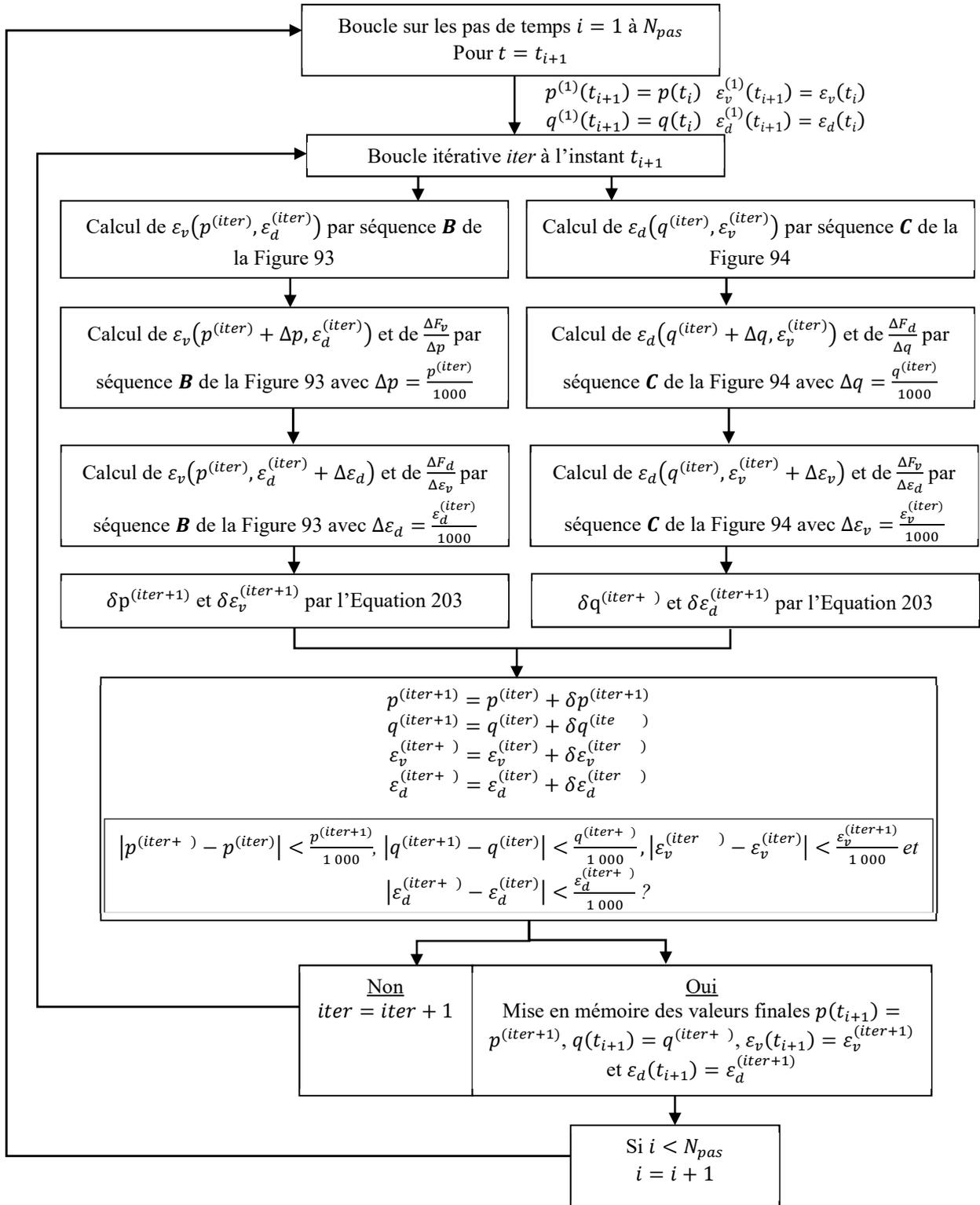


Figure 98 – Diagramme d'implémentation de la loi VENL 3D pour simulation œdométrique.



III.4.6. Auto-vérification des programmes VENL 3D

Afin de vérifier la bonne implémentation des programmes VENL 3D, nous avons fait entre autres le test suivant. Partant de la simulation d'un essai triaxial à efforts donnés ($\bar{p}(t), \bar{q}(t)$), nous utilisons le programme $VBA_{p,q}^{VENL}$ pour déterminer les déformations $\varepsilon_v(t)$ et $\varepsilon_d(t)$. Nous réinjectons alors celles-ci comme données d'entrée du programme $VBA_{\varepsilon_v, \varepsilon_d}^{ENL}$ pour calculer les contraintes $p(t), q(t)$ résultantes et vérifier leurs similitudes avec les données de départ.

Les valeurs des paramètres élastiques non linéaires utilisées sont les mêmes que celles de la validation du modèle ENL 3D. Pour la partie viscoélastique, on se place dans le cas de composantes volumique et déviatorique reliées entre elles par un coefficient de « Poisson » constant ν et d'un exposant de loi de fluage parabolique représentatif du comportement d'un enrobé dans le domaine de ses faibles valeurs de module. On prend ainsi :

$$\nu = 0,35$$

soit :

$$\delta = \frac{9(1-2\nu)}{2(1+\nu)} = 1 \text{ d'après les Equation 145 et Equation 146}$$

$$\gamma = \beta = 0,6.$$

La valeur de E_s est prise forfaitairement égale à 100 MPa.

La valeur de A est choisie égale à 30 s ce qui correspond à une déformation de 100 $\mu\text{déf}$ à 0,02 s sous une contrainte de 0,8 MPa (ordre de grandeur obtenu sur chaussée).

Les efforts $\bar{p}(t), \bar{q}(t)$ sont ceux de la Figure 87, rappelée ci-dessous :

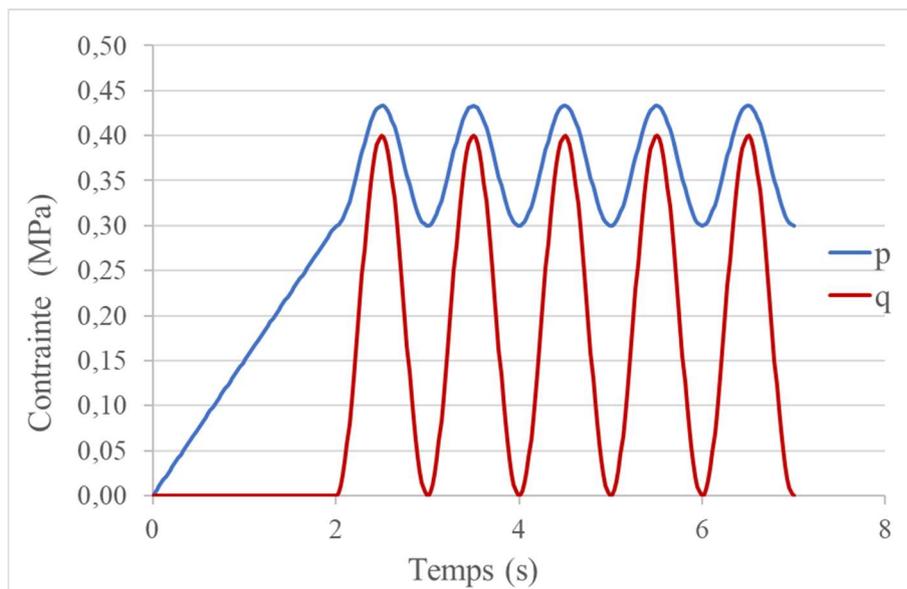


Figure 87 - Contraintes imposées.



III.4.6.1. Résultats du programme $VBA_{p,q}^{VENL}$ à contraintes imposées

Le programme $VBA_{p,q}^{VENL}$ basé sur l'algorithme Figure 95 conduit aux déformations de la Figure 99.

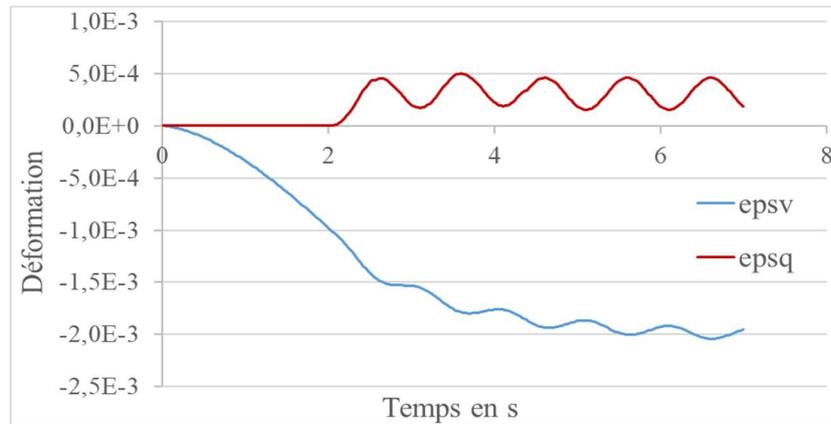


Figure 99 – Modélisation $VENL_{p,q}$ 3D.

Ces courbes peuvent être comparées à celles de la Figure 88. L'effet de viscosité s'observe sur ce graphe à travers :

- La déformation volumique qui continue à évoluer en moyenne, après l'atteinte du régime sinusoïdal de $\bar{p}(t)$;
- Des amplitudes de déformation en régime sinusoïdale moindre qu'en ENL.
- Une absence de retour à zéro des déformations lors du passage à zéro de $\bar{q}(t)$.

III.4.6.2. Résultats du programme $VBA_{\varepsilon_v, \varepsilon_d}^{VENL}$ à partir des déformations précédentes

L'utilisation du programme $VBA_{\varepsilon_v, \varepsilon_d}^{ENL}$ à partir des déformations précédentes ($\varepsilon_v(t)$ et $\varepsilon_d(t)$) conduit aux courbes $p(t)$, $q(t)$ de la Figure 100. On observe que l'on retrouve bien les contraintes imposées au départ.

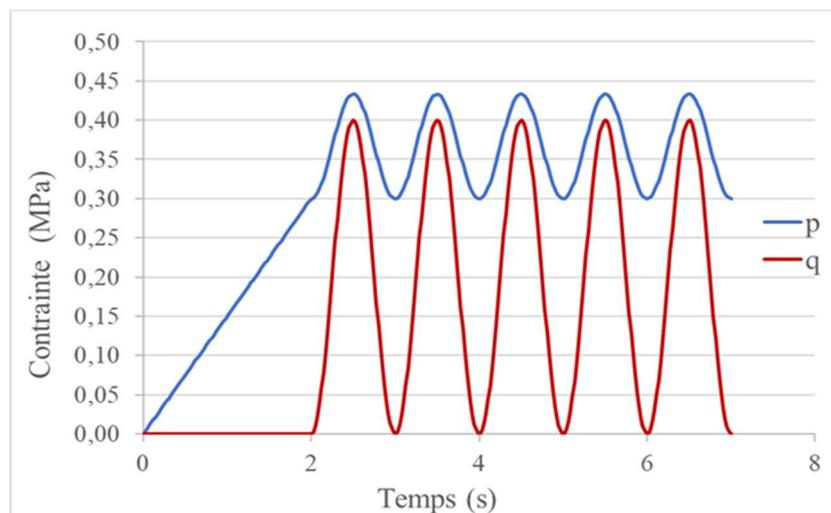


Figure 100 - Modélisation $VENL_{\varepsilon_v, \varepsilon_d}$ 3D.



III.4.7. Incidence du paramètre A

Le paramètre A , considéré croissant avec la viscosité du matériau, sera utilisé plus tard pour représenter le caractère thermo-susceptible du matériau et son mûrissement. Les Figure 101 ($A = 0,1$ s), Figure 102 ($A = 30$ s) et Figure 103 ($A = 65$ s) permettent d'illustrer directement ici l'influence de ce paramètre sur les courbes contraintes/déformations simulées dans le cas d'un essai œdométrique (Figure 97).

Les résultats sont générés par le programme VBA_{oedo}^{VENL} pour $\varepsilon_{xx} = \varepsilon_{yy} = 0$ et :

- $\sigma_{zz}(t) = -0.05 \frac{t}{t_1}$ et $\sigma_{zz}(t) = 0$ entre 0 et $t_1 = 5$ s ;
- $\sigma_{zz}(t) = -0.05 - \frac{0.4(1-\cos(2\pi(t-t_1)))}{2}$ entre t_1 et $t_f = 19$ s.

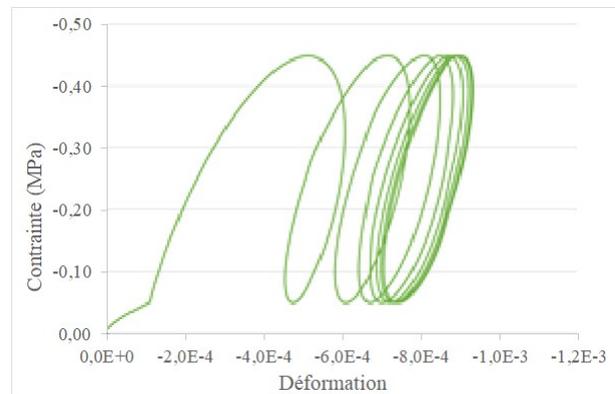
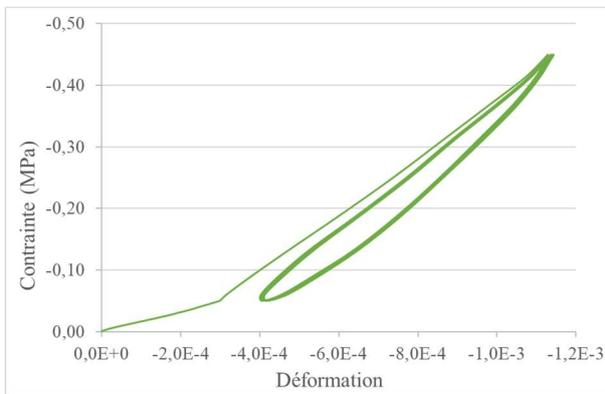


Figure 101 - Cycles de chargement $\varepsilon_{zz} - \sigma_{zz}$ pour $A = 0,1$ s.

Figure 102 - Cycles de chargement $\varepsilon_{zz} - \sigma_{zz}$ pour $A = 30$ s.

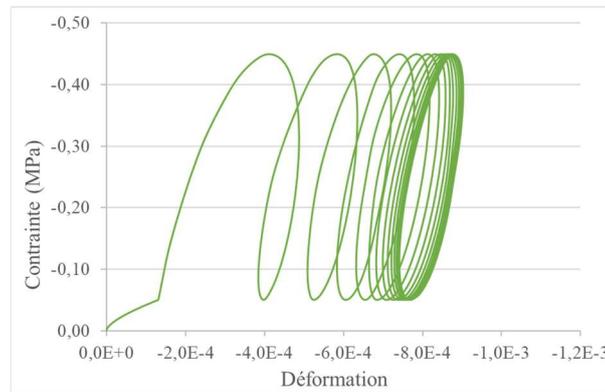


Figure 103 – Cycles de chargement $\varepsilon_{zz} - \sigma_{zz}$ pour $A = 65$ s.

La Figure 101 présente des boucles relativement fermées et de forme convexe. Elles reflètent majoritairement un comportement de type ENL. La Figure 102 présente une boucle plutôt ouverte et de forme elliptique, caractéristique d'un comportement de type VE. La Figure 102 présente un comportement intermédiaire. On observe ainsi une réduction importante d'amplitude de déformation des cycles « stabilisés » coordonné avec une augmentation de la variable A correspondant à une évaluation de la température ou du mûrissement.



III.5. Conclusion

Ce chapitre a permis de décrire le modèle VENL 3D construit à partir de l'introduction de deux spectres ayant chacun une série d'éléments à 3 branches « ressort, amortisseur linéaire, butée » et un « double fond » pour la composante volumique. Les simulations, effectuées à partir de l'algorithme de résolution associé, montrent la capacité du modèle à décrire un comportement évolutif entre ENL et VE à travers l'utilisation de la fonction de viscosité A que l'on cherchera donc à associer plus loin au mûrissement des enrobés à l'émulsion.

Pour pouvoir utiliser ce modèle, il reste à définir les valeurs des différents paramètres qui le composent : K_a , G_a , n , E_s , δ , γ , β et A .

La détermination de ces différents paramètres doit être effectuée à partir de données expérimentales. Pour cela, nous avons développé un plan d'expérience mettant en jeu des séquences de mûrissement d'éprouvettes à température fixée, entrecoupées de mesures de module œdométrique permettant de suivre l'évolution des propriétés rhéologiques du matériau. Cela fait l'objet du chapitre à venir.



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

IV.1. Nécessité du développement d'un essai de caractérisation du comportement évolutif des enrobés à l'émulsion

Comme nous l'avons vu dans le chapitre I, très peu de travaux traitent de l'évolution des performances mécaniques des enrobés à l'émulsion (sans ajout de liant hydraulique) de leur état frais à leur état mûri, et ceci particulièrement au jeune âge. Dans l'optique d'alimenter et de valider le modèle VENL 3D présenté chapitre III, qui rend compte de leur comportement réversible depuis la mise en œuvre jusqu'à un état mûri, nous avons besoin d'un essai simple, répétable et reproductible, permettant de suivre l'évolution des caractéristiques physiques (teneur en eau, compacité), et mécaniques (module complexe et coefficient de Poisson), au cours du temps. Nous avons donc combiné une campagne de mûrissement du matériau (pour différentes températures et humidités relatives de l'air, constantes lors du protocole de mûrissement) avec un essai de caractérisation des performances mécaniques du matériau, à un état donné de son évolution. Ce chapitre traite du choix, du développement et de la validation de l'essai mis en œuvre aux différents âges.

IV.1.1. Choix de l'essai

Entre les essais de caractérisation mécanique normalisés réalisés sur des GNT (essais triaxiaux de révolution [30], module de résilience [29]) et les essais normalisés réalisés sur enrobés à chaud (module complexe [25]), l'essai retenu doit être compatible avec les contraintes inhérentes au produit, à savoir :

- Tester le même échantillon durant tout son mûrissement et donc avoir un échantillon transportable entre la campagne de mûrissement et l'essai de caractérisation pour suivre son comportement évolutif.
- Ne pas endommager ou déformer de façon irréversible l'échantillon lors des essais afin de rester dans le domaine du comportement viscoélastique non linéaire réversible du matériau.
- Permettre le séchage de l'échantillon durant la campagne de mûrissement, dans des conditions proches de conditions de chantier.
- Permettre le drainage éventuel de l'eau lors des essais.

Les enrobés à l'émulsion étant non cohérents à l'état frais (juste après la mise en œuvre), il faut un essai permettant de contenir le matériau durant cette phase, il nous est donc impossible d'utiliser les essais « classiques » des enrobés à chaud (flexion 2, 3 ou 4 points, compression diamétrale, essai de traction/compression). Il est, en revanche, possible d'utiliser soit l'essai triaxial de révolution soit un essai de compressibilité avec une cellule de type œdométrique légèrement modifiée afin de respecter toutes ces contraintes.

L'essai triaxial a été rapidement éliminé car trop contraignant. Outre le fait qu'une cellule triaxiale doit être immobilisée par éprouvette dans la mesure où, à l'état frais, les éprouvettes, non



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

cohésives, nécessitent un soutien latéral pour éviter une déformation sous poids propre, le confinement dans une cellule triaxiale drainée peut provoquer des déformations irréversibles et un surcompactage. De surcroît, l'obtention d'une modalité de mûrissement à T et HR contrôlées est, dans cette configuration d'essai, très difficile voire impossible à réaliser.

C'est pourquoi, nous choisissons de nous inspirer de l'essai de compressibilité afin de créer un essai triaxial cyclique en conditions œdométriques (Figure 104). Les œdomètres, utilisés pour réaliser des essais de compressibilité en laboratoire sur des sols fins, se caractérisent par une enceinte cylindrique indéformable, dont la paroi interne est au contact direct avec l'éprouvette, laquelle est soumise à un effort axial connu (constant par palier pour les sols, cyclique dans cette application) et à une déformation radiale nulle, en conditions de drainage haut et bas.

Dans notre cas, après malaxage, la grave émulsion sera directement mise en œuvre et compactée à l'intérieur du moule. Elle est ensuite conditionnée en ambiance contrôlée, avec une surface d'échange supérieure libre et un disque drainant en partie inférieure. Elle est testée régulièrement, lors de sa prise et son mûrissement, en compression cyclique à fréquences et températures variables pour des temps de mûrissement donnés.

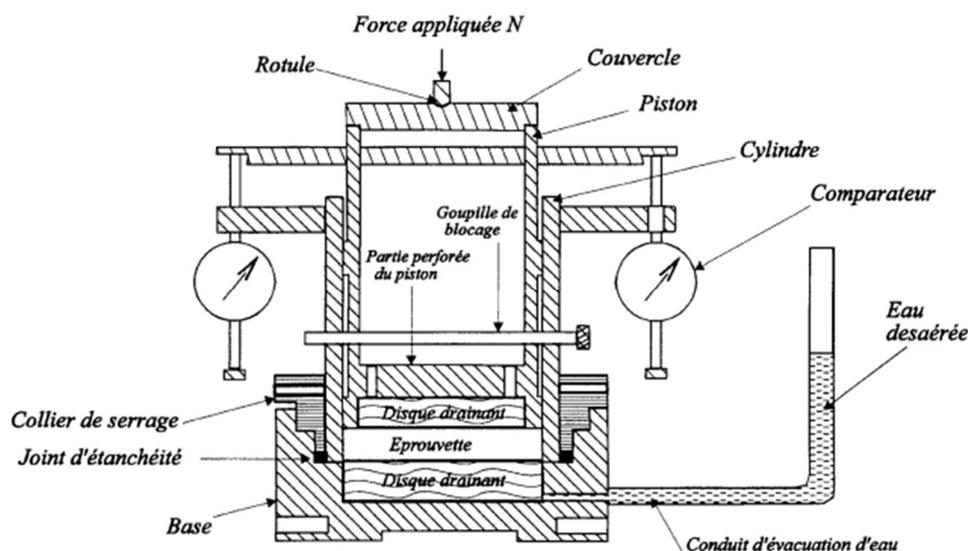


Figure 104 – Schéma de principe de l'essai œdométrique.

IV.1.2. Dispositif et moyens expérimentaux

IV.1.2.1. Cellule œdométrique

En ce qui concerne le choix du moule et de ses dimensions, il nous faut un moule cylindrique en métal assez épais ou renforcé par frettes afin de ne pas se déformer lors du compactage de l'éprouvette et des essais de compression cyclique, la première modalité étant la plus sévère. Pour cela, nous avons le choix entre deux types de moule de compactage pour enrobés à chaud de type moules Duriez de diamètre nominal 80 et 120 mm ([24]) et un moule PCG de diamètre nominal 180 mm ([23]). Comme nos formules d'enrobé à l'émulsion sont composées de granulats 0/14 mm, pour éviter les effets d'échelle, le diamètre du moule doit être supérieur à 8 à 10 fois le plus



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

gros diamètre des granulats. Les moules Duriez dilatés et les moules PCG sont donc utilisables. Compte-tenu des disponibilités des matériels et sachant que les campagnes de mûrissement nécessitent d'immobiliser les moules pendant plusieurs semaines, nous avons fait le choix d'utiliser les moules Duriez de 120 mm de diamètre.

L'utilisation d'un moule Duriez pour cet essai nous conduit à choisir également la méthode normative associée pour le compactage de notre matériau. Ce compactage est réalisé en appliquant un effort de compression simple de 180 kN sur le matériau jusqu'à ce que la hauteur souhaitée (et donc la compacité) de l'éprouvette soit atteinte et se termine après avoir appliqué la force cinq minutes.

Lors du compactage et des essais, le moule Duriez est muni en partie basse et en partie haute de deux disques drainant rainurés sur quatre endroits du disque (Figure 105) qui permettent l'écoulement de l'eau en dehors du moule.

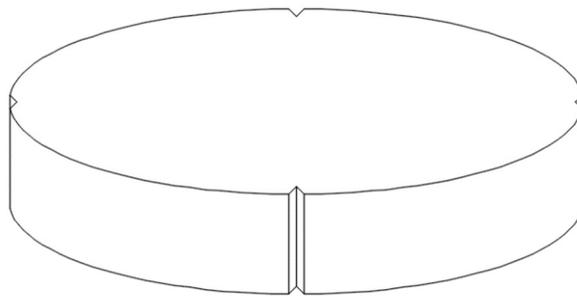


Figure 105 - Disque drainant utilisé.

En conditions de mûrissement, les échantillons sont stockés en conditions T et HR régulées, sur disque drainant et surface supérieure libre.

Des essais de faisabilité ont porté sur l'élancement (rapport hauteur/diamètre) optimal de l'échantillon dans ces moules. Entre un élancement de 0,2, couramment utilisé pour les essais de compressibilité des sols fins et pouvant être considéré comme une limite inférieure, et un élancement de 2, préconisé en essais triaxiaux mais générant des gradients potentiels de compacité à la mise en œuvre ainsi que de mûrissement, tant en augmentant les frottements latéraux en cours d'essai, une étude préliminaire a permis de déterminer un élancement optimal, compte tenu des contraintes préalablement identifiées.

IV.1.2.2. Machine et protocole d'essai

La machine d'essai utilisée est une presse servo-hydraulique Schenck®, composée d'un vérin de capacité 100 kN et d'un capteur de déplacement de course de 100 mm incorporé dans le vérin.

Dans une première phase, cette presse est utilisée pour compacter les éprouvettes, par compactage statique double effet, jusqu'à une valeur de compacité requise.

Dans une deuxième phase, elle est utilisée pour réaliser les essais œdométriques cycliques. L'asservissement est réalisé en force, avec un chargement sinusoïdal, entre deux seuils de



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

compression. Après une rampe de précompression de 0,5 kN (0,04 MPa) à 1 kN (0,09 MPa), obtenue en 5 s, le protocole comprend :

- Trois niveaux de chargement (identification de la composante élastique non linéaire).
- Cinq fréquences de sollicitations : 0,1 – 1 – 3 – 6 et 10 Hz et trois températures d'essai à savoir 15, 20 et 35 °C (identification de la composante viscoélastique linéaire).

Le logiciel dédié à la presse (Tema concept®) et un module d'alimentation pilotant la presse pour n'importe quel signal de force permettent l'asservissement des essais. Le module dispose d'un système d'acquisition de 16 voies avec une résolution de 16 bits.

IV.1.2.3. Instrumentation

Un essai œdométrique nécessite la mesure de la force (ou contrainte axiale) appliquée ainsi que du tassement (ou déformation axiale) de l'éprouvette. La déformation radiale est supposée nulle et la contrainte radiale, non mesurée, évolue avec la contrainte axiale.

Dans notre cas, le choix du niveau maximal de chargement a été défini de sorte de ne pas excéder une déformation axiale du matériau frais de l'ordre de 1000 µdéf. Après quelques tests sur éprouvette à l'état frais, nous avons choisi des amplitudes de force (contrainte axiale) de 2,3 kN (0,2 MPa), 4,6 kN (0,41 MPa) et 10 kN (0,88 MPa) sachant qu'il existe toujours lors de l'essai une force initiale minimale de 0,5 (0,04 MPa) (lors de la première semaine d'essais) à 1 kN (0,09 MPa) (pour le reste de la période d'essais). La force maximale étant de 11 kN, nous avons choisi d'utiliser un capteur de force additionnel (Les fiches techniques du capteur sont ajoutées annexes 7) : un capteur en S, en pont complet d'extensomètre, d'amplitude de mesure de 25 kN et dont les caractéristiques sont données dans le Tableau 6 :

Tableau 6 - Caractéristiques métrologiques du capteur de force 25 kN.

| Sensibilité | Non-linéarité | Hystérésis |
|-------------|---------------|------------|
| 1,7133 mV/V | ± 0,036 % EM | 0,023 % EM |

Pour la mesure des déplacements, trois capteurs LVDT GT22 HP ± 0,2 mm TESA® dont les caractéristiques sont présentées dans le Tableau 7 sont disposés à 120° les uns des autres au-dessus du casque (Figure 106). Ils permettent d'apprécier d'éventuels effets parasites (défauts de parallélisme, excentricité du chargement). Une dérive notable d'un de ces capteurs peut conduire à rejeter l'essai (Les fiches techniques des trois capteurs sont ajoutées annexes 8, 9 et 10).

Tableau 7 - Caractéristiques métrologiques des capteurs LVDT GT22 Tesa®.

| Etendue de mesure | Répétabilité | Hystérésis | Erreur max. L en mm ; erreur en µm | Fréquence de coupure à -3 dB |
|-------------------------|--------------|------------|------------------------------------|------------------------------|
| ± 1 mm PE / ± 0,2 mm | 0,01 µm | 0,01 µm | 0,07 + 0,4.L ³ | 60 Hz |



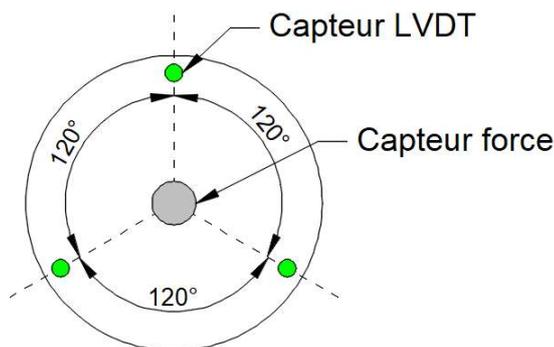


Figure 106 - Disposition des capteurs LVDT.

IV.2. Essais de faisabilité et modifications du dispositif d'essai

L'essai œdométrique cyclique ayant été choisi, ainsi que son instrumentation, il convient d'adapter le protocole au matériau testé, ainsi qu'aux contraintes environnementales choisies. Dans un premier temps, des essais sur une grave émulsion permettent d'apprécier les difficultés associées aux mesures et aux observables, en prenant en compte l'élançement de l'éprouvette, les conditions aux limites et les déformations à vide de l'ensemble du montage et en proposant des corrections adaptées.

IV.2.1. Description du matériau utilisé

Les essais de faisabilité ont été réalisés à partir d'une seule formulation : granulats 0/14 et émulsion 40/60 [16]. Le bitume de base utilisé dans l'émulsion est de grade 160/220, et de teneur en liant 4,2 ppc (parties pour cent en masse de liant anhydre par rapport à la masse des granulats).

Caractéristiques des granulats :

Les granulats 0/14 sont de nature basaltique et proviennent de la carrière de Saint Julien du Pinet (43). Ce mélange utilise les fractions granulaires suivantes : 0/4, 4/10 et 10/14 mm dans les proportions massiques suivantes :

- Granulats 0/4 : 60 %
- Granulats 4/10 : 20 %
- Granulats 10/14 : 20 %

L'analyse granulométrique de chacune des fractions est faite conformément à la norme NF EN 933-1 [56].

La recombinaison granulaire obtenue est présentée dans le Tableau 8.

Tableau 8 - Analyses granulométriques.

| Tamis (mm) | Pourcentage passants | | | |
|------------|----------------------|------|-------|---------|
| | 0/4 | 4/10 | 10/14 | Mélange |
| 16,00 | 100 | 100 | 100 | 100 |



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

| | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|
| 14,00 | 100 | 100 | 96 | 99 |
| 12,50 | 100 | 100 | 67 | 93 |
| 10,00 | 100 | 92 | 13 | 81 |
| 8,00 | 100 | 61 | 3 | 73 |
| 6,30 | 100 | 32 | 2 | 67 |
| 5,00 | 97 | 15 | 2 | 62 |
| 4,00 | 92 | 4 | 1 | 56 |
| 3,15 | 82 | - | - | 50 |
| 2,00 | 58 | 1 | - | 35 |
| 1,00 | 37 | 1 | - | 23 |
| 0,50 | 24 | - | - | 15 |
| 0,25 | 16 | - | - | 9,9 |
| 0,125 | 11 | - | - | 6,9 |
| 0,063 | 8,4 | 0,6 | 0,5 | 5,3 |

Obtention de la compacité :

La masse volumique réelles du mélange est de $2,502 \text{ g/cm}^3$, elle est déterminée grace à l'essai de caractérisation de la masse volumique réelle [57] qui est en fait le rapport entre la masse et le volume or eau et or vide du matériau. Pour les éprouvettes expérimentales, nous cherchons un pourcentage de vides dans le matériau de 15%, nous avons donc besoin d'une masse volumique apparente de $2,944 \text{ g/cm}^3$. Connaissant le diamètre de notre moule Duriez (120 mm) et la hauteur d'échantillon que l'on souhaite, nous pouvons calculer la masse de mélange nécessaire à la confection d'une éprouvette.

Fabrication :

Chaque granulat sec est pesé puis placé dans le malaxeur avec l'eau d'ajout puis mélangé dans le malaxeur pendant 30 secondes. On ajoute alors la quantité désirée d'émulsion avant de malaxer encore pendant 2 minutes. La masse d'enrobé désirée est alors placée dans chacun des moules, puis compactée, par un compactage double effet afin d'obtenir la hauteur désirée et donc une compacité visée soit 15 % de vides.

Mûrissement :

Les conditions de mûrissement en température et humidité pour ces essais de faisabilité sur cet enrobé à l'émulsion a été de 20°C et de 45% d'HR.



IV.2.2. Premiers essais de faisabilité

Lors de nos premiers essais œdométriques, le corps du moule Duriez a été placé sur un élastomère afin d'obtenir conformément à la norme [29] un effort axial double effet (Figure 107). Le diamètre de ce casque (115 mm) est très légèrement inférieur au diamètre du moule Duriez (120 mm) afin d'éviter tout frottement. Les capteurs LVDT sont positionnés au-dessus du casque et maintenus par des supports aimantés au bâti de la presse. Deux cales métalliques de hauteurs différentes sont placées en dessous du disque drainant inférieur pour maintenir le matériau en partie haute (Figure 108).



Figure 107 – Montage du premier essai œdométrique.

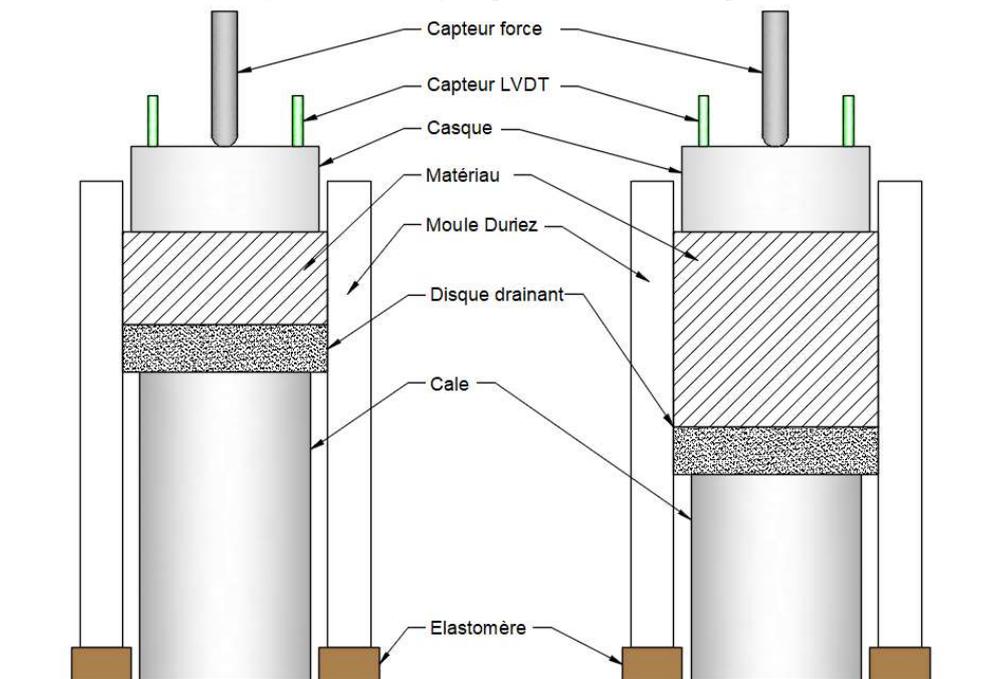


Figure 108 – Dispositif œdométrique pour le choix de l'élancement : 0,5 ($h = 60$ mm) à gauche et 1 ($h = 120$ mm) à droite.



IV.2.2.1. Choix de l'élancement

Pour minimiser les frottements entre le matériau et le moule, et avant l'essai, le matériau compacté et le disque drainant inférieur sont préalablement déplacés à l'intérieur du moule puis les parois du moule sont enduites d'une fine couche de produit décoffrant pour permettre à l'échantillon de coulisser facilement dans le moule. Pour un élancement de 0,5, cette manipulation est très facile. En revanche, l'échantillon d'élancement 1, le déplacement manuel devient difficile.

Lors des essais, pour un élancement 1, malgré le déplacement opéré, les frottements entre éprouvette et moule empêchent une sollicitation homogène du matériau sur toute sa hauteur et tendent à diminuer la valeur de déformation axiale mesurée, ce qui a pour conséquence (Tableau 9) de majorer la valeur de module apparent obtenu.

Tableau 9- Mesures lors de l'essai œdométrique.

| | Déplacement (mm) | Déformation | Contrainte (MPa) | Module (MPa) |
|----------------|------------------|------------------------|------------------|--------------|
| Elancement 0,5 | -0,102 | -1,85 10 ⁻³ | -0,794 | 446 |
| Elancement 1 | -0,154 | -1,44 10 ⁻³ | -0,794 | 554 |

De plus, lors du démoulage de ces toutes premières éprouvettes, après les avoir sollicitées trois fois par semaine pendant 1 mois, celles-ci ont été testées au banc gammadensimétrique afin de mesurer leur densité sur leur hauteur. Cet essai, normalisé par la norme NF P 98-250-5 [58] utilise l'absorption de rayons gamma par le matériau pour en déduire sa densité locale. Le déplacement du faisceau d'ondes permet d'obtenir, connaissant la masse volumique spécifique du produit, et l'absorption, un profil de compacité sur toute la hauteur de l'éprouvette. La Figure 109 présente l'évolution de la teneur en vide (ou porosité) des échantillons pour les deux élancements testés.

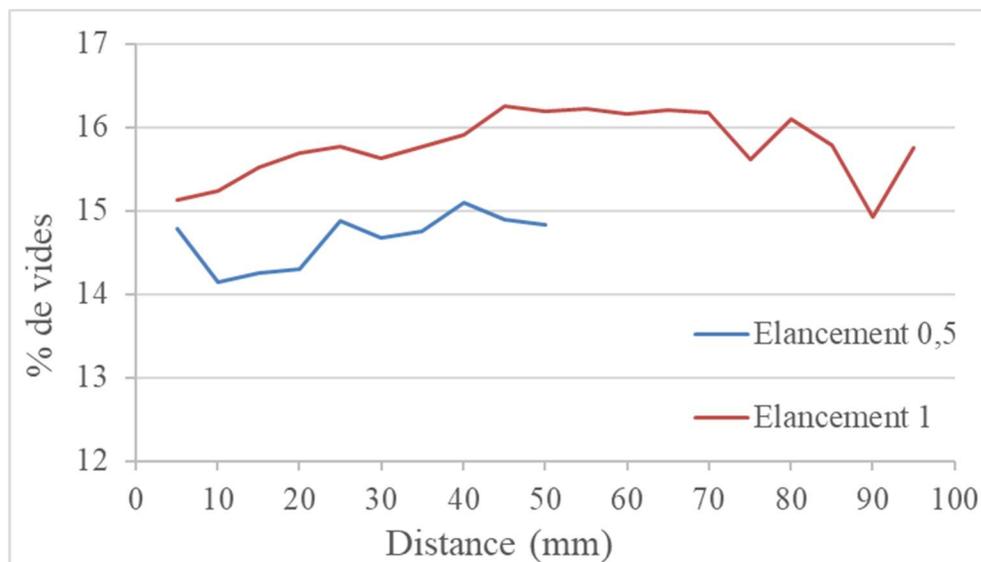


Figure 109 - Teneur en vides en fonction de la hauteur de l'éprouvette (après 12 essais œdométriques).

Nous pouvons voir sur ce graphique après essais que lors du compactage, nous ne réussissons pas à obtenir la compacité désirée lors du compactage des éprouvettes d'élancement 1. Nous pouvons



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

observer que l'éprouvette d'élanement 1, même après 1 mois d'essai, montre des gradients de compacité plus élevés que l'éprouvette d'élanement 0,5. Pour l'élanement 0,5, la teneur en vides moyenne est de 14,6 % ce qui semble cohérent avec une teneur en vides initiales de 15% et un mois d'essais œdométriques. De plus, la variation de compacité sur toute l'épaisseur du matériau est plus faible pour un élanement 0,5.

Au vu de ces constatations, un élanement de 0,5 est choisi. Bien que le volume élémentaire représentatif du matériau soit réduit, les gradients de mûrissement (hors essais) seront ainsi minimisés.

IV.2.2.2. Problèmes rencontrés lors de la première étude

Comme nous pouvons le voir sur la Figure 110, le dispositif, empilant des cales de liaison, et le montage des capteurs de déplacement sur la table de la machine d'essai entraînent des vibrations parasites, ainsi qu'une surestimation des déplacements, associée au rattrapage de jeux mécaniques et aux déformations propres des cales

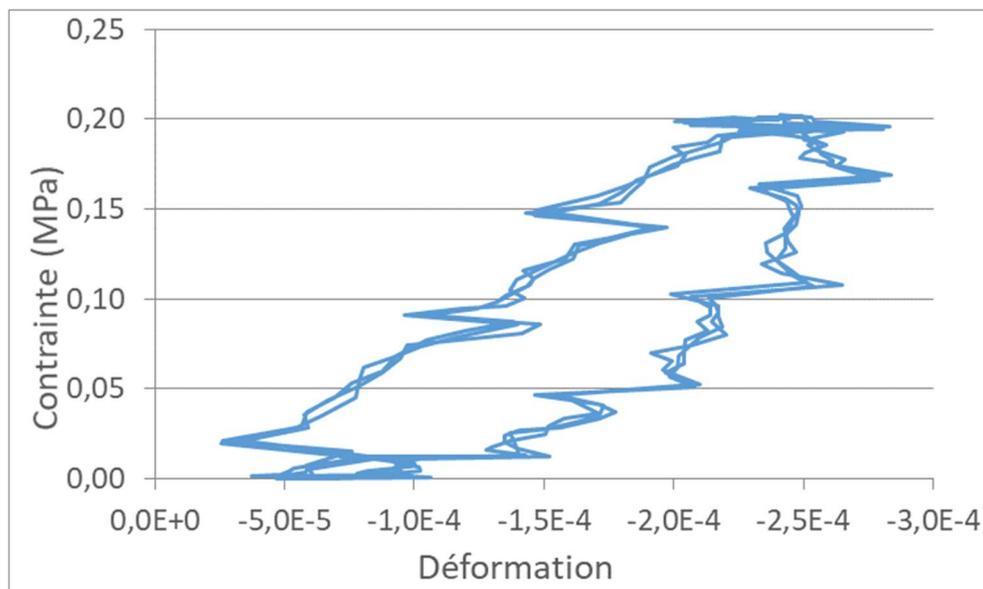


Figure 110 - Cycles de chargement stabilisés - Essais à 15 °C, 10 Hz et 2,3 kN.

Pour une fréquence d'acquisition de 10 Hz, le système d'acquisition associé à la machine d'essai présente un signal bruité avec des sauts de déplacement toutes les 0,01 secondes. De plus, les mesures sont effectuées par deux cartes d'acquisition multiplexées ce qui peut introduire un décalage temporel entre les différents signaux.

Ce problème est bien d'ordre électronique car nous observons ce dysfonctionnement lors d'une simple mesure de déplacements sans chargement comme nous le montre la Figure 111.



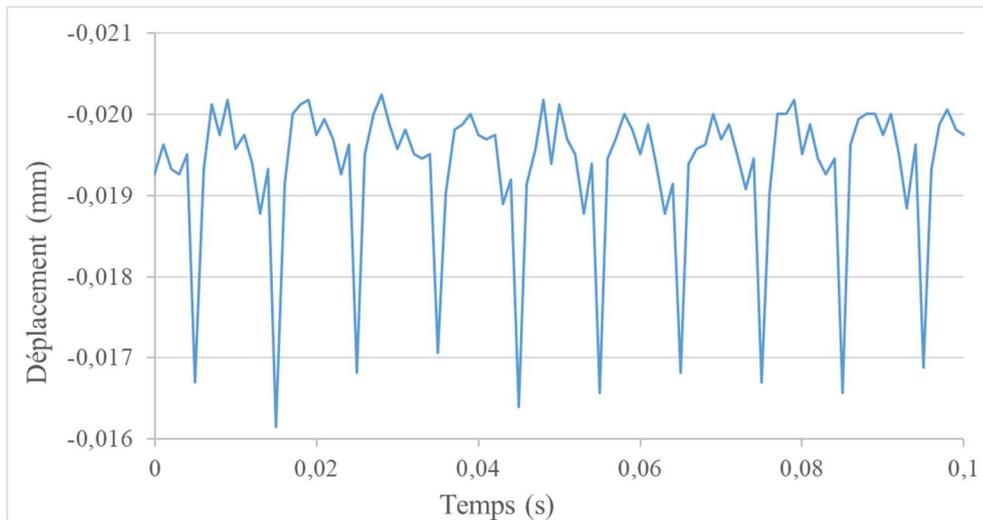


Figure 111 – Mesure de déplacement sans chargement.

Ces deux problèmes ne nous permettent pas d'avoir un signal clair nous permettant de lire la valeur de déplacement. Dans le but d'améliorer les mesures force/déplacement, un nouveau dispositif d'essai œdométrique et un nouveau système d'acquisition ont été développés et mis en œuvre.

IV.2.3. Nouveau dispositif d'essai

Pour ce nouveau dispositif permettant d'obtenir une mesure de déplacement plus fiable et corrigée des effets parasites, les contacts entre éléments métalliques doivent être minimisés et la fixation des capteurs de déplacement doit être au plus près du montage. Une cale inférieure rectifiée a été usinée, afin de s'affranchir de l'empilage préliminaire. Comme nous pouvons le voir sur la Figure 112, nous avons également créé un support permettant de relier directement les capteurs de déplacement à la cale inférieure, sous le disque drainant et le matériau, en s'affranchissant du bâti de la machine d'essai. Ce support est divisé en deux parties (Figure 113) que nous nommerons support supérieur et support inférieur et qui, une fois réunis, seront maintenus ensemble par trois vis, lors du montage initial et permettront un positionnement fiable et répétable des 3 capteurs LVDT, aux angles de 120° choisis.



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

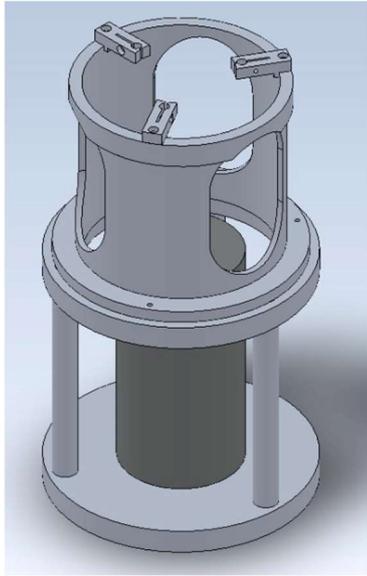


Figure 112- Dessin technique du support d'essai.

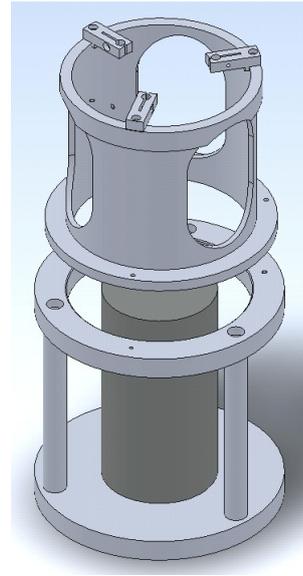


Figure 113 -Vue éclatée du support d'essai.

La cale et le support inférieur du moule œdométrique sont fixés entre eux afin de n'avoir aucun mouvement possible entre les deux pièces (Figure 114).

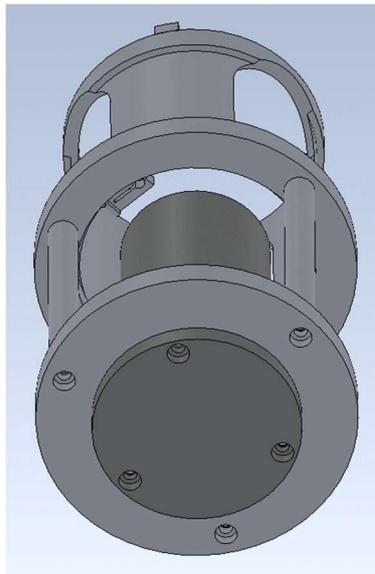


Figure 114 - Vue de dessous du support.



IV.2.3.1. Montage de l'essai

Les figures suivantes présentent étape par étape, le montage de l'essai œdométrique entre l'échantillon, le support de l'essai et les capteurs de déplacement :



Figure 115 - Etape 1 : Mise en place du support inférieur sur le bâti de la presse.



Figure 116 - Etape 2 : Mise en place de l'élastomère autour de la cale.



Figure 117 - Etape 3 : Mise en place de l'éprouvette et du cylindre sur le support inférieur.



Figure 118 - Etape 4 : Mise en place du casque sur le matériau.





Figure 119 - Etape 5 - Mise en place et fixation du support supérieur.



Figure 120 - Etape 6 – Mise en place et réglage des capteurs de déplacement en position initiale.



Figure 121 - Etape 7 - Démarrage de l'essai avec application de l'effort cyclique souhaité.

IV.2.4. Nouvelle acquisition

En plus du nouveau support, le système d'acquisition a été modifié (Figure 122). Au lieu de passer par l'acquisition du logiciel associé à la presse, nous avons mis en place une nouvelle centrale d'acquisition via un Spider8® HBM (8 voies synchrones échantillonnées-bloquées, fréquence maximale d'acquisition 9600 Hz, CAN 16 bits), pour les 4 voies de déplacements et de force, associé au logiciel Catman® HBM.



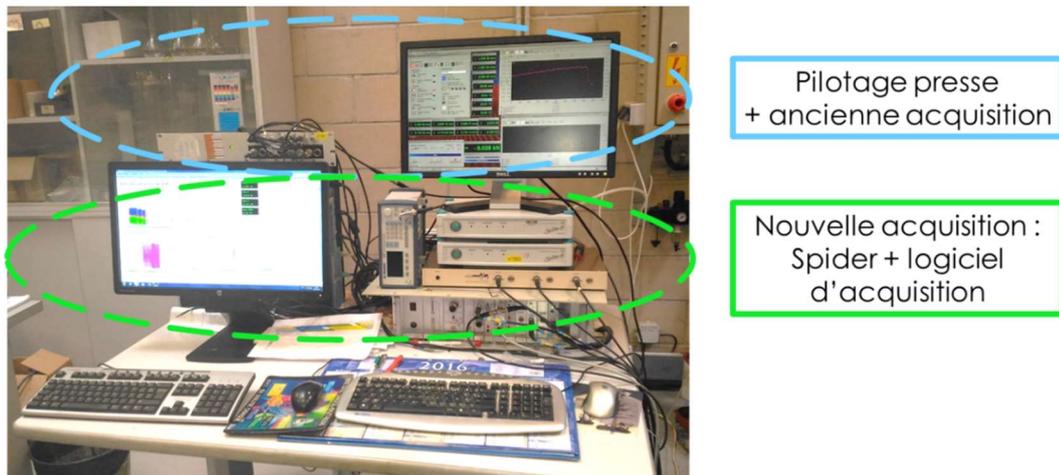


Figure 122 - Système de pilotage et nouvelle acquisition.

Ce type d'acquisition est très simple d'utilisation et n'induit plus aucun saut dans le signal de déplacement.

IV.2.4.1. Correction des déplacements « à vide »

Lors des premiers essais de faisabilité, nous savons que le déplacement mesuré est de l'ordre de quelques dizaines de micron et peut être faussé par la déformation des cales métalliques inférieures et supérieures. Nous avons donc décidé de mesurer les déplacements du support inférieur, du disque drainant et du casque sous chargement à la température constante de 20 °C. Nous nommerons, par la suite, ce protocole de mesure, l'essai « à vide ». Pour cela, un cylindre métallique rectifié de faible épaisseur (28 mm) est interposé entre le casque supérieur et le disque drainant. Pour obtenir des données de reproductibilité, le protocole de mesures comprend onze chargements et déchargements en démontant et remontant le support entre chaque test. La Figure 123 présente le résultat de ces tests.

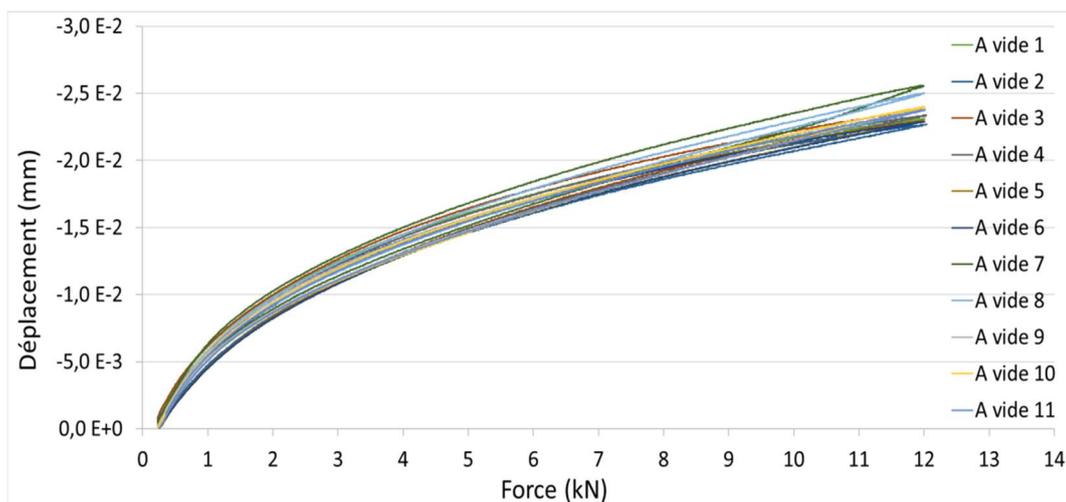


Figure 123 - Mesure du déplacement "à vide".

Les tableaux montrent la mesure de force et de déplacement moyen de tous ces essais ainsi que leurs écarts types.



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

Tableau 10 – Valeurs de force et déplacement moyen avec écart type lors du chargement.

| Force moy (kN) | Ecart type force | Dépl moy (mm) | Ecart type dépl |
|----------------|------------------|---------------|-----------------|
| 0,25 | 1,1E-03 | 0,0E+00 | 0,0E+00 |
| 0,50 | 1,0E-01 | -1,7E-03 | 9,7E-04 |
| 0,90 | 9,3E-02 | -4,2E-03 | 8,0E-04 |
| 1,29 | 9,2E-02 | -6,0E-03 | 6,2E-04 |
| 1,68 | 9,2E-02 | -7,5E-03 | 4,9E-04 |
| 2,08 | 9,3E-02 | -8,7E-03 | 4,4E-04 |
| 2,47 | 9,4E-02 | -9,7E-03 | 3,9E-04 |
| 2,86 | 9,1E-02 | -1,1E-02 | 3,7E-04 |
| 3,25 | 9,1E-02 | -1,2E-02 | 3,4E-04 |
| 3,64 | 9,2E-02 | -1,2E-02 | 3,3E-04 |
| 4,03 | 9,0E-02 | -1,3E-02 | 3,2E-04 |
| 4,43 | 9,0E-02 | -1,4E-02 | 3,2E-04 |
| 4,82 | 8,8E-02 | -1,4E-02 | 3,2E-04 |
| 5,21 | 9,1E-02 | -1,5E-02 | 3,4E-04 |
| 5,60 | 9,3E-02 | -1,6E-02 | 3,5E-04 |
| 5,99 | 9,4E-02 | -1,6E-02 | 3,5E-04 |
| 6,39 | 9,5E-02 | -1,7E-02 | 3,6E-04 |
| 6,78 | 9,7E-02 | -1,7E-02 | 3,7E-04 |
| 7,17 | 9,0E-02 | -1,8E-02 | 3,9E-04 |
| 7,57 | 9,4E-02 | -1,8E-02 | 4,1E-04 |
| 7,95 | 1,1E-01 | -1,9E-02 | 4,1E-04 |
| 8,36 | 1,0E-01 | -1,9E-02 | 4,3E-04 |
| 8,73 | 8,8E-02 | -2,0E-02 | 4,6E-04 |
| 9,13 | 8,9E-02 | -2,0E-02 | 4,7E-04 |
| 9,33 | 8,7E-02 | -2,1E-02 | 4,9E-04 |
| 9,52 | 1,0E-01 | -2,1E-02 | 5,0E-04 |
| 9,93 | 9,2E-02 | -2,1E-02 | 5,4E-04 |
| 10,31 | 8,6E-02 | -2,2E-02 | 5,9E-04 |
| 10,70 | 9,8E-02 | -2,2E-02 | 6,4E-04 |
| 11,08 | 8,8E-02 | -2,3E-02 | 7,1E-04 |
| 11,47 | 9,6E-02 | -2,3E-02 | 7,9E-04 |
| 11,85 | 8,5E-02 | -2,4E-02 | 8,6E-04 |
| 11,92 | 6,6E-02 | -2,4E-02 | 9,4E-04 |

Tableau 11 - Valeurs de force et déplacement moyen avec écart type lors du déchargement.

| Force moy (kN) | Ecart type force | Dépl moy (mm) | Ecart type dépl |
|----------------|------------------|---------------|-----------------|
| 11,75 | 1,1E-01 | -2,4E-02 | 9,0E-04 |
| 11,34 | 8,6E-02 | -2,3E-02 | 8,5E-04 |
| 10,96 | 1,0E-01 | -2,3E-02 | 8,1E-04 |
| 10,58 | 8,9E-02 | -2,3E-02 | 7,8E-04 |
| 10,18 | 8,5E-02 | -2,2E-02 | 7,2E-04 |
| 9,79 | 9,7E-02 | -2,2E-02 | 7,1E-04 |
| 9,40 | 8,8E-02 | -2,1E-02 | 6,7E-04 |
| 9,00 | 9,2E-02 | -2,1E-02 | 6,4E-04 |
| 8,61 | 1,0E-01 | -2,1E-02 | 6,2E-04 |
| 8,22 | 8,7E-02 | -2,0E-02 | 6,0E-04 |
| 7,83 | 9,1E-02 | -2,0E-02 | 5,7E-04 |
| 7,43 | 1,0E-01 | -1,9E-02 | 5,6E-04 |
| 7,04 | 9,3E-02 | -1,9E-02 | 5,5E-04 |
| 6,66 | 9,6E-02 | -1,8E-02 | 5,3E-04 |
| 6,27 | 8,5E-02 | -1,8E-02 | 5,1E-04 |
| 5,87 | 9,3E-02 | -1,7E-02 | 4,9E-04 |
| 5,48 | 9,0E-02 | -1,7E-02 | 4,7E-04 |
| 5,08 | 9,0E-02 | -1,6E-02 | 4,6E-04 |
| 4,69 | 9,5E-02 | -1,5E-02 | 4,5E-04 |
| 4,30 | 9,1E-02 | -1,5E-02 | 4,3E-04 |
| 3,90 | 8,8E-02 | -1,4E-02 | 4,3E-04 |
| 3,52 | 9,4E-02 | -1,3E-02 | 4,5E-04 |
| 3,13 | 8,9E-02 | -1,3E-02 | 4,5E-04 |
| 2,74 | 9,3E-02 | -1,2E-02 | 4,8E-04 |
| 2,54 | 9,0E-02 | -1,1E-02 | 4,8E-04 |
| 2,34 | 9,1E-02 | -1,1E-02 | 5,0E-04 |
| 1,95 | 9,3E-02 | -9,5E-03 | 5,4E-04 |
| 1,56 | 9,2E-02 | -8,2E-03 | 5,9E-04 |
| 1,17 | 9,1E-02 | -6,7E-03 | 6,7E-04 |
| 0,78 | 9,2E-02 | -4,7E-03 | 8,0E-04 |
| 0,39 | 9,3E-02 | -1,9E-03 | 1,1E-03 |
| 0,26 | 5,4E-02 | -7,5E-04 | 8,2E-04 |

La Figure 124 présente l'évolution, en fonction de la force, de la moyenne des mesures des déplacements, de la fonction polynomiale utilisée, ainsi que les valeurs du coefficient de corrélation obtenu et des incertitudes de déplacements moyens associées à chaque palier de force imposé.



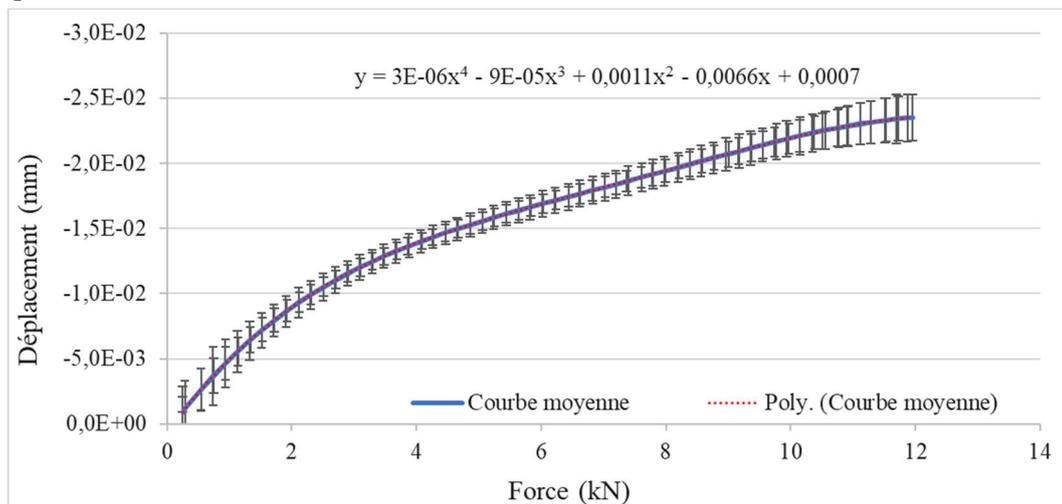


Figure 124 – Déplacement « à vide » et calage d'une fonction polynomiale.

Un calage polynomial est effectué sur la valeur moyenne du déplacement à vide en fonction de l'effort axial, la fonction obtenue est :

$$d(f) = 3 \cdot 10^{-6} f^4 + 9 \cdot 10^{-5} f^3 + 1 \cdot 10^{-3} f^2 + 7 \cdot 10^{-3} f + 7 \cdot 10^{-4} \quad \text{Equation 208}$$

où :

f est la valeur de la force en kN

et $d(f)$ est la valeur de déplacement « à vide », en mm

Lors des essais sur matériau, il est maintenant possible de déduire aux valeurs mesurées les valeurs du déplacement à vide du dispositif pour une force donnée et donc de corriger le déplacement total afin d'obtenir la mesure de déplacement du matériau seul.

IV.2.4.2. Correction des déphasages

Pour quantifier le déphasage que l'ensemble (capteurs/conditionneurs/chaine de mesure) peut induire sur une mesure d'angle de phase pour un comportement viscoélastique, nous avons placé un ressort d'étalonnage à portées rectifiées MTS®, de comportement purement élastique entre le disque drainant et le casque. Ce ressort a été sollicité, en compression cyclique, à différentes fréquences afin d'estimer le déphasage inhérent au système à retrancher aux valeurs mesurées (Figure 125).





Figure 125 – Mesure du déphasage induit par toute la chaîne de mesure.

Le déphasage est mesuré entre la force (considérée comme référence) et la moyenne des 3 signaux de déplacement. Des exemples de résultats sont présentés en annexe 11. Comme, en théorie, ce déphasage devrait être nul, le déphasage calculé, présenté Tableau 12, est celui de l'ensemble de la chaîne de mesures (principalement associé aux capteurs LVDT). Il sera nommé déphasage « à vide » et déduit des valeurs mesurées, dans la suite de cette étude.

Tableau 12 - Mesure de déphasage « à vide ».

| Fréquence de sollicitation | 0,1 Hz | 1 Hz | 3 Hz | 6 Hz | 10 Hz |
|----------------------------|--------|------|------|------|-------|
| Déphasage moyen (°) | 0 | 1,25 | 2,23 | 3,72 | 6,36 |

IV.2.4.3. Champs de température

Après quelques essais initiaux sur le matériau à l'état frais, les éprouvettes ont été sollicitées, en compression cyclique à valeur initiale donnée, sur 10 cycles à 0,1 Hz, 50 cycles à 1 Hz, 75 cycles à 3 Hz et 6 Hz et 100 cycles à 10 Hz. Ce nombre de cycles de sollicitation permet d'obtenir, peu ou prou, une stabilisation des déformations quels que soient la fréquence de sollicitation, la température ou l'état de mûrissement du matériau. Dans ces conditions, pour une température d'essai et un niveau de force donnés, l'essai dure 3 minutes et 18 secondes soit un total de 9 minutes et 54 secondes pour un essai complet, à température d'essai dite constante, pour les 3 niveaux de chargement et les 5 fréquences préalablement définies.

Au vu du nombre important d'essais à effectuer, et de l'absence d'une enceinte climatique environnant le système d'essai, le choix a été d'extraire les moules de leurs conditionnements (T, HR) juste avant l'essai. Le local d'essai étant thermorégulé à 20 °C, la stabilisation des éprouvettes à cette température d'essai, pour un mûrissement à 20 °C ne pose donc aucun problème. En revanche, l'évolution de la température à la surface et au cœur de l'éprouvette lorsqu'on la sort



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion d'une enceinte climatique à 35 °C (et 15 °C), deux conditions choisies par la suite pour l'étude du mûrissement, afin de réaliser l'essai dans la salle climatisée à 20°C lors de ces 13 minutes d'essai (mise en place de l'éprouvette + durée de l'essai) doit être quantifiée.

Pour cela nous avons utilisé deux sondes de températures PT100 de 3 mm de diamètre et 30 mm de longueur. La première est placée à la surface supérieure du matériau et l'autre est placée au cœur de l'éprouvette comme représenté Figure 126. Lors de leur sortie de l'enceinte climatique, le moule et l'éprouvette sont placés sur les cales (cale et disque drainant) et l'éprouvette est recouverte du casque (cales et casques étant dans la salle thermorégulée à 20°C), afin de simuler les transferts thermiques par conduction lors de l'essai œdométrique (Figure 127).



Figure 126 - Mise en place des sondes de température.

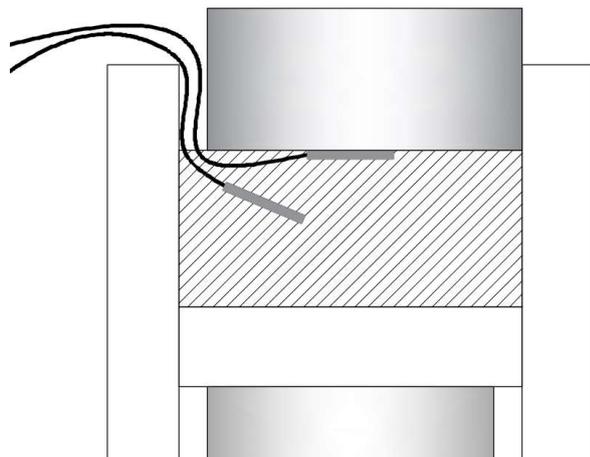


Figure 127 - Mesure de l'évolution de la température dans l'éprouvette une fois mise dans la salle thermorégulée à 20°C.

La Figure 128 présente l'évolution de la température à la surface et au cœur de l'éprouvette lors de ce test pour une température initiale de 15 °C.

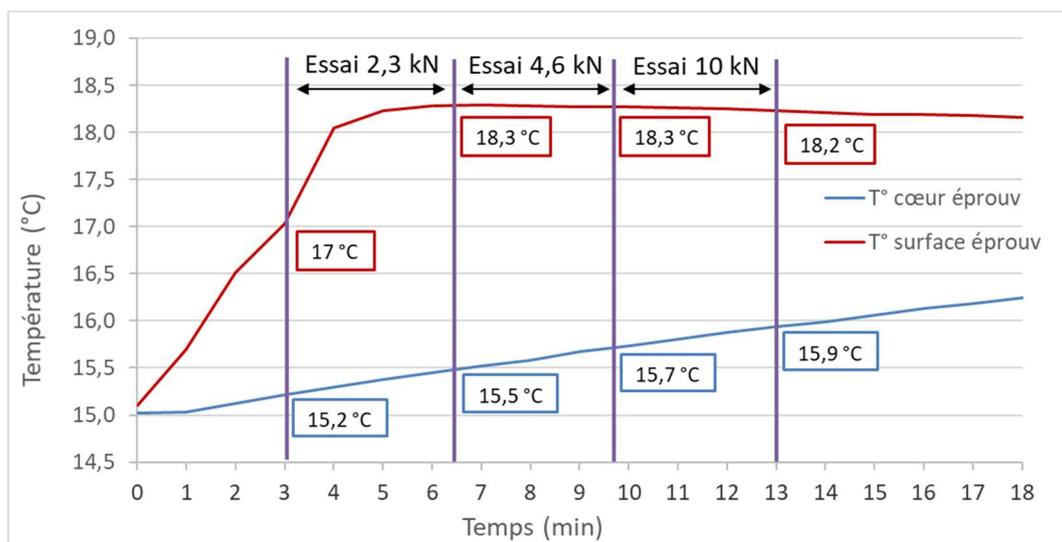


Figure 128 - Evolution de la température au cœur de l'éprouvette (essai dit à la température nominale de 15 °C).



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

On observe une augmentation de 0,9 °C au cœur de l'éprouvette entre la sortie de l'enceinte climatique et la fin de l'essai. Cette variation de température est négligeable par rapport aux 13 minutes d'essai. Le test commence toujours par la mise en place, le test à 2,3 kN, le test à 4,6 kN et enfin le test à 10 kN. On peut donc calculer la température moyenne réelle de l'éprouvette au cours de l'essai pour chacun des niveaux de force (Tableau 13). Pour cela, on utilise les valeurs de températures au cœur et en surface du graphique précédent durant l'intervalle de temps de chaque essai. En faisant l'hypothèse d'un champ bilinéaire, il est possible de déterminer la température moyenne de l'éprouvette durant chaque niveau d'essai en calculant la moyenne entre la température en surface et au cœur de l'éprouvette.

Tableau 13 - Température réelle d'essai à 15 °C.

| Force appliquée | 2,3 kN | 4,6 kN | 9 kN |
|----------------------------|---------|---------|---------|
| Température au cœur | 15,3 °C | 15,6 °C | 15,8 °C |
| Température en surface | 17,8 °C | 18,3 °C | 18,3 °C |
| Température réelle d'essai | 16,5 °C | 17 °C | 17 °C |

La Figure 129 présente l'évolution de la température à la surface (courbe rouge) et au cœur de l'éprouvette (courbe bleue) dans le cas d'une température initiale de 35 °C.

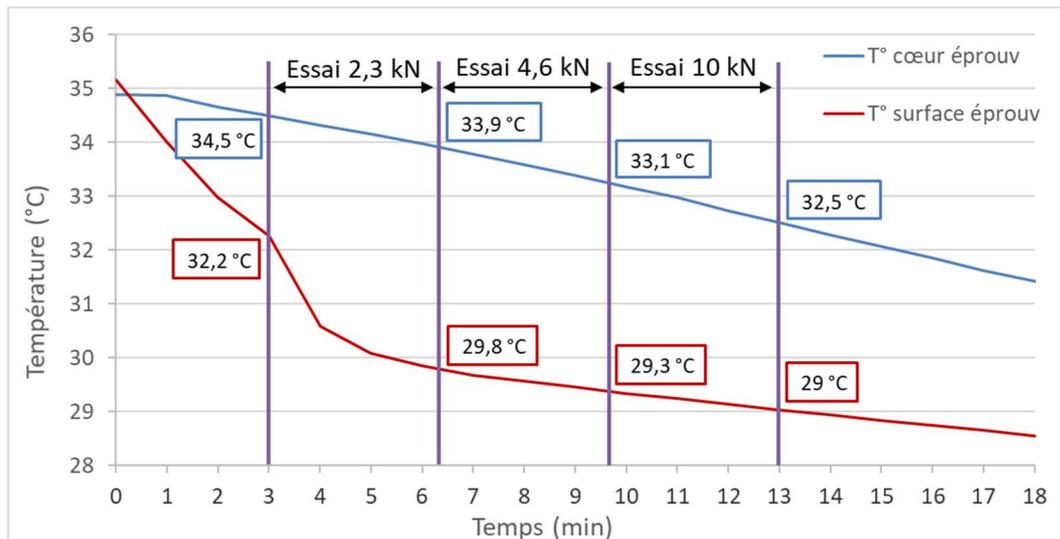


Figure 129 - Evolution de la température au cœur de l'éprouvette pour une température imposée de 20°C partant de 35 °C.

Pour la seconde éprouvette stabilisée initialement à 35 °C, une diminution de température de 6 °C est observée, cœur, pour la même durée d'essai. Dans le chapitre V, lorsque nous traiterons les essais effectués à la température nominale de 35 °C comme présenté précédemment pour la température de 15°C, la véritable température des éprouvettes sera dépendante du niveau de force (Tableau 14).



Tableau 14 - Température réelle d'essai à 35 °C.

| Force appliquée | 2,3 kN | 4,6 kN | 9 kN |
|----------------------------|---------|---------|---------|
| Température au cœur | 34,2 °C | 33,5 °C | 32,8 °C |
| Température en surface | 30,6 °C | 29,6 °C | 29,5 °C |
| Température réelle d'essai | 32,4 °C | 31,6 °C | 31,2 °C |

Cette variation de température fait que nous privilégierons les essais à 20°C, parfaitement stabilisés, pour l'identification du modèle VENL.

IV.3. Validation du dispositif

Nous avons pu, grâce à ce nouveau dispositif et au changement du système d'acquisition, obtenir un essai œdométrique fiable nous permettant de mesurer les déformations réversibles des enrobés à froid. Dans le but de valider l'ensemble du système (cellule et chaîne de mesures), des essais ont été réalisés sur deux matériaux et dans deux configurations : un matériau polymère (un polyoxyméthylène ou Delrin®) dont le module se rapproche d'une GE murie, testé en compression simple (non confinée) et un enrobé à chaud (BBSG), testé en conditions œdométriques. Les caractéristiques viscoélastiques de l'enrobé ont été déterminées par des essais de module et de coefficient de Poisson complexes antérieurs (Juliette SOHM [59]). Les composants (granulats, bitume) étaient tous encore disponibles, afin de faire une fabrication à l'identique.

Pour rappel, la valeur de module complexe œdométrique E_{oedo}^* peut être calculée à partir de la valeur du module complexe E^* utilisé pour la caractérisation des performances mécaniques des enrobés à chaud en utilisant la relation suivante :

$$|E_{oedo}^*| = \frac{(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} |E^*| \quad \text{Equation 209}$$

ν , souvent pris comme égal à 0,35, pouvant être aussi un coefficient complexe, dépendant de la fréquence et de la température.

IV.3.1. Essai sur Delrin®

Le Delrin® ou polyoxyméthylène (POM) est un matériau polymère élastique dont le module est proche de celui des enrobés à froid mûris, à savoir environ 4100 MPa. L'essai est réalisé dans le local thermo régulé soit à la température nominale de 20°C.

Dans le but de valider notre dispositif, une éprouvette de Delrin® parallélépipédique de dimensions $L \times l \times H$ 50x50x100 mm³ a été usinée. Deux jauges de déformations axiales ont été collées sur les deux faces latérales opposées de hauteur 100 mm et de largeur 50 mm (Figure 130 et Figure 131), en partie centrale d'éprouvette. Les jauges ont une longueur active de 10 mm et



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

sont connectées en demi-pont. La mesure de la déformation axiale moyenne est directement retranscrite par le Spider, après configuration de la voie de mesure.

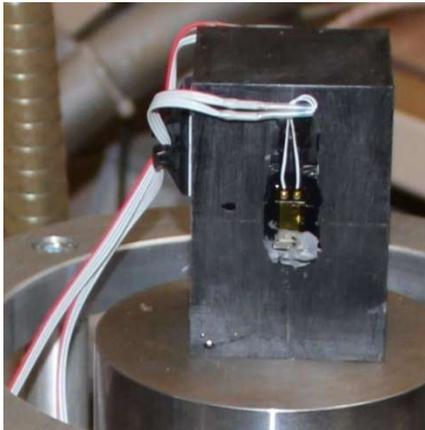


Figure 130 - Jauge 1 sur Delrin®.

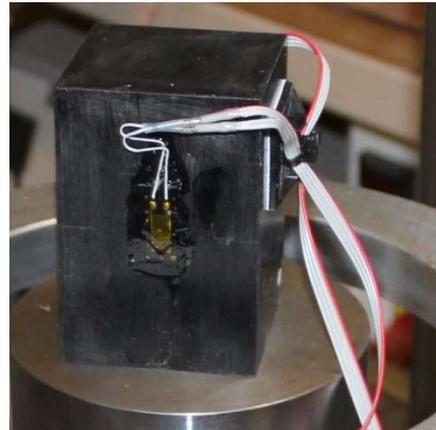


Figure 131 - Jauge 2 sur Delrin®.

Pour les essais, le Delrin® est posé sur le support inférieur, le casque puis le support supérieur sont placés au-dessus. La mesure de déplacement par notre dispositif modifié avec les LVDT se fait simultanément avec la mesure de déformation par jauges, par l'intermédiaire du Spider.



Figure 132 - Mesure en compression simple sur Delrin®.

Les essais ont été réalisés à quatre niveaux de force (2,3 kN, 4,6 kN, 9 kN, et 13,6 kN) et trois fréquences (0,1 Hz, 1 Hz et 3 Hz). De plus, ces modalités d'essais ont été répétées sur la même éprouvette en lui faisant faire une rotation de 90° sur la cale support.

Le calcul du module à partir de la mesure par les LVDT, après application de la correction des déplacements à vide, aboutit à un module moyen de 4117 MPa, avec un écart-type de 250 MPa, pour les trois derniers niveaux de chargement ce qui est tout à fait satisfaisant. Cette valeur moyenne de module ne prend pas en compte les valeurs mesurées à 2,3 kN pour lesquelles la mesure de déplacement, bien que corrigée, semble surévaluée et conduit à une valeur moyenne de 2420 MPa.



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

En parallèle, les mesures par jauges d'extensométrie conduisent à un module moyen de 4110 MPa avec une très bonne répétabilité puisque l'écart type est de seulement 37 MPa. Les résultats d'essais sont présentés en annexe 12.

Lors de la présentation de nos résultats sur grave émulsion, chapitre V, seuls les résultats des essais effectués à 4,6 kN et 9 kN seront exploités, car les essais à 2,3 kN semblent être affectés d'une trop grande incertitude de mesure des déplacements à l'état mûri. Pour rappel, nous n'avons pas réalisé d'essai à 13,6 kN afin de ne pas excéder, au jeune âge, le niveau de déformation axiale de mille microdéformations, posé comme la limite à ne pas franchir.

IV.3.2. Essai sur BBSG

IV.3.2.1. Description du matériau

Le BBSG est composé de bitume 50/70 et de granulats 0/10 semi-concassés de diorite « La Noubleau ». Sa teneur en liant externe est de 5,50 ppc (parties pour cent en masse de liant par rapport à la masse des granulats).

Caractéristiques des granulats :

Ce mélange granulaire utilise les fractions granulaires suivantes : 0/2, 2/4, 4/6 et 6/10 mm et des fines calcaire dont les proportions massiques sont :

- Fines : 2,5 %
- Granulats 0/2 : 27,0 %
- Granulats 2/4 : 10,0 %
- Granulats 4/6 : 25,0 %
- Granulats 6/10 : 35,5 %

L'analyse granulométrique de chacune des fractions est faite conformément à la norme NF EN 933-1 [56], la recombinaison granulaire obtenue est présentée dans le Tableau 15.

Tableau 15 - Analyses granulométriques.

| Tamis (mm) | Pourcentage de passants | | | | | |
|---------------|-------------------------|-----|-----|-----|------|---------|
| | Fines | 0/2 | 2/4 | 4/6 | 6/10 | Mélange |
| 12,50 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 10,00 | 100 | 100 | 100 | 100 | 87 | 95 |
| 8,00 | 100 | 100 | 100 | 100 | 42 | 79 |
| 6,30 | 100 | 100 | 100 | 87 | 12 | 66 |
| 5,00 | 100 | 100 | 93 | 47 | 2,5 | 51 |
| 4,00 | 100 | 100 | 88 | 14 | 1,3 | 42 |
| 3,15 | 100 | 100 | 58 | 9,8 | 1,0 | 38 |



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

| | | | | | | |
|-------|-----|----|-----|-----|-----|-----|
| 2,00 | 100 | 96 | 7,1 | 6,3 | 0,9 | 31 |
| 1,00 | 100 | 64 | 1,1 | 5,0 | 0,7 | 21 |
| 0,50 | 100 | 45 | 0,7 | 3,8 | 0,7 | 16 |
| 0,25 | 100 | 32 | 0,2 | 2,4 | 0,6 | 12 |
| 0,125 | 97 | 23 | 0,2 | 1,6 | 0,5 | 9,2 |
| 0,063 | 84 | 17 | 0,2 | 1,1 | 0,3 | 7,1 |

Fabrication :

Les granulats sont pesés, chauffés à 150°C +/- 5 °C puis placés dans le malaxeur et mélangés dans le malaxeur pendant 30 secondes. On ajoute alors la quantité désirée de bitume préalablement chauffé à 150°C +/- 5 °C avant de malaxer encore pendant 2 minutes.

La masse d'enrobé désiré est alors placée dans deux moules Duriez préalablement chauffés, l'ensemble étant remis en étuve à 150°C +/- 5 °C pendant au moins une demi-heure. Le matériau est alors compacté en compression double effet (comme les éprouvettes d'enrobé à froid) afin d'obtenir la compacité visée de 95 % (teneur en vides de 5 %).

En plus de ces deux éprouvettes, nous avons également réalisé une plaque d'enrobés L 500 x l 180 x H 150 mm³ compactée au compacteur de plaques, à la même compacité visée.

IV.3.2.2. Résultats des essais de flexion 2 points

Des essais de module complexe, conformément à la norme NF EN 12697-26 [25] ont été réalisés sur quatre éprouvettes trapézoïdales sciées à partir de la plaque après mûrissement à 20 °C et 45 % d'HR. Cet essai est réalisé en flexion 2 points (2PBT) à la température de 20 °C et à trois fréquences (3, 6 et 10 Hz). La formule du BBSG et les résultats d'essais sont présentés en annexe 13.

Tableau 16 - Mesure de module par l'essai de flexion 2 points.

| | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|
| Fréquences | 3 Hz | 6 Hz | 10 Hz |
| Module mesuré (MPa) | 5 186 | 6 400 | 7 255 |

Les résultats sur ce même BBSG lors de la fabrication antérieure, issus des travaux de Juliette Sohm, sont présentés sous la forme d'une courbe maitresse à 20 °C, Figure 133 et Tableau 17.



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

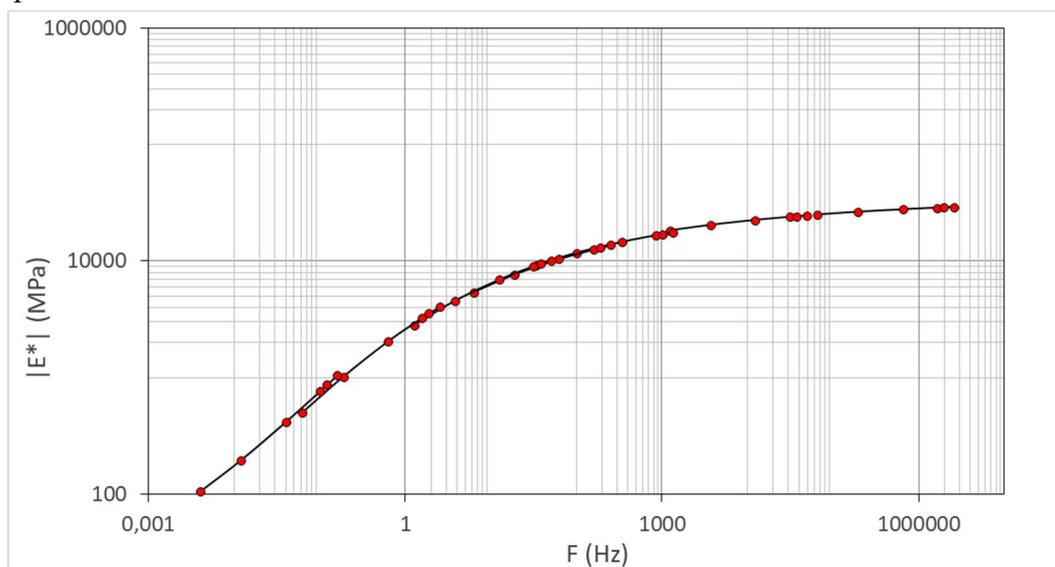


Figure 133 – Courbe maîtresse du BBSG à 20°C (d'après Juliette Sohm).

Tableau 17 - Données sur le module complexe (d'après Juliette Sohm).

| Fréquences | 0,1 Hz | 1 Hz | 3 Hz | 6 Hz | 10 Hz |
|------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Norme du module mesuré (MPa) | 871 | 2 830 | 4 560 | 5 800 | 6 954 |
| Ecart type | 13 | 25 | 29 | 42 | 55 |

En comparant les résultats obtenus pour les deux fabrications, nous pouvons constater des valeurs moyennes de norme de module supérieures pour notre recombinaison, l'augmentation n'excédant néanmoins plus de 5 %.

Sachant que notre formulation est similaire à celle du matériau utilisé dans les travaux de Juliette Sohm, nous supposons que le coefficient de Poisson de notre formulation peut, en première approximation, être confondu avec celui du BBSG de référence, sans mettre en œuvre des essais supplémentaires. Dans la thèse de Sohm [59], l'un de ses graphiques présente l'évolution du coefficient de Poisson avec le nombre de cycle de chargement lors d'essais de compression cyclique à 20 °C. La valeur moyenne du coefficient de Poisson trouvé lors de cet essai est de 0,51 avec un écart type de 10,4 %. Hors dans notre cas, nous ne faisons subir à notre matériau qu'une centaine de cycles c'est pourquoi nous avons pris la valeur de coefficient de Poisson de ce graphique pour 100 cycles et nous trouvons un coefficient de Poisson de 0,4. Par conséquent, les valeurs de module édométrique théorique que nous devons retrouver lors de nos essais en utilisant les valeurs de module complexe et de coefficient de Poisson de la thèse de Sohm sont alors calculées à partir de l'Equation 209 et sont présentées Tableau 18.



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

Tableau 18 - Module œdométrique théorique (à partir des résultats de Juliette Sohm).

| Fréquences | 0,1 Hz | 1 Hz | 3 Hz | 6 Hz | 10 Hz |
|------------------------------------|--------|-------|-------|--------|--------|
| Module œdométrique théorique (MPa) | 1 866 | 6 064 | 9 771 | 12 429 | 14 901 |

IV.3.2.3. Résultats des essais œdométriques

Dans un deuxième temps, nous avons testé le BBSG en configuration œdométrique à 20 °C pour deux amplitudes de force de compression, initialement fixées à 10 kN et 20 kN afin d'obtenir des déformations du même ordre de grandeur que celui de l'enrobé à froid mûri. En effet, à 10 kN, nous obtenons une déformation du BBSG de l'ordre de 180 $\mu\text{m}/\text{m}$. En revanche, à 20 kN, la valeur visée de 360 $\mu\text{m}/\text{m}$ dépasse très nettement le seuil du comportement viscoélastique linéaire et les effets de non linéarité conduisent à une déformation de l'ordre de 200 $\mu\text{m}/\text{m}$. Pour comparer les résultats obtenus lors des essais 2PBT et les essais œdométriques, seuls les essais effectués à 10 kN seront pris en compte.

Les essais sont réalisés à différentes fréquences et les valeurs de norme de module sont calculées à partir des cycles de chargement stabilisés. Les résultats en termes de déplacement et de module sont présentés Figure 134 et Figure 135. Les valeurs de déplacement et de module théoriques, issues des travaux de Sohm sont représentées en orange. Les valeurs de déplacement et de module avant de déduire les mesures de déplacement « à vide » sont représentées en bleu. Et enfin, en gris, sont reportées les valeurs de déplacement et de module une fois les valeurs de déplacement corrigées, au sens du paragraphe 2.4.1.

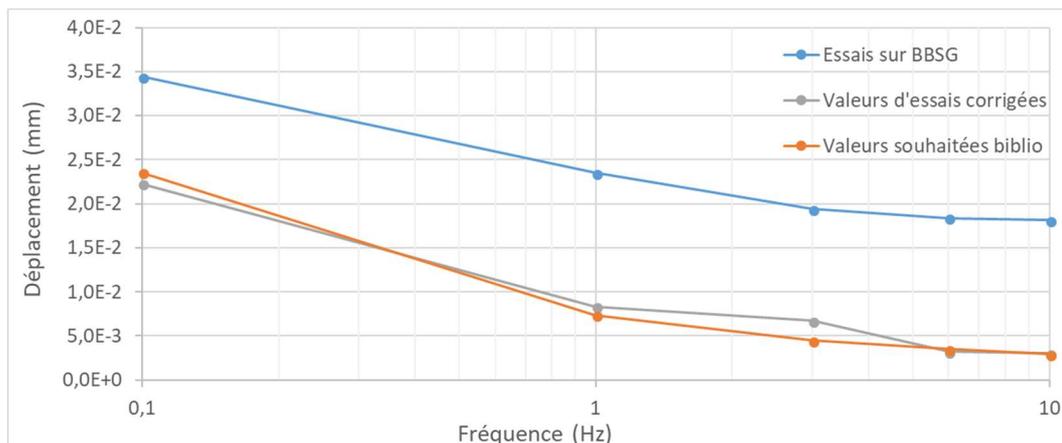


Figure 134 - Mesure de l'amplitude de déplacement du BBSG.



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

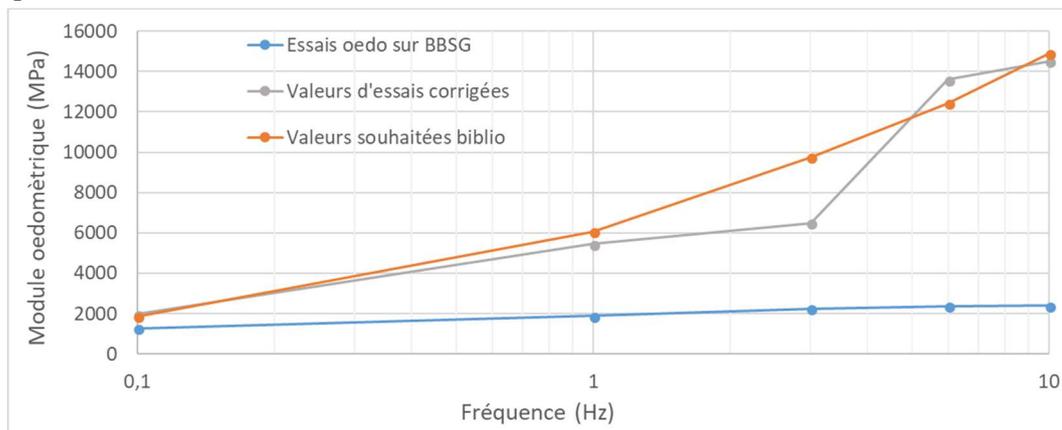


Figure 135 -Module œdométrique $|E_{oedo}^*|$ du BBSG.

Du point de vue déplacement, nous pouvons voir que les résultats obtenus à partir de l'essai œdométrique sont très proches des valeurs souhaitées. En effet nous avons 0,1 à 2 micromètres d'écart entre les valeurs obtenues par l'essai œdométrique et les valeurs de référence, ce qui est plus que satisfaisant. En ce qui concerne les valeurs de module d'un matériau comme un BBSG, un écart ne serait-ce que d'un micromètre implique une erreur significative sur le calcul du module. Cet effet est beaucoup moins préjudiciable pour un matériau tel qu'un enrobé à l'émulsion, dont le module reste toujours plus faible. En effet, dans le cas d'un BBSG testé à 10 Hz, un micromètre d'écart sur la mesure du déplacement induit, dans la configuration testée (élancement $\frac{1}{2}$), une erreur de 1 200 MPa. Un micron d'écart sur la mesure de déplacement sur un enrobé à l'émulsion mûri n'induit qu'une erreur de 60 MPa. Il convient aussi de se référer, paragraphe 2.4.1, à la correction proposée et à ses incertitudes. L'essai sur BBSG est un cas limite, il peut mettre en évidence les limites de mesure et l'influence de leurs incertitudes.

En plus de la norme du module œdométrique, nous avons mesuré le déphasage entre le signal de la contrainte axiale imposée (qui sera notre référence) et sa réponse en déformation. La Figure 136 montre l'évolution de ce déphasage avec la fréquence, à 20 °C.

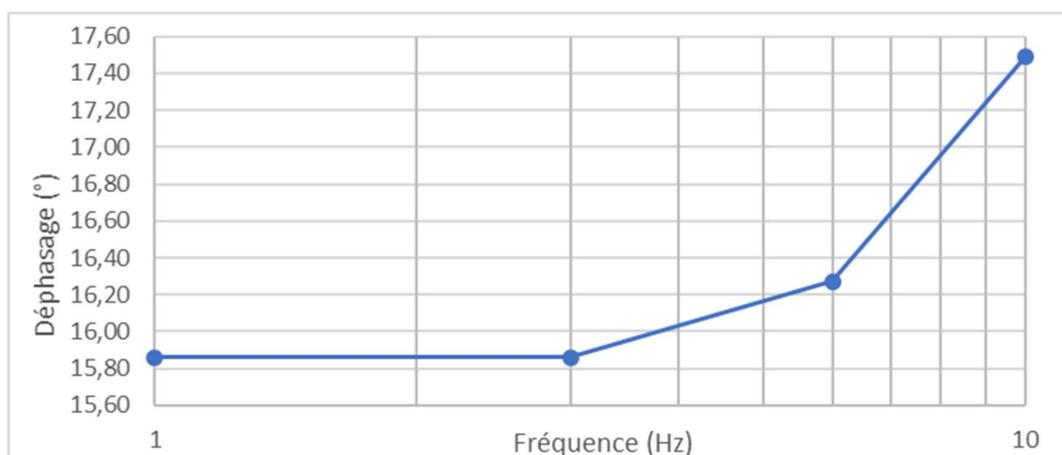


Figure 136 – Evolution de déphasage avec la fréquence – Essais œdométrique à 20 °C, 10 kN.



Chapitre IV. Développement et validation d'un essai de caractérisation du comportement mécanique évolutif des enrobés à l'émulsion

Nous pouvons voir sur ce graphe que le déphasage augmente avec la fréquence alors que nous sommes habitués à une évolution décroissante de l'angle de phase avec la fréquence lors d'un essai en condition uniaxiale. Il s'agit là d'un effet de l'essai œdométrique sur la mesure du déphasage. Effet que l'on retrouvera bien sûr également sur les résultats d'essai sur enrobé à l'émulsion.

IV.4. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de valider l'utilisation de l'essai œdométrique et de son dispositif. Comme nous avons pu le voir sur le test sur des matériaux connus comme le BBSG et le Delrin®, les mesures de déplacement par les LVDT sont celles attendues pour chacun des matériaux. Au vu des valeurs de module qu'atteignent les enrobés à l'émulsion, nous considérons que l'erreur de mesure de déplacement est négligeable et n'influence que très peu les résultats de module.

Passons maintenant au chapitre suivant traitant de l'essai de mûrissement et des résultats d'essais œdométriques lors de campagne de mûrissement en température et en humidité. Ce chapitre sera également consacré au calage et à la validation du modèle utilisant les résultats de la première campagne d'essais.





Chapitre V. Résultats des différentes campagnes d'essais et mise en œuvre du modèle

V.1. Introduction

Dans ce chapitre, les résultats d'essais des trois campagnes expérimentales sont présentés. Lors de ces campagnes, deux matériaux différents ont été testés. Par matériau, nous allons décrire les essais de mûrissement propres à chaque campagne. Nous présenterons ensuite les résultats d'essais de ces campagnes. Une partie de ces résultats a servi au calage des paramètres du modèle VENL 3D que nous présenterons en fin de chapitre afin de vérifier la pertinence de notre modèle.

V.2. Description et résultats des campagnes d'essais 1 et 2 sur un enrobé à l'émulsion « classique »

V.2.1. Matériau utilisé

Les campagnes d'essais 1 et 2 utilisent la même formulation d'enrobé à l'émulsion basée sur le mélange d'une émulsion 40/60 et de granulats 0/14 dont la formulation est explicitée en annexe 14. Ces derniers sont de nature silico calcaire et proviennent de la carrière de Mauzac (44). Ce mélange utilise les fractions granulaires suivantes : 0/2, 2/6.3, 6.3/10 et 10/14 mm dont les proportions sont :

- Granulats 0/2 : 45 %
- Granulats 2/6.3 : 15 %
- Granulats 6.3/10 : 20 %
- Granulats 10/14 : 20 %

L'analyse granulométrique permet à l'aide de tamis de déterminer la composition d'un matériau et de connaître le pourcentage de chacune des fractions. Cet essai est fait conformément à la norme NF EN 933-1 [56], la recombinaison granulaire obtenue est présentée dans le Tableau 8 et Figure 137. La recombinaison est le mélange des différentes classes granulaires permettant d'obtenir la courbe granulaire souhaitée.

Tableau 19 - Analyses granulométriques.

| Tamis (mm) | Pourcentages passants | | | | |
|---------------|-----------------------|-------|--------|-------|---------|
| | 0/2 | 2/6,3 | 6,3/10 | 10/14 | Recompo |
| 20,00 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 16,00 | 100 | 100 | 100 | 99 | 99,8 |
| 14,00 | 100 | 100 | 100 | 82 | 96,4 |
| 12,50 | 100 | 100 | 100 | 48 | 89,6 |



Chapitre V. Résultats des différentes campagnes d'essais et mise en œuvre du modèle

| | | | | | |
|-------|------|-----|-----|-----|------|
| 10,00 | 100 | 100 | 85 | 9 | 78,8 |
| 8,00 | 100 | 99 | 43 | 5 | 69,5 |
| 6,30 | 100 | 89 | 14 | 3 | 61,7 |
| 5,00 | 100 | 63 | 8 | 1 | 56,2 |
| 4,00 | 100 | 43 | 4 | 0,2 | 52,3 |
| 3,15 | 100 | 21 | 1 | 0,2 | 48,4 |
| 2,00 | 87 | 4 | 0,2 | 0,2 | 39,8 |
| 1,00 | 59 | 2 | 0,2 | 0,2 | 26,9 |
| 0,50 | 40 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 18,3 |
| 0,25 | 27 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 12,4 |
| 0,125 | 20 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 9,3 |
| 0,063 | 12,7 | 1,3 | 0,2 | 0,2 | 6 |

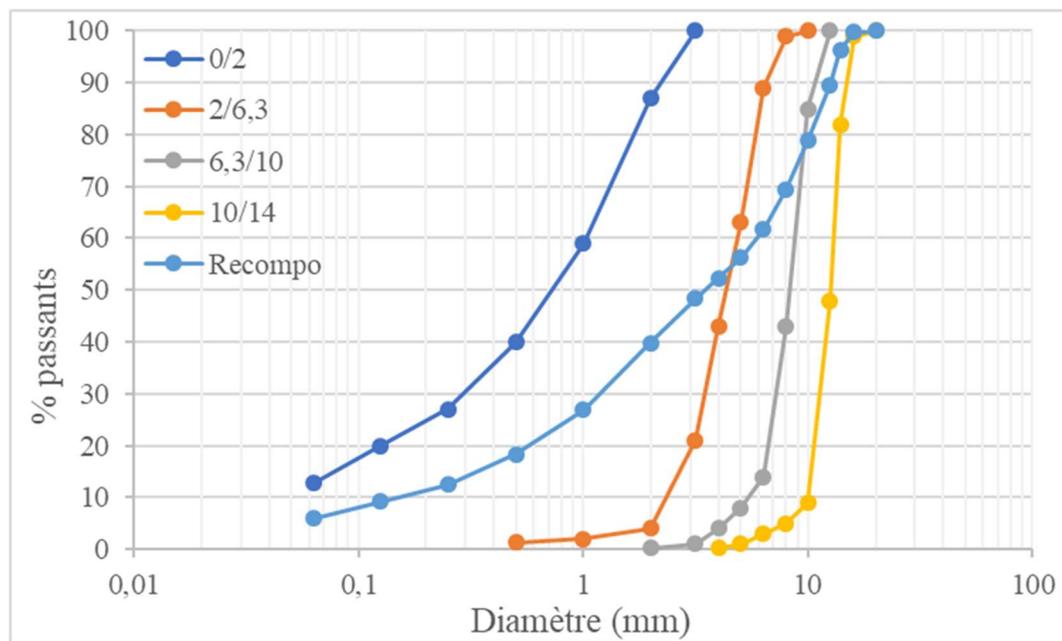


Figure 137 - Courbes granulométriques.

Les granulats sont pesés, placés dans le malaxeur avec l'eau d'ajout avant d'être malaxés pendant 30 secondes. On ajoute alors la quantité désirée d'émulsion avec un temps de malaxage de 2 minutes.

La quantité d'enrobé désirée est alors placée dans chacun des moules œdométriques de 0,5 d'élanement pour obtenir une compacité visée de 15 % de vides.



V.2.2. Essai de mûrissement

V.2.2.1. Principe général des campagnes d'essais

Pour comprendre le comportement des enrobés à l'émulsion, nous avons combiné deux essais : l'essai de mûrissement et l'essai œdométrique. L'essai de mûrissement consiste à faire murir des éprouvettes de matériau à une température et une hygrométrie choisie dans des enceintes thermo et hygro-régulées. Cette phase permet de reproduire le mûrissement que subit le matériau sur chaussée.

En plus de cet essai de mûrissement, les éprouvettes sont ponctuellement et à diverses reprises, soustraites à leurs conditions de mûrissement, afin de les soumettre à l'essai œdométrique et mesurer ainsi l'évolution de leur rigidité en fonction du temps. Les essais œdométriques sont effectués pour leur part à différentes fréquences et températures d'essai, non nécessairement égales aux températures de mûrissement. (cf. chapitre IV).

V.2.2.2. Campagne d'essais 1 : mûrissement à différentes températures

Dans un premier temps, l'effet de la température de mûrissement sur l'évolution des performances mécaniques de l'enrobé à l'émulsion est évaluée. Trois températures ont été testées, à savoir 15°C, 20°C et 35°C. Pour chaque température, cet essai consiste à faire mûrir deux éprouvettes d'enrobé à l'émulsion dans des enceintes climatiques thermorégulées sous une humidité relative constante de 45%. Les éprouvettes ont été régulièrement testées sous conditions œdométriques, dont l'essai a été présenté en chapitre IV.

Les deux éprouvettes mûries à 20°C sont placées en mûrissement à l'intérieur de boîtes hermétiques avec une solution de carbonate de potassium permettant de contrôler l'humidité relative et de la stabiliser à 43 %. Ces boîtes sont alors placées dans la salle d'essais thermorégulée à 20°C. Ces éprouvettes sont conservées en mûrissement dans ces boîtes et sont juste sorties afin d'être testées sous conditions œdométriques aux trois températures d'essai.

Le mûrissement étant plus rapide les premières semaines, la fréquence d'essais est de 3 fois par semaine pour les trois premières semaines puis sera de moins en moins fréquente par la suite, et ce, selon le planning présenté Figure 138.



Chapitre V. Résultats des différentes campagnes d'essais et mise en œuvre du modèle

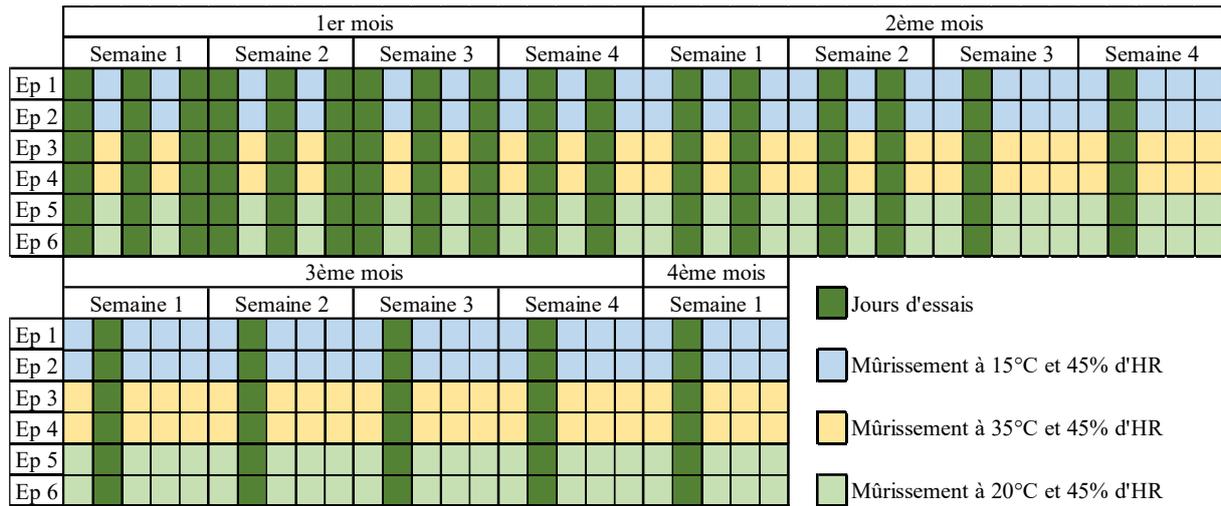


Figure 138 - Planning d'essais durant le mûrissement en température.

Au final, les quatre premières éprouvettes ont été mûries pendant 84 jours, les deux dernières ont été mûries un peu plus longtemps à savoir 112 jours et ont toutes été testées à intervalle régulier avant de passer à la campagne suivante de mûrissement en hygrométrie.

La Figure 139 montre l'enchaînement des essais œdométriques aux températures de 15°C, 20°C et 35°C. Des mesures de la température au cœur de l'éprouvette (en plus de celles présentées chapitre IV partie 2.2.2) ont permis de déterminer qu'en partant de 15 °C, il fallait 2 heures pour que la température au cœur de l'éprouvette se stabilise à 20°C. Par le même procédé, 3 heures sont nécessaires pour passer de 20 °C à 35 °C et 3 heures pour redescendre de 35 °C à 15 °C à cœur. Comme présenté sur ce graphique, chaque éprouvette est testé une fois par températures durant la journée d'essais. La répétabilité des mesures se fait grâce à l'utilisation de deux éprouvettes par condition de mûrissement.

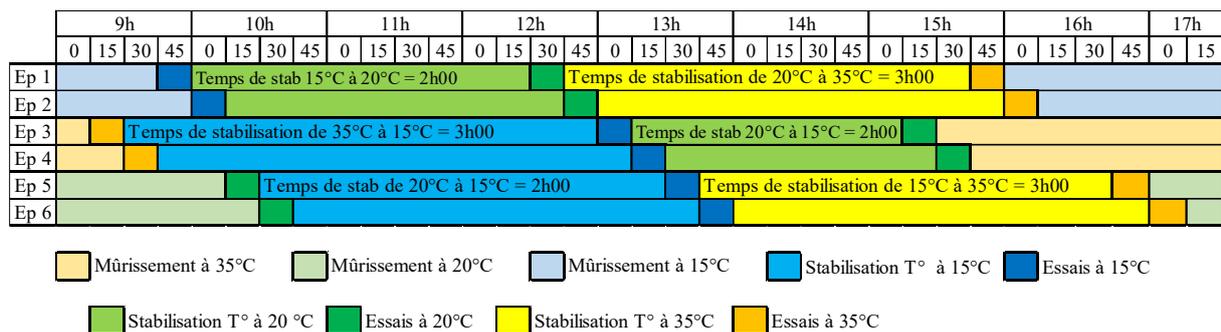


Figure 139 - Planning d'un jour d'essais lors de la première campagne.

En fin d'essais, la teneur en vides mesurée au banc gammadensimétrique pour chacune des éprouvettes permet de vérifier une valeur moyenne visée de 15%. Les valeurs sont présentées Tableau 20. La teneur en vides de l'éprouvette 3 n'a pas pu être mesurée car écrasée après 18 jours d'essais par une erreur de fonctionnement du dispositif de mise en charge.



Tableau 20 - Teneurs en vides éprouvettes campagne 1.

| Éprouvette | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------|--------|--------|---|--------|--------|--------|
| Teneur en vides | 14,5 % | 13,2 % | - | 15,3 % | 14,7 % | 13,4 % |

V.2.2.3. Campagne d'essais n°2 : mûrissement à différentes hygrométries

La deuxième campagne d'essai concerne l'effet de l'humidité sur la cinétique de mûrissement et sur l'évolution des performances mécaniques des enrobés. Lors de la première campagne d'essai, nous avons déjà la montée en résistante de l'enrobé à l'émulsion à 35°C et 45 % d'HR. À 35 °C, quatre éprouvettes sont conditionnées au mûrissement à deux humidités relatives distinctes, à savoir, deux à 20 % d'HR et deux à 70 % d'HR. Le planning de mûrissement est similaire à celui présenté pour la première campagne d'essais, Figure 140.

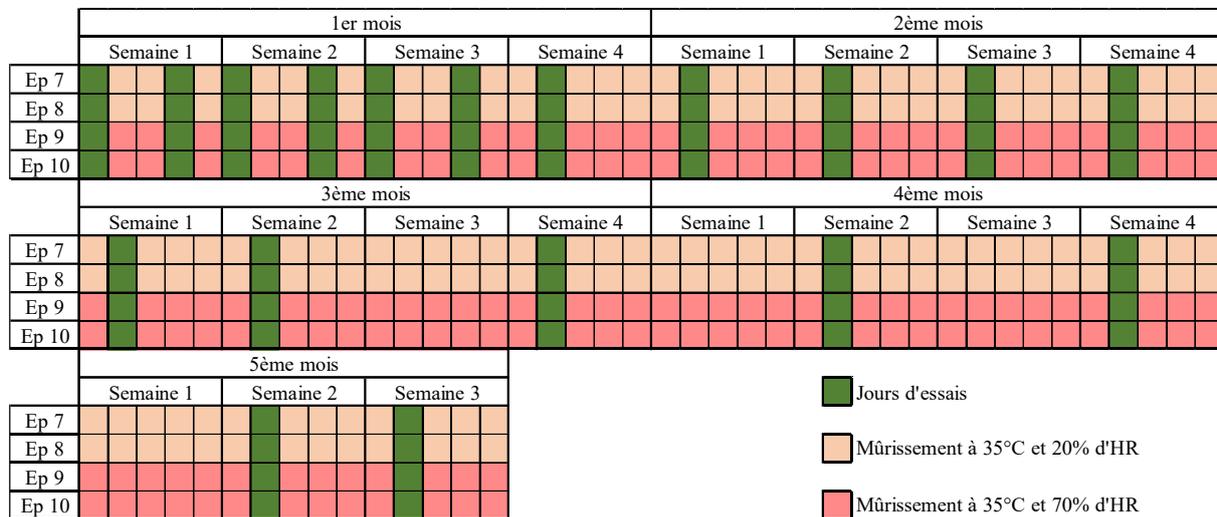


Figure 140 - Planning d'essais durant la campagne en hygrométrie.

La Figure 141 montre l'enchaînement au cours d'une journée des essais œdométriques aux températures de 15, 20 et 35 °C. Celui-ci tient compte des temps nécessaires à l'homogénéisation de la température au sein des éprouvettes. Des mesures complémentaires à celles présentées chapitre IV partie 2.2.2, ont ainsi permis de déterminer qu'en partant de 35 °C, il faut trois heures pour que la température au cœur de l'éprouvette se stabilise à 20 °C et qu'il fallait également 2h pour aller de 20 °C à 15 °C.

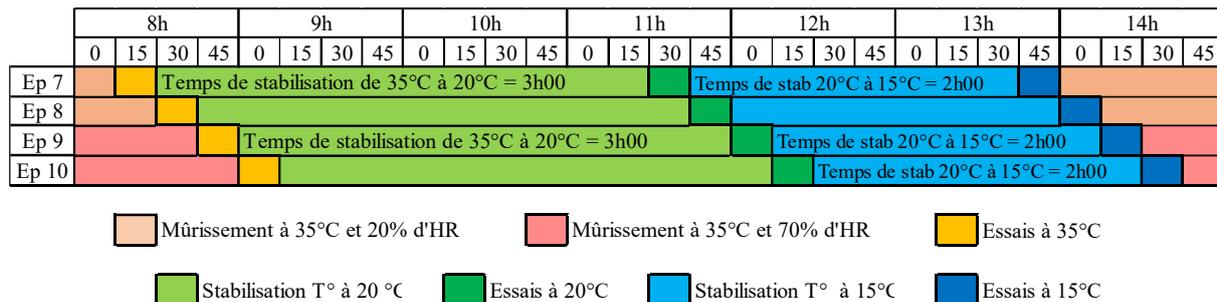


Figure 141 - Planning d'un jour d'essais lors de la deuxième campagne.



Les éprouvettes de cette campagne ont mûri durant 132 jours et ont également été testées au banc gammadensimétrique ; les teneurs en vides mesurées après mûrissement sont présentées Tableau 21.

Tableau 21 - Teneurs en vides éprouvettes campagne 2.

| Éprouvette | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| Teneur en vides | 12,1 % | 15,0 % | 14,1 % | 14,9 % |

La teneur en vides de l'éprouvette 7 est bien plus faible que les autres ; nous en verrons clairement l'impact sur les résultats de module œdométrique.

V.2.3. Résultats de l'essai de mûrissement et de l'essai œdométrique

Les annexes 15 à 23 présentent l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus, en termes de déformation, contrainte moyenne, module et déphasage pour les éprouvettes 1 à 6. Ces résultats pour les éprouvettes 7 à 10 sont présentés annexe 24 à 29.

Dans cette partie, nous allons présenter dans un premier lieu les effets de la température de mûrissement puis dans un deuxième temps des différentes modalités de l'essai œdométrique et enfin l'effet de l'humidité de mûrissement. Pour présenter les effets des modalités d'essai, nous allons voir les effets de la température d'essai, l'effet de la fréquence et l'effet de la force appliqué durant l'essai. Ces trois modalités vont nous permettre de voir le comportement évolutif du matériau de son comportement élastique non linéaire de matériau granulaire et de l'augmentation progressive de la viscosité dans son comportement.

V.2.3.1. Effet de la température de mûrissement

Regardons dans un premier temps l'évolution dans le temps du module œdométrique en fonction de la température de mûrissement et des températures (ponctuelles) d'essais. Pour rappel, il est attendu de façon générale, quelle que soit la loi de comportement d'un matériau, qu'un module mesuré en conditions œdométriques soit supérieur au module « classique » mesuré sous état de contrainte uniaxiale. Les résultats montrés Figure 142 sont tirés de la première campagne d'essais. Les figures a), b) et c) illustrent respectivement les valeurs de module œdométrique mesurées à 35, 20 et 15 °C.

Dans tout le manuscrit, nous parlons de module œdométrique qui est en réalité la norme du module œdométrique (= module de module œdométrique). Il est calculé en utilisant les amplitudes de déformation et de contrainte des derniers cycles stabilisés.

Des barres d'incertitudes ont été rajoutées à ces courbes afin de se rendre compte de la répétabilité des essais œdométriques. Quel que soit le graphe présenté, ces barres d'incertitudes représentent les valeurs minimum et maximum des résultats d'essais mesurés.



Chapitre V. Résultats des différentes campagnes d'essais et mise en œuvre du modèle

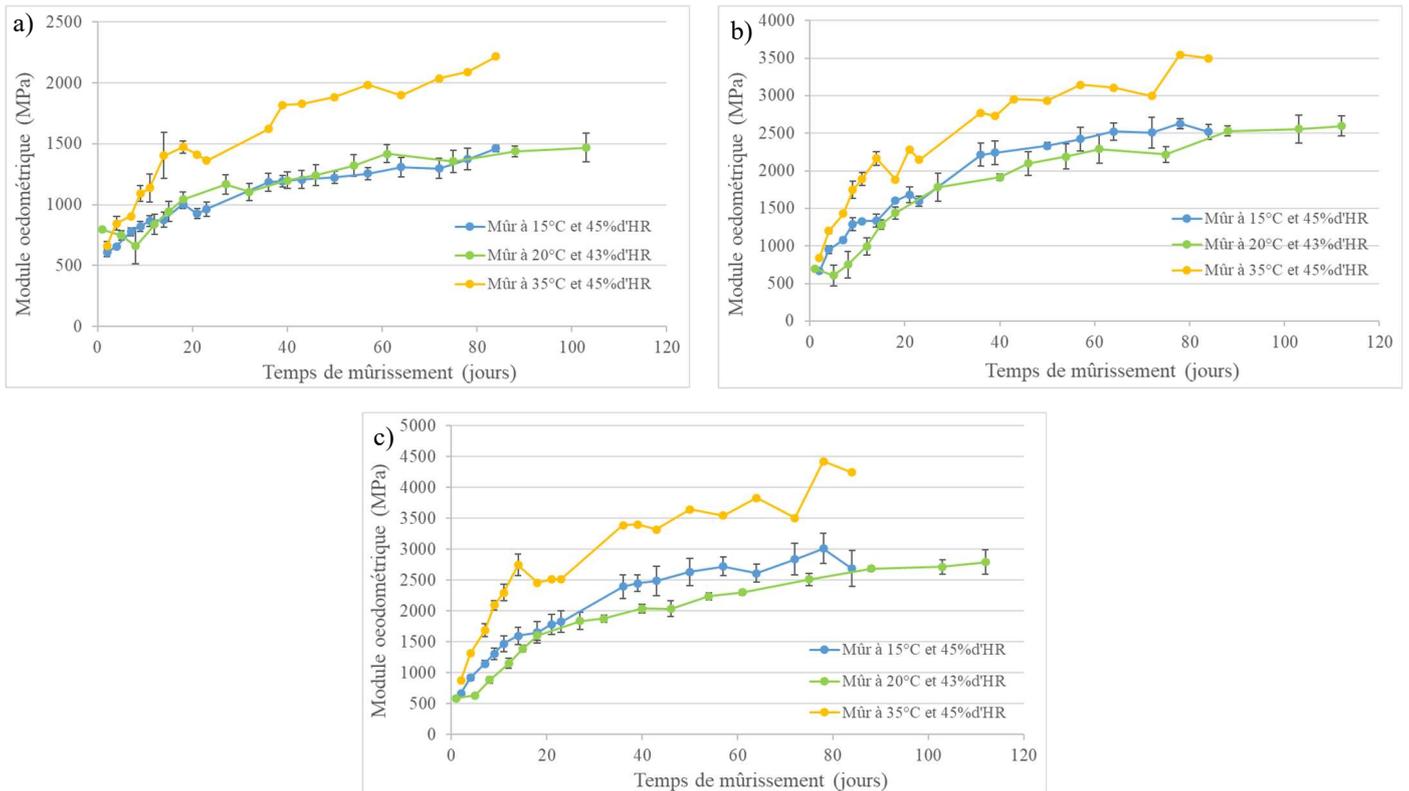


Figure 142 - Evolution du module en fonction de la température de mûrissement - Essais réalisés à 10 Hz et 9 kN - a) Essais à 35°C b) Essais à 20°C c) Essais à 15°C.

Tel qu'attendu, nous pouvons voir sur ces trois graphiques que le module oedométrique augmente avec le temps de mûrissement. Nous pouvons également observer que plus la température de mûrissement est élevée, plus le module oedométrique est grand.

Les éprouvettes mûries à 20°C n'ont pas mûri aussi vite que les autres éprouvettes. Il semblerait que l'absence de ventilation à l'intérieur des boîtes a certainement gêné les transferts hydriques et généré, au moins à court terme, une diminution du séchage de l'émulsion.

En ce qui concerne l'évolution du module des autres éprouvettes, plus la température de mûrissement est basse, plus grandes sont les performances de l'enrobé à l'émulsion. Bien que retardé, la courbe de mûrissement à 20°C va continuer d'évoluer pour atteindre, à long terme, des modules plus importants que ceux obtenus lors du mûrissement à 15°C. De plus, la température de mûrissement semble influencer la valeur finale de module. En effet, un enrobé à froid qui aurait mûri à 15°C toute sa vie, ne pourrait apparemment jamais atteindre des valeurs de module d'un même enrobé mûri à 35°C.

La Figure 143 montre l'évolution de déphasage dans le temps en fonction de la température de la température de mûrissement pour les 3 températures d'essais.



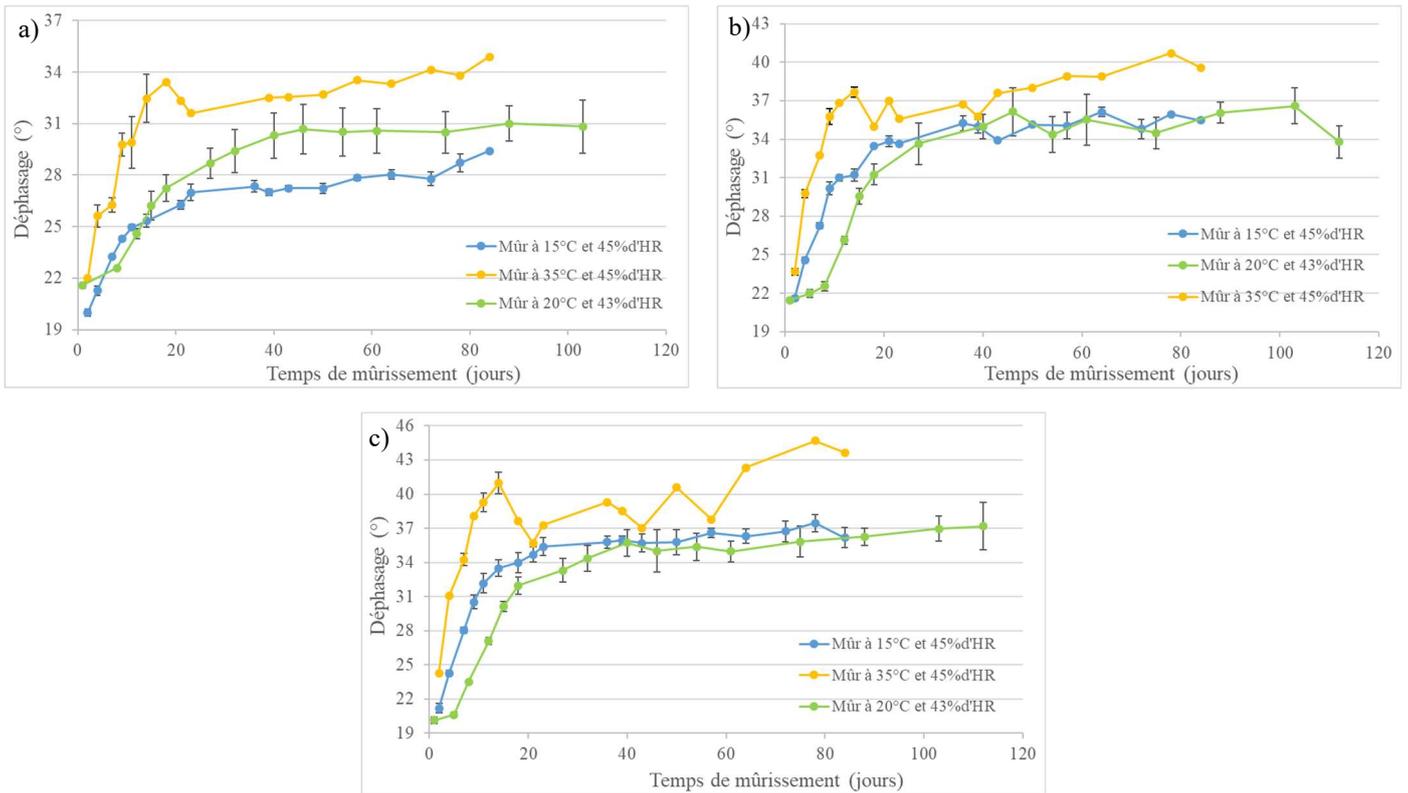


Figure 143 - Evolution du déphasage en fonction de la température de mûrissement - Essais réalisés à 10 Hz et 9 kN - a) Essais à 35°C b) Essais à 20°C c) Essais à 15°C.

Les résultats mettent en évidence que la cinétique d'évolution du déphasage est d'autant plus élevée que la température de mûrissement est grande. De plus, les asymptotes des courbes de mûrissement sont différentes. La température de mûrissement influencerait donc sur la valeur de module et le déphasage final de l'enrobé à froid.

V.2.3.2. Effet de la température d'essai œdométrique

La Figure 144 montre l'évolution du module dans le temps pour chacune des températures d'essais et pour chaque température de mûrissement à savoir la figure a) mûrissement à 35°C, b) mûrissement à 15°C.

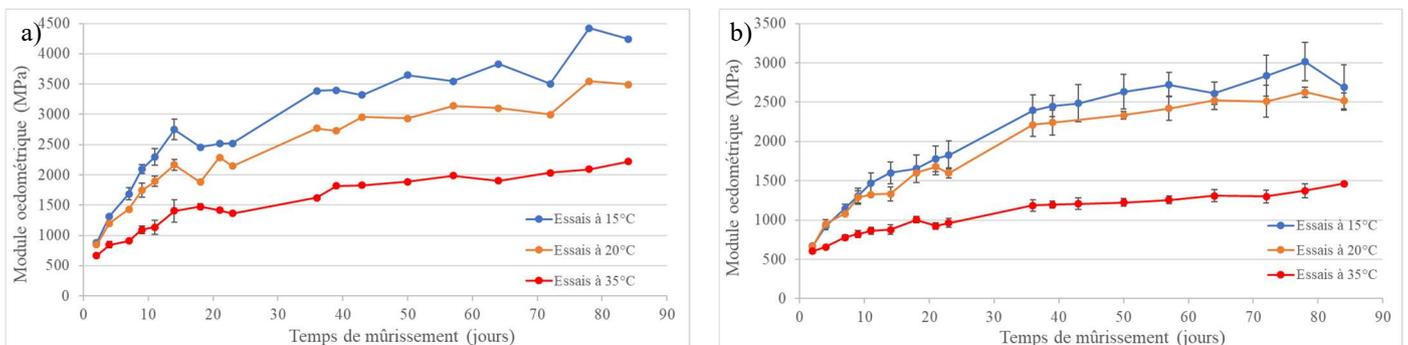


Figure 144 - Evolution du module en fonction de la température d'essai - Essais réalisés à 10 Hz et 9 kN - a) Mûrissement à 35°C et 45% d'HR b) Mûrissement à 15°C et 45% d'HR.



Le module augmente avec le mûrissement. De plus, le module est d'autant plus élevé que la température d'essai est basse.

Lors du premier jour d'essais œdométriques, correspondant à 2 jours de mûrissement, nous observons que les tous les graphes partent de la même valeur de module quelque soit la température d'essais. Le fait qu'il n'y ait pas d'effet de la température montre l'absence de viscosité dans le matériau ; viscosité qui devient de plus en plus présente avec le mûrissement traduisant l'influence croissante de la température d'essai sur les valeurs de module.

Les résultats sont complétés par l'évolution du déphasage, Figure 145. Au même titre que l'évolution des modules, plus la température d'essais est basse plus le déphasage est grand.

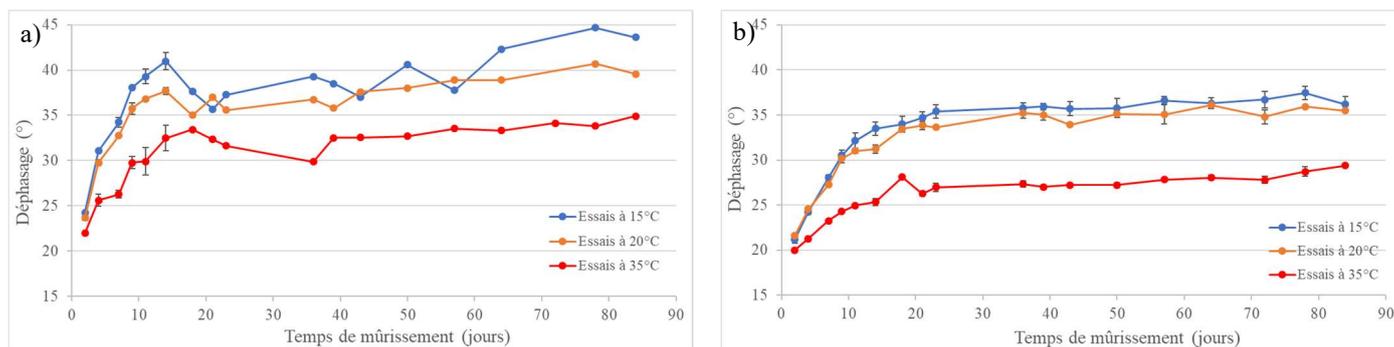


Figure 145 - Evolution du déphasage en fonction de la température d'essai - Essais réalisés à 10 Hz et 9 kN - a) Mûrissement à 35 °C et 45 % d'HR b) Mûrissement à 15 °C et 45 % d'HR.

Nous observons que plus la température d'essai œdométrique est basse plus le déphasage est grand.

V.2.3.3. Effet de la fréquence

Les éprouvettes mûries à 20 °C n'ayant pas les mêmes conditions de mûrissement que les autres à cause du problème de séchage, nous ne présenterons par la suite que les résultats d'essai sur les éprouvettes mûries à 15 °C et à 35 °C et 45 % d'HR.

Résultats du mûrissement à 35 °C et 45 % d'HR :

Les Figure 146 et Figure 147 montrent l'effet de la fréquence sur le comportement du matériau à différents moments de mûrissement. Parce qu'il est assez difficile de quantifier cet effet, nous avons choisi de normaliser les valeurs de module en prenant comme référence le module à 10 Hz, Figure 147.



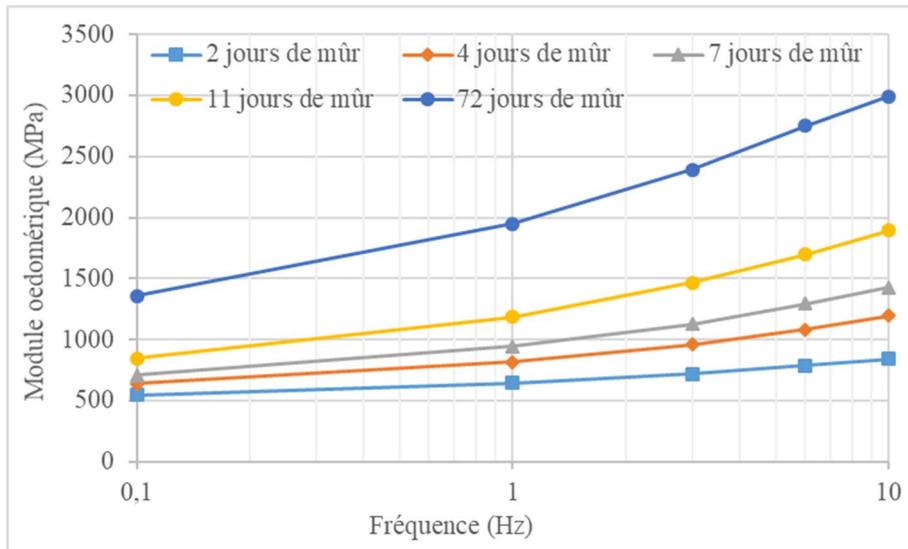


Figure 146 – Effet de la fréquence – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 35 °C et 45 % d'HR.

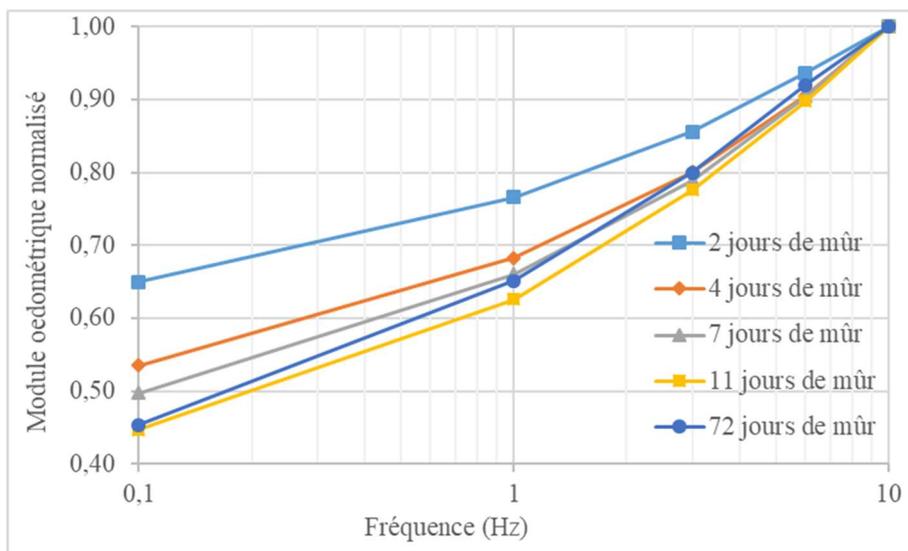


Figure 147 – Représentation normalisée de l'effet de la fréquence – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 35 °C et 45 % d'HR.

Nous pouvons voir de façon très claire que la dépendance de la fréquence sur le module du matériau augmente avec le mûrissement. En effet, plus la pente de chaque courbe est grande, plus l'écart entre les valeurs de module, aux différentes fréquences pour un stade de mûrissement donné, est important. Le faible écart entre modules visible à 2 jours de mûrissement est représentatif d'un comportement élastique non linéaire d'un matériau granulaire.

Les Figure 148 et Figure 149 représentent l'effet de la fréquence sur les valeurs de déphasage et ceux à plusieurs stades de mûrissement. Tout comme pour le module, la Figure 149 représente l'effet de la fréquence en normalisant les valeurs de déphasage et en prenant en référence la valeur à 10 Hz.



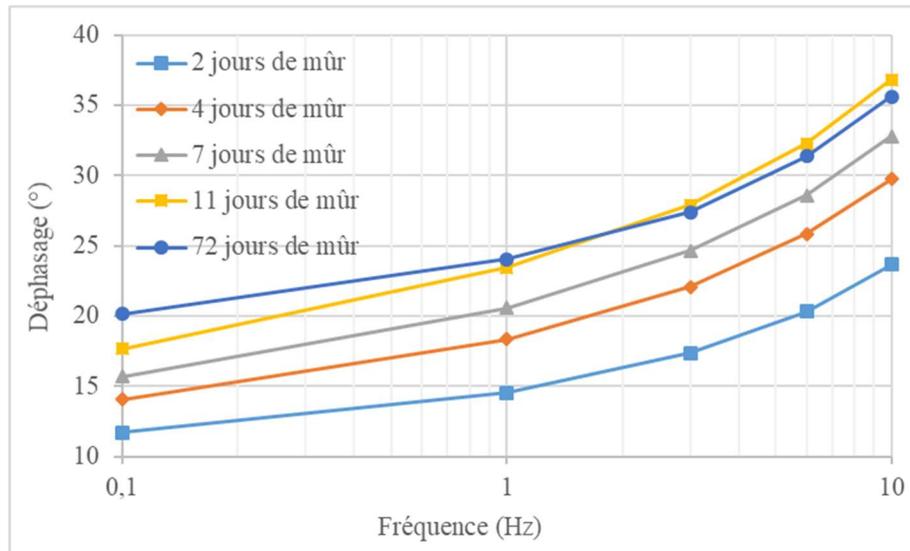


Figure 148 - Effet de la fréquence sur le déphasage – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 35 °C et 45 % d'HR.

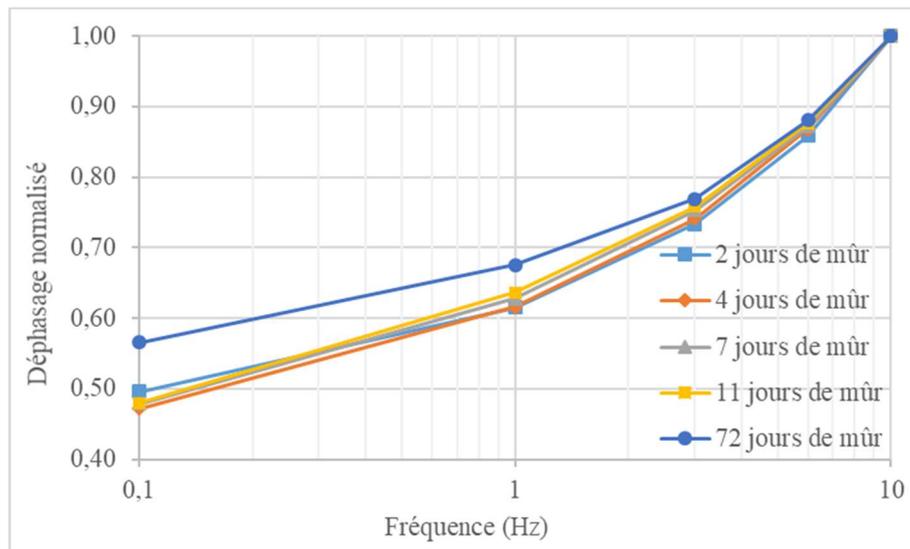


Figure 149 - Représentation normalisée de l'effet de la fréquence sur le déphasage – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 35 °C et 45 % d'HR.

Les résultats montrent qu'il y a très peu de variation de l'angle de phase pour les différents temps de mûrissements et que s'il y a une faible diminution, elle s'opère les tous premiers jours de mûrissement.

Résultats du mûrissement à 15 °C et 45 % d'HR :

Les Figure 150 et Figure 151 montrent l'effet de la fréquence sur les valeurs de module des éprouvettes mûries à 15 °C et 45 % d'HR.



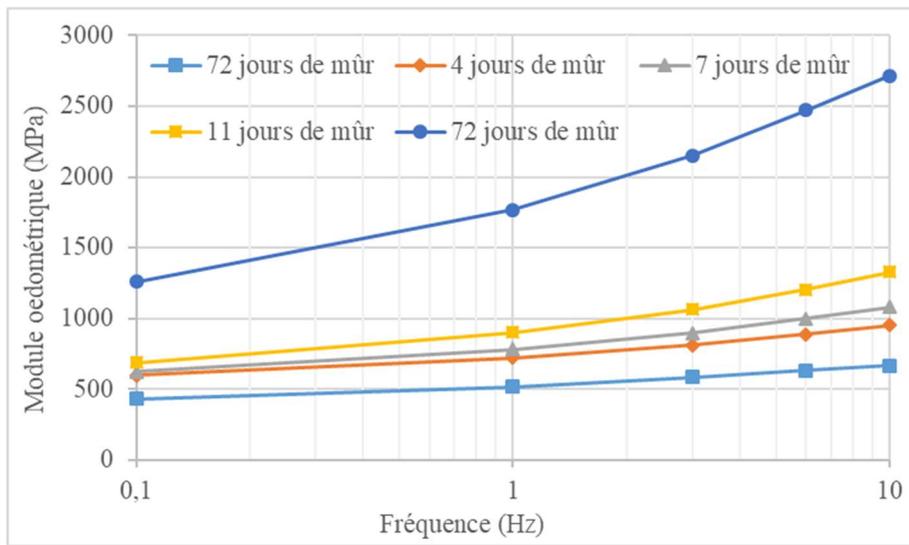


Figure 150 - Effet de la fréquence – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 15 °C et 45 % d'HR.

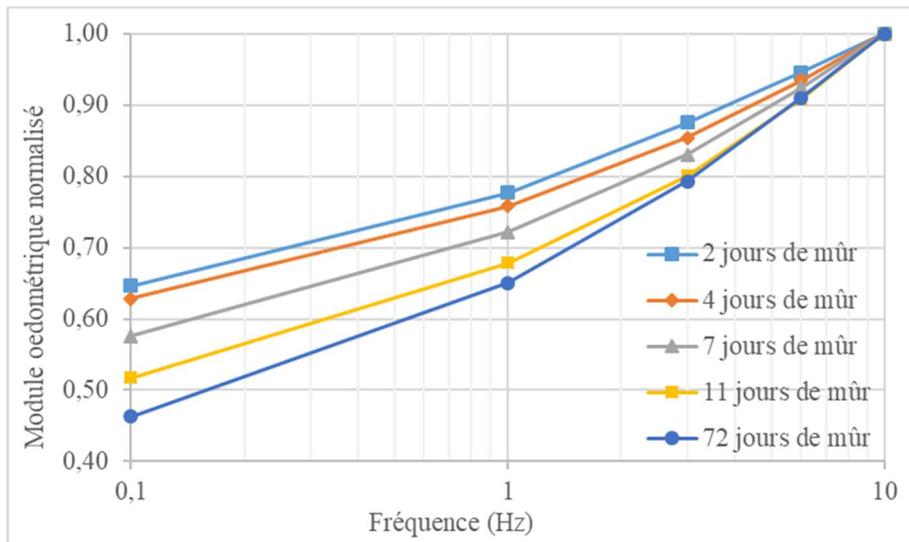


Figure 151 - Représentation normalisée de l'effet de la fréquence – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 15 °C et 45 % d'HR.

Comme nous avons pu le voir sur les éprouvettes mûries à 35 °C, l'effet de la fréquence sur le matériau augmente avec le mûrissement. De plus, nous pouvons voir que cet effet est moins rapide sur pour les éprouvettes précédentes.

Les Figure 152 et Figure 153 représentent l'effet de la fréquence sur les valeurs de déphasage et ceux à plusieurs stades de mûrissement pour les éprouvettes mûries à 15 °C et 45 % d'HR.



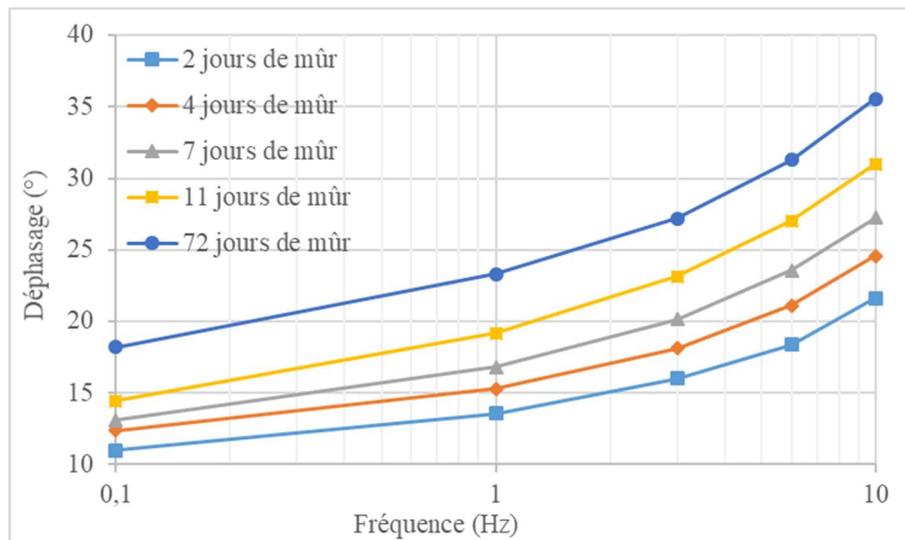


Figure 152 - Effet de la fréquence sur le déphasage – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 15 °C et 45 % d'HR.

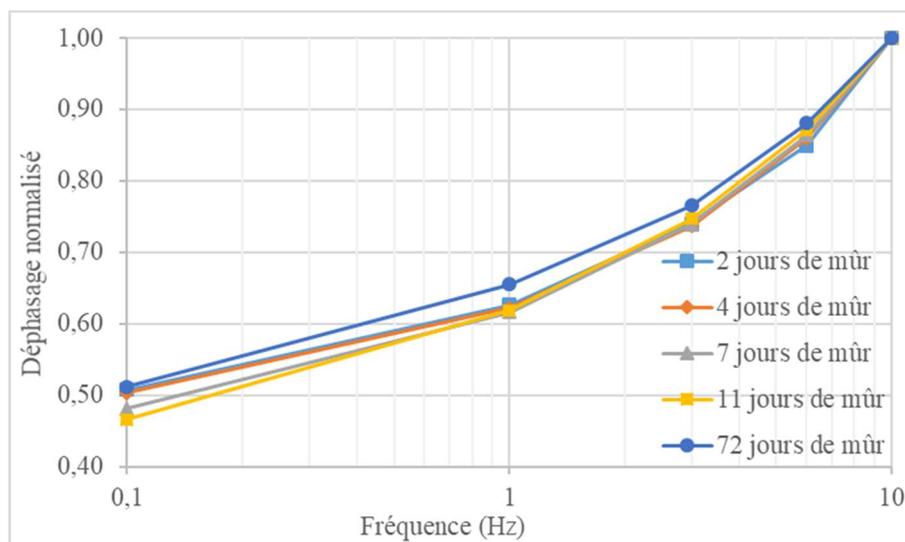


Figure 153 - Représentation normalisée de l'effet de la fréquence sur le déphasage – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 15 °C et 45 % d'HR.

Comme nous avons pu le voir sur les éprouvettes mûries à 35 °C, l'effet de la fréquence sur le déphasage n'évolue pas beaucoup et évolue encore moins rapidement.

V.2.3.4. Effet de la force appliquée durant l'essai œdométrique

Nous regardons ici, l'effet de la force sur le comportement du matériau dont le comportement au jeune âge est élastique non linéaire. De ce fait, le matériau devrait montrer une dépendance à la force au tout début de son mûrissement. Dépendance qui devrait diminuer avec le mûrissement car nous savons que les matériaux dont le comportement est viscoélastique comme les enrobés à chaud ne sont pas impacté par le niveau de force de sollicitation.



Résultats du mûrissement à 35 °C et 45 % d'HR :

Les Figure 154 et Figure 155 montrent l'effet de la force de sollicitation sur le comportement du matériau à différents stade de mûrissement. Comme pour la dépendance en fréquence, nous avons présenté deux graphes, l'un avec les valeurs de module réelles et l'autre avec les valeurs de module normalisées ayant pour référence la valeur à 9 kN.

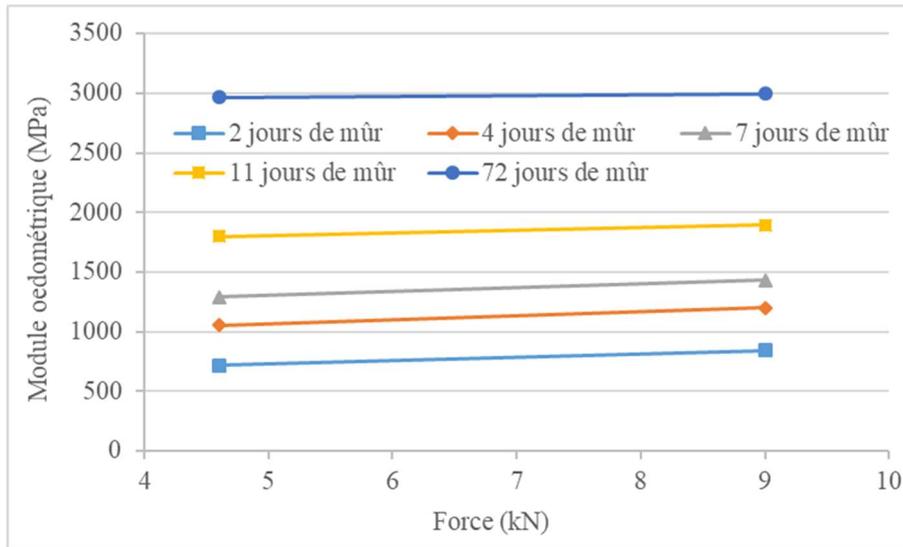


Figure 154 - Effet de la force – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 35 °C et 45 % d'HR.

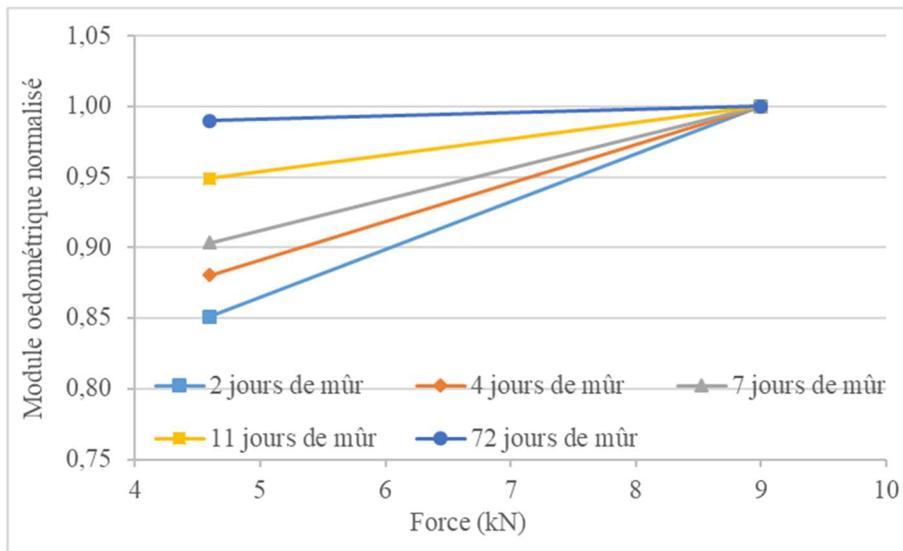


Figure 155 - Représentation normalisée de l'effet de la force – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 35 °C et 45 % d'HR.

Plus le mûrissement augmente, moins l'effet de la force sur le comportement du matériau est marqué. Cette observation est cohérente avec le fait que le comportement du matériau au jeune âge est élastique non linéaire (dépendant donc de la force) et que cette composante ENL diminue avec l'augmentation avec le mûrissement et l'apparition du comportement viscoélastique.



Les Figure 156 et Figure 157 représentent l'effet de la force sur le déphasage à différents stades de mûrissement.

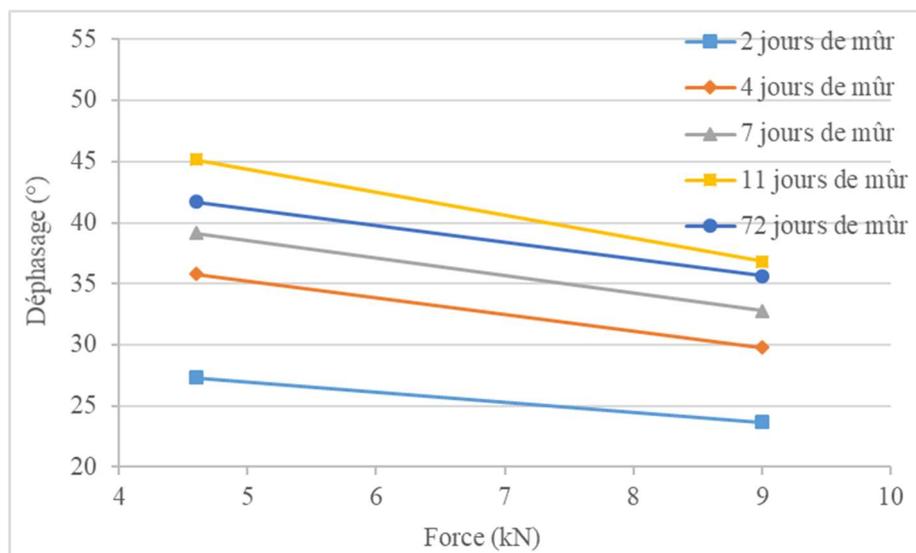


Figure 156 - Effet de la force sur le déphasage – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 35 °C et 45 % d'HR.

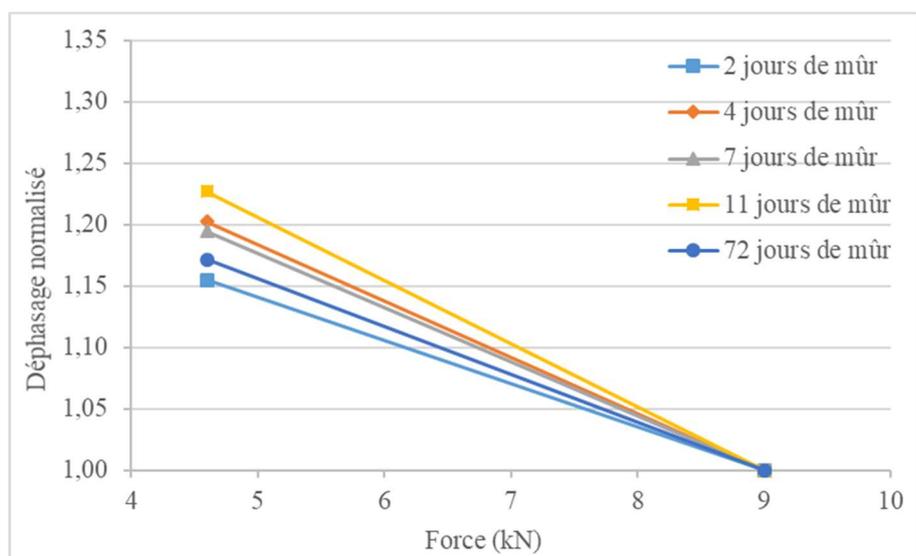


Figure 157 - Représentation normalisée de l'effet de la fréquence sur le déphasage – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 35 °C et 45 % d'HR.

Concernant la fréquence peu de variation de l'angle de phase entre mûrissements est à noter avec cependant, une légère augmentation.

Résultats du mûrissement à 15 °C et 45 % d'HR :

Les Figure 158 et Figure 159 montrent de nouveau l'effet de la force mais cette fois sur les éprouvettes mûries à 15 °C et 45 % d'HR. Les observations sont strictement les mêmes que pour les résultats sur les éprouvettes mûries à 35 °C, idem pour l'évolution de l'angle de phase, Figure 160 et Figure 161.



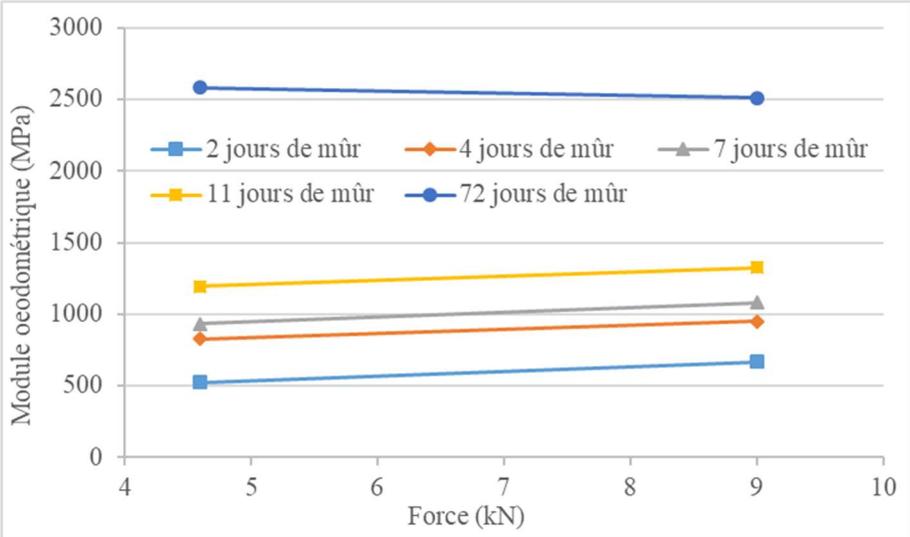


Figure 158 - Effet de la force – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 15 °C et 45 % d’HR.

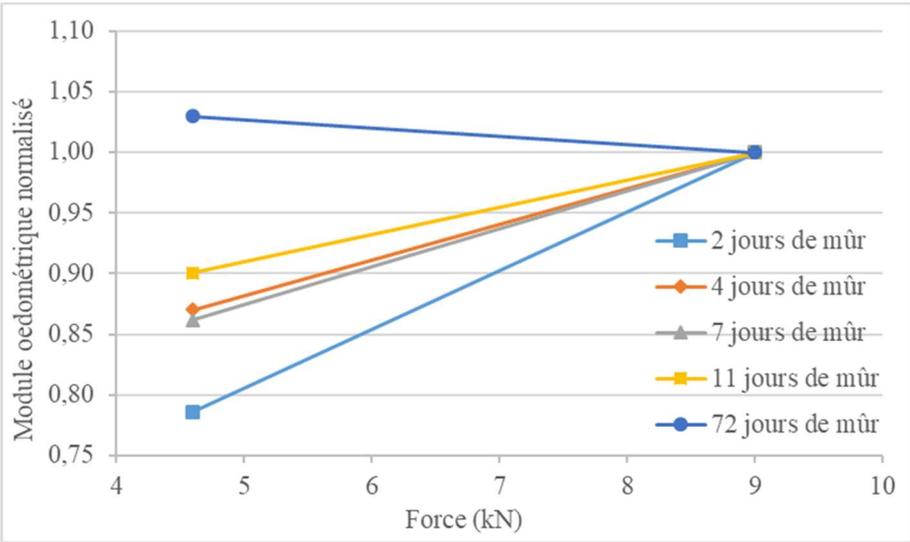


Figure 159 - Représentation normalisée de l’effet de la force – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 15 °C et 45 % d’HR.



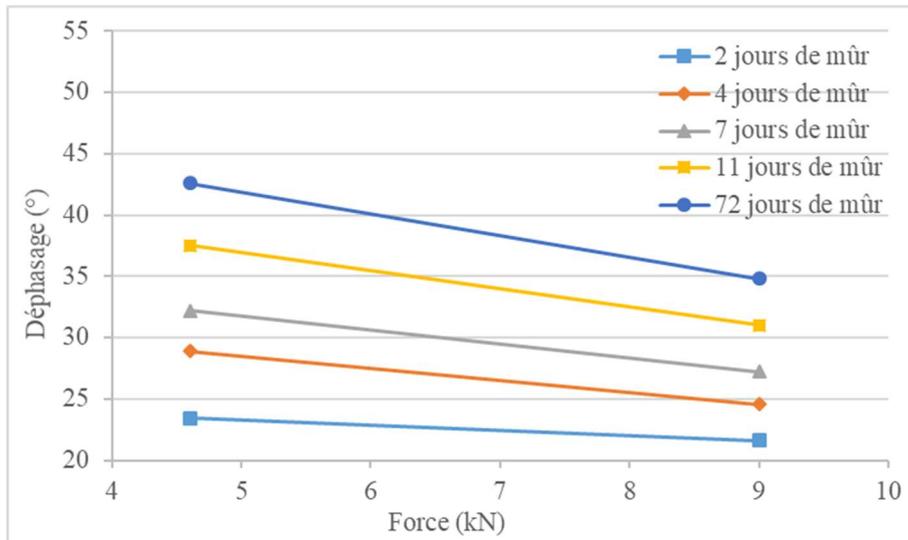


Figure 160 - Effet de la force sur le déphasage – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 15 °C et 45 % d'HR.

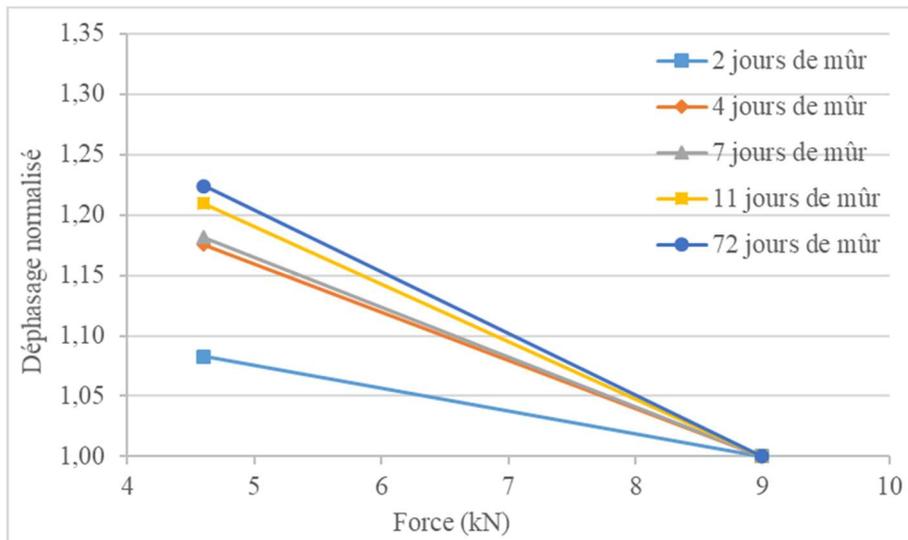


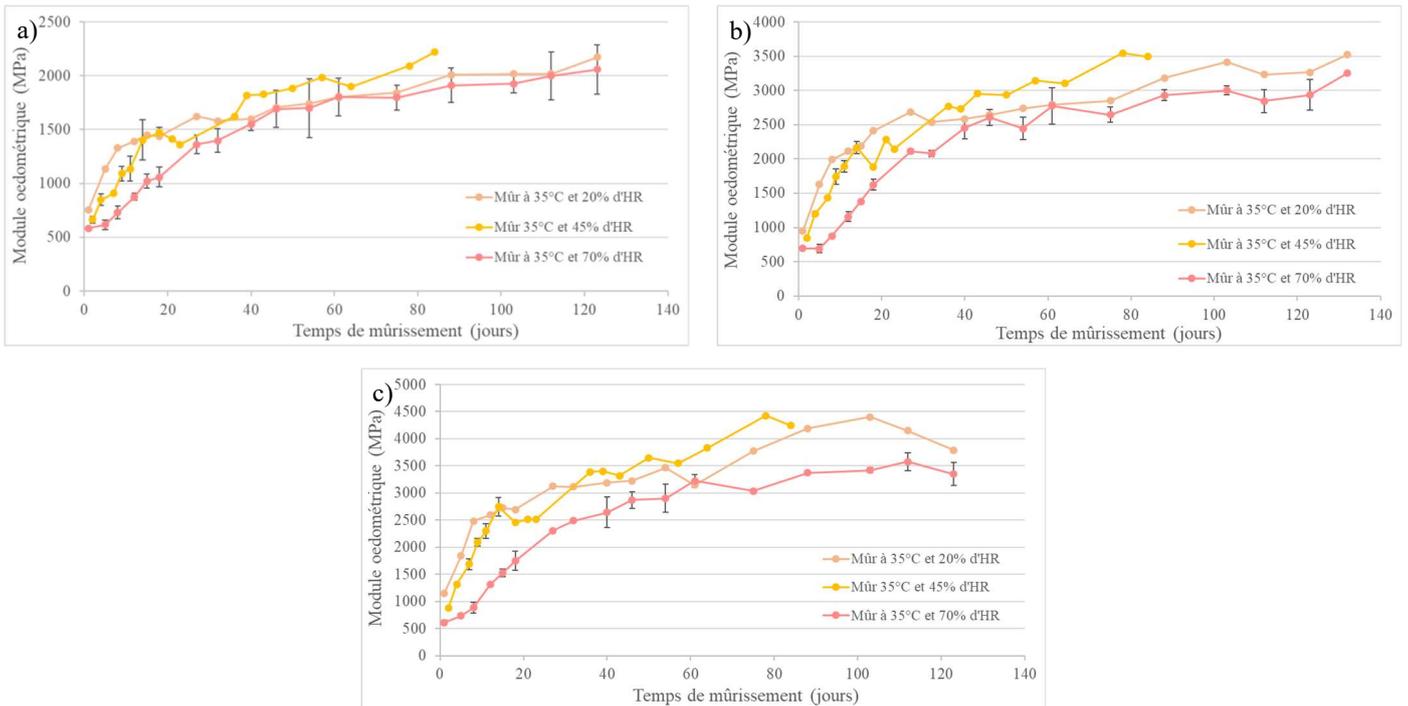
Figure 161 - Représentation normalisée de l'effet de la fréquence sur le déphasage – Essais réalisés à 20 °C, 10 Hz et 9 kN sur éprouvettes mûries à 15 °C et 45 % d'HR.

V.2.3.5. Effet de l'hygrométrie

Regardons à présent l'effet de l'hygrométrie sur le mûrissement. La Figure 162 montre l'évolution du module en fonction des conditions de mûrissement à 35 °C mais à trois hygrométries différentes à savoir 20 % d'HR, 45 % d'HR et 70 % d'HR.

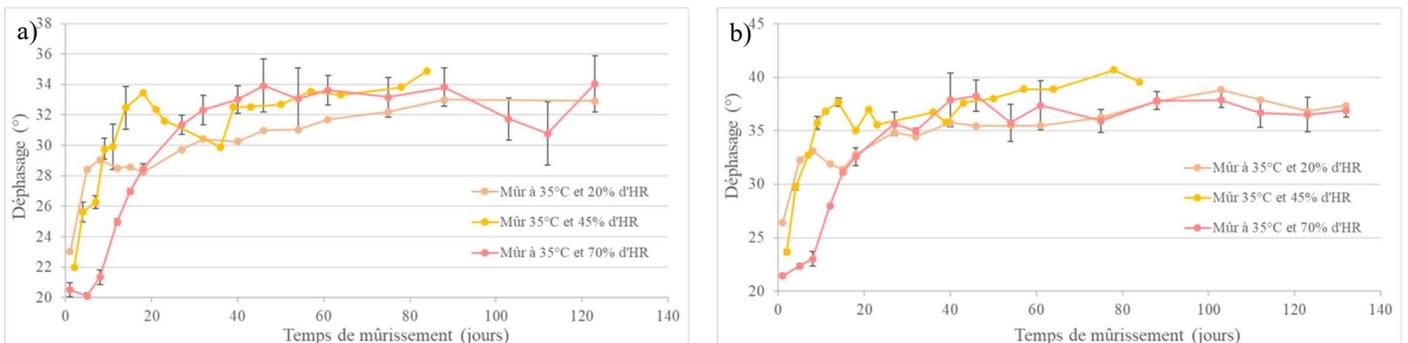


Chapitre V. Résultats des différentes campagnes d'essais et mise en œuvre du modèle



L'ensemble des résultats met en évidence que le module évolue avec le mûrissement et que, plus l'hygrométrie est grande, plus ce mûrissement est ralenti. La différence d'hygrométrie lors du mûrissement influence la cinétique de mûrissement mais n'impacte pas la valeur finale de module contrairement aux effets de la température de mûrissement.

Dans les mêmes conditions de mûrissement, la Figure 166 montre l'évolution du déphasage.



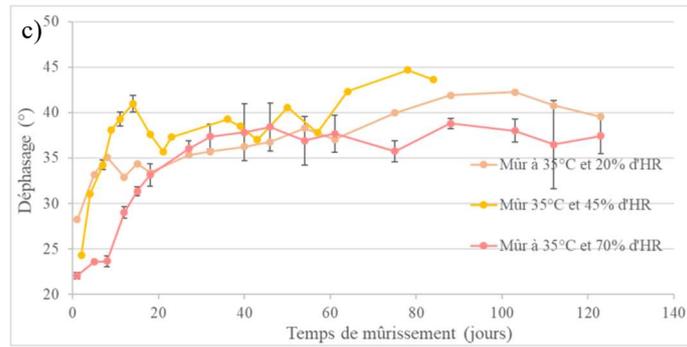


Figure 163 - Evolution du déphasage en fonction de l'hygrométrie de mûrissement - Essais réalisés à 10 Hz et 9 kN - a) Essais à 35 °C b) Essais à 20 °C c) Essais à 15 °C.

Le déphasage augmente avec le mûrissement. Les éprouvettes mûries à 35 °C et 70 % d'HR mettent toutefois plus de temps à atteindre les valeurs de déphasage des autres éprouvettes. Cette fois encore, l'hygrométrie influence sur la cinétique des courbes de déphasage sans impacter la valeur asymptotique finale.

V.2.3.6. Cycles de chargement expérimentaux

La Figure 164 montre l'évolution des cycles de chargement stabilisés à différents stades de mûrissement. Les cycles présentés sont les cycles mesurés lors de l'essai après stabilisation des déformations. Leurs origines sont alors remises à zéro pour pouvoir comparer ces différentes courbes. La figure présente trois cycles, le premier récupéré d'un essai effectué à 2 jours de mûrissement, un deuxième à 11 jours de mûrissement et un dernier à 84 jours de mûrissement.

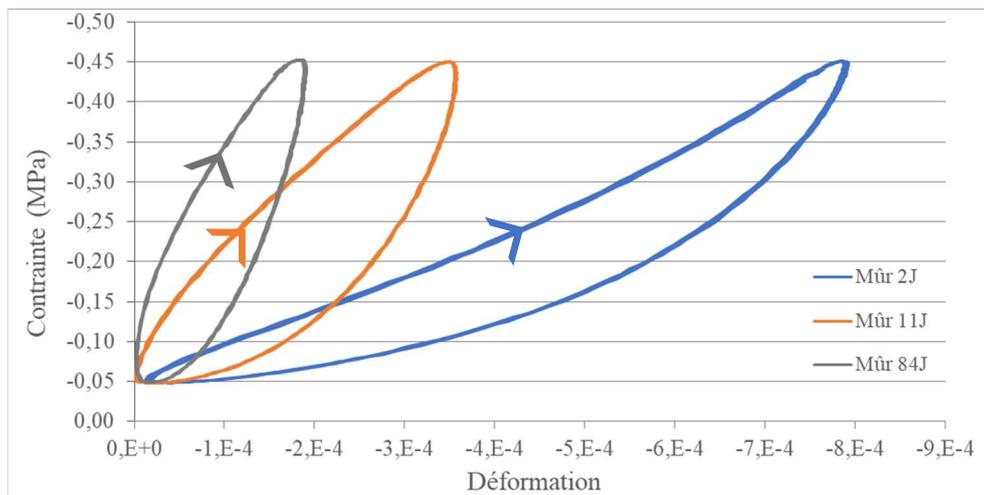


Figure 164 – Cycles de chargement stabilisés à différents temps de mûrissement – Essais réalisés à 20 °C, 1 Hz et 0,4 MPa sur des éprouvettes mûries à 35 °C et 45 % d'HR.

Comme attendu à partir des valeurs de module œdométrique extraites de ces données, nous pouvons voir que les amplitudes de déformation décroissent rapidement et fortement avec le temps de mûrissement.



Mais on voit également une évolution sensible de la forme de ces courbes. La courbe à 2 jours de mûrissement présente une boucle relativement fermée et de forme convexe, qui reflète un comportement essentiellement élastique non linéaire.

Les courbes à 11 et 84 jours se rapprochent en revanche d'une forme elliptique, caractéristique d'un comportement viscoélastique.

La forme de ces cycles expérimentaux nous conforte quant à la pertinence du modèle VENL 3D car des boucles similaires ont été obtenues à la fin du chapitre III sans aucun calage préalable du modèle.

V.3. Description et résultats de la campagne d'essais n°3 sur grave émulsion utilisant des agrégats d'enrobé

V.3.1. Matériau utilisé

La campagne d'essais n°3 est basée sur une formulation utilisant l'émulsion utilisée lors des campagnes n°1 et 2, mais avec un squelette granulaire incorporant des agrégats d'enrobé. Ces agrégats d'enrobés proviennent d'enrobés recyclés qui ont été concassés puis tamisés et séparés en deux classes granulaires, 0/8 et 8/12. Le léger concassage de cet enrobé recyclé permet d'éviter l'agglomération de mastic (mélange de bitume et de fines) qui pourrait être confondu avec des granulats ce qui nous permet d'obtenir des classes granulaires plus fiables. Lors de la fabrication, nous avons mis la même quantité d'émulsion que dans la formulation des campagnes d'essais 1 et 2 en considérant qu'en l'absence de chauffage du mélange lors de la fabrication, le bitume déjà présent dans les recyclés n'était pas remobilisé et que par conséquent, il était sans effet sur la liaison entre granulats ou agrégats.

Caractéristiques des agrégats :

Les agrégats proviennent de la carrière de Chauvon (49) et les granulats sont de nature basaltique. Pour le mélange, le pourcentage de chaque fraction granulaire a été choisi afin que la courbe granulaire des recyclés soit au plus proche du mélange granulaire des campagnes d'essais 1 et 2. Ces pourcentages sont :

- Agrégats 0/8 : 37 %
- Agrégats 8/12 : 63 %

L'analyse granulométrique de chacune des fractions est faite conformément à la norme NF EN 933-1 [56], la recombinaison granulaire obtenue est présentée dans le Tableau 22 et la Figure 165.



Tableau 22 - Analyses granulométriques.

| Tamis (mm) | Pourcentages passants | | |
|------------|-----------------------|------|---------|
| | 0/8 | 8/12 | Recompo |
| 12,50 | 100 | 100 | 100 |
| 10,00 | 100 | 99 | 99,4 |
| 8,00 | 100 | 72 | 82,4 |
| 6,30 | 99 | 45 | 65 |
| 5,00 | 93,5 | 34,5 | 56,3 |
| 4,00 | 88 | 24 | 47,7 |
| 3,15 | 78 | 21,5 | 42,4 |
| 2,00 | 68 | 19 | 37,1 |
| 1,00 | 47 | 15 | 26,8 |
| 0,50 | 32 | 12 | 19,4 |
| 0,25 | 22 | 9 | 13,8 |
| 0,125 | 17,2 | 7,2 | 10,9 |
| 0,063 | 12,4 | 5,4 | 8 |

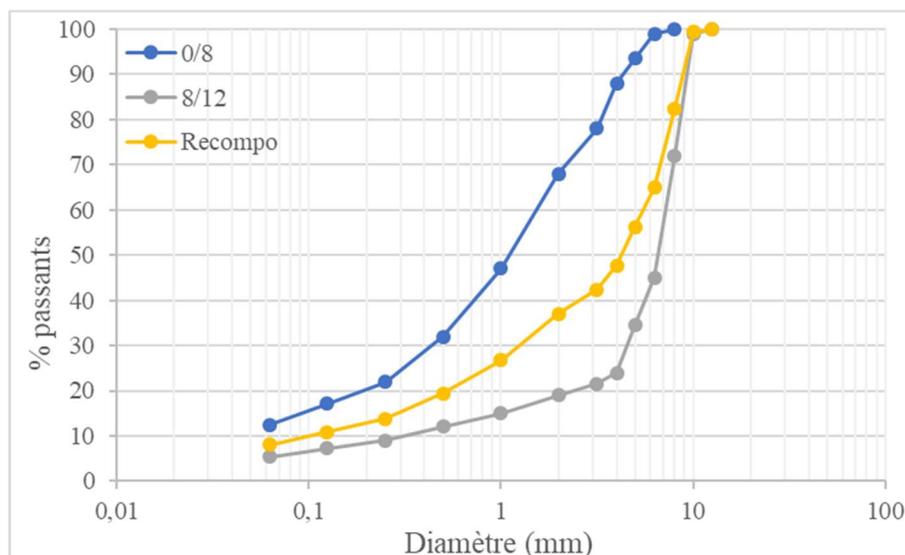


Figure 165 - Courbes granulométriques.



Fabrication :

Les agrégats sont pesés puis placés dans le malaxeur avec l'eau d'ajout puis mélangés dans le malaxeur pendant 30 secondes. On ajoute alors la quantité désirée d'émulsion avant de malaxer encore pendant 2 minutes.

La quantité d'enrobé à froid désirée (mesurée par son poids) est alors placée dans chacun des moules afin d'obtenir des éprouvettes d'éclatement 0,5 et une compacité visée correspondant à 15 % de vides.

V.3.2. Essai de mûrissement

Comme nous l'avons vu lors des deux campagnes précédentes, c'est la température qui influence le plus les performances de l'enrobé à froid. C'est pourquoi, pour cette campagne, nous avons décidé d'évaluer seulement l'effet de la température de mûrissement.

Pour cela, nous avons mis en place un essai de mûrissement à trois températures, à savoir 15 °C, 20 °C et 35 °C pour une hygrométrie de 43 % d'HR. Deux éprouvettes de notre matériau par température de mûrissement sont préparées. L'ensemble est conservé en mûrissement en enceinte climatique et ponctuellement sorti pour être testé selon les trois températures. Le planning des essais est présenté Figure 166.

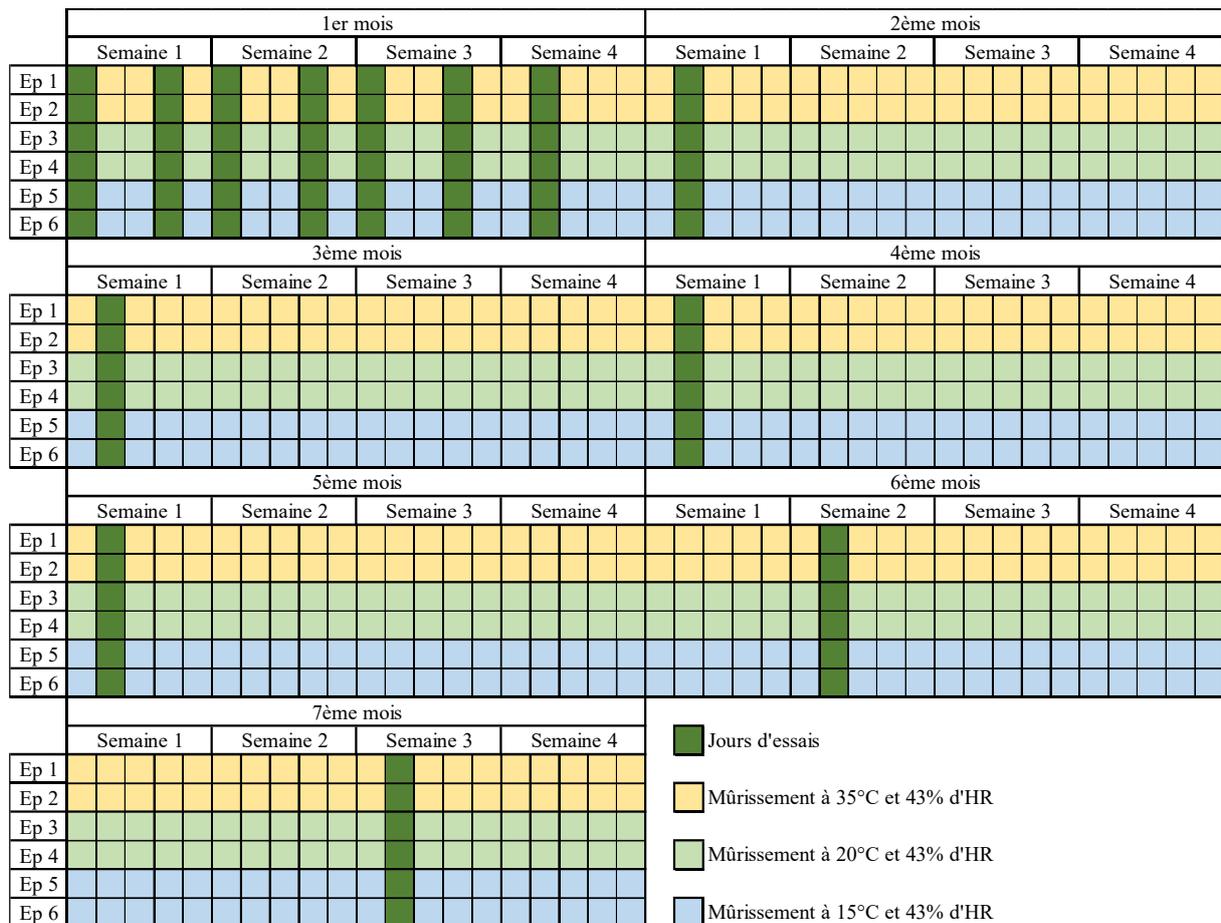


Figure 166 - Planning d'essais durant le mûrissement en température.



La Figure 167 montre l'enchaînement des essais œdométriques aux températures de 15 °C, 20 °C et 35 °C.

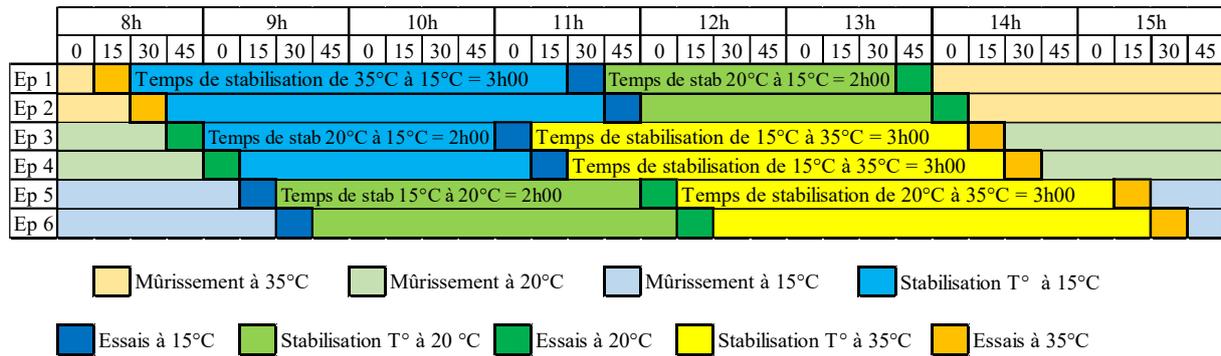


Figure 167 - Planning d'un jour d'essais lors de la première campagne.

Toutes les éprouvettes sont donc mûries pendant 184 jours avant d'être démoulées. Chaque teneur en vides est mesurée au banc gammadensimétrique, Tableau 23.

Tableau 23 - Teneurs en vides éprouvettes campagne 3.

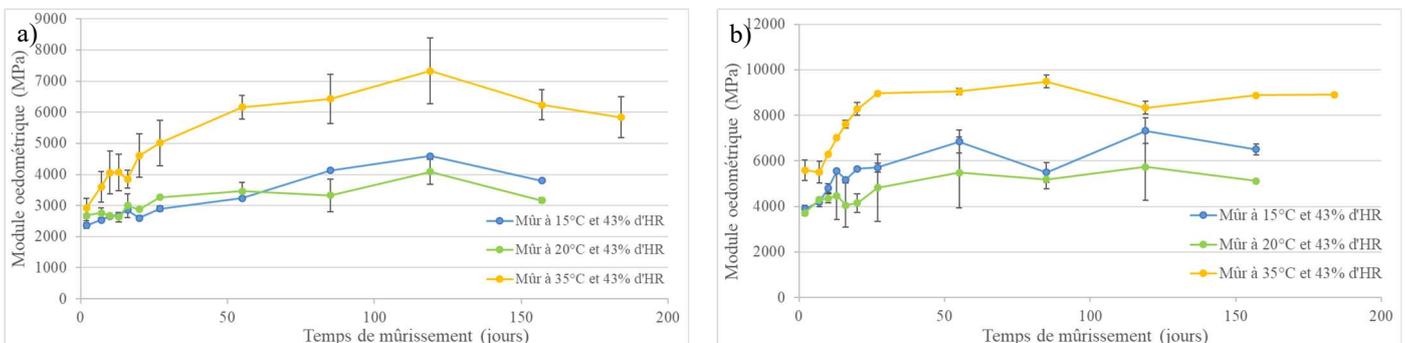
| Éprouvette | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Teneur en vides | 5,5 % | 7,4 % | 7,1 % | 7,6 % | 8,0 % | 6,9 % |

V.3.3. Résultats de l'essais de mûrissement et d'essai œdométrique

Les annexes 30 à 39 présentent l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus, en termes de déformation, contrainte moyenne, module et déphasage de chacune des éprouvettes.

V.3.3.1. Effet de la température de mûrissement

Regardons dans un premier temps l'évolution du module avec le temps en fonction de la température de mûrissement et de la température d'essai, Figure 168. Pour rappel, les valeurs de module œdométrique lues sur les figures suivantes sont supérieures aux valeurs de module « classique » utilisées pour la caractérisation des enrobés à chaud.



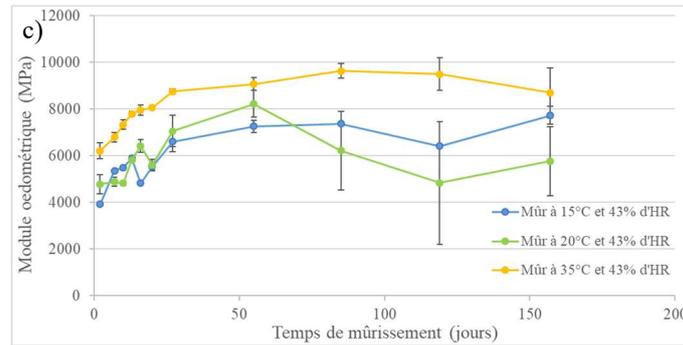


Figure 168 - Evolution du module en fonction de la température de mûrissement - Essais réalisés à 10 Hz et 9 kN - a) Essais à 35 °C b) Essais à 20 °C c) Essais à 15 °C.

Les résultats montrent que les évolutions temporelles des modules des éprouvettes mûries à 15°C et 20°C sont assez proches ; ce qui est logique étant donné qu'il n'y a que 5 °C d'écart entre elles. Les éprouvettes mûries à 35 °C, quant à elles, passent par des valeurs de module bien plus importantes pour atteindre 9 635 MPa. Des performances mécaniques aussi grandes sont, il nous semble, à la limite de ce que nos capteurs peuvent mesurer. En effet, la mesure de déplacement correspondant à une valeur de module si élevée est de 4,5 µm. Nous avons tout de même une très bonne répétabilité sur les valeurs de module des éprouvettes mûries à 15 °C et à 35 °C. Tout comme le matériau précédent, la température de mûrissement semble influencer sur la valeur finale de module.

Comme pour l'évolution des modules, plus la température de mûrissement est élevée, plus le déphasage augmente rapidement et devient grand, Figure 169. De plus, les asymptotes des courbes de mûrissement ne se stabilisent pas à la même valeur. La température de mûrissement aurait donc une influence sur la valeur de module et le déphasage finale de l'enrobé à froid.

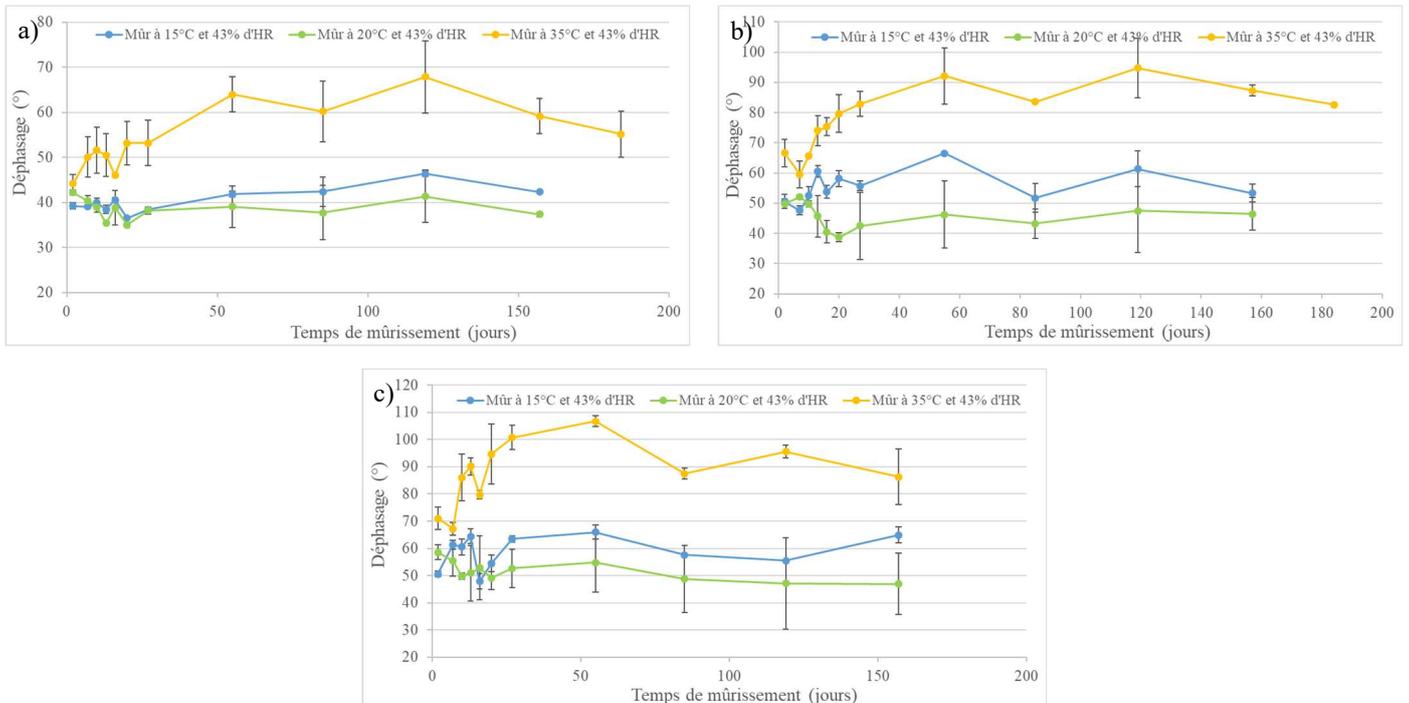
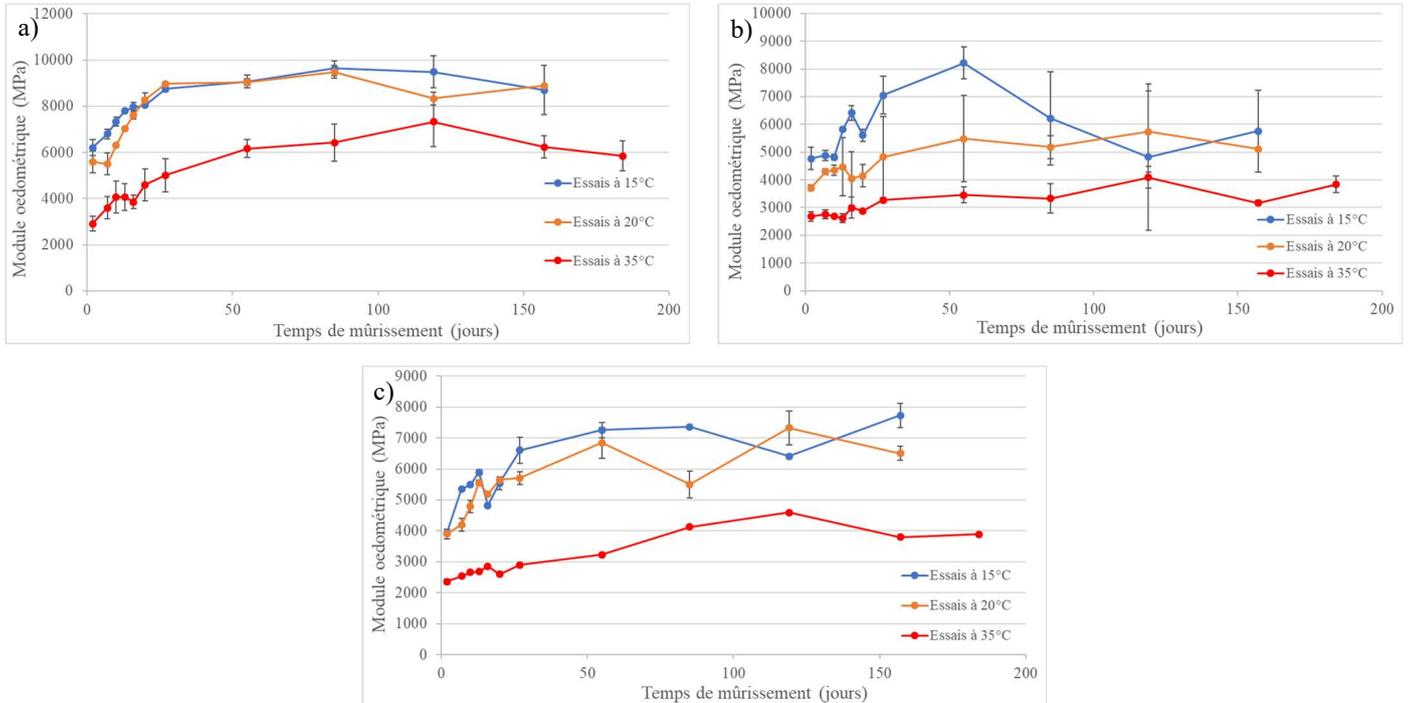


Figure 169 - Evolution du déphasage en fonction de la température de mûrissement - Essais réalisés à 10 Hz et 9 kN - a) Essais à 35 °C b) Essais à 20 °C c) Essais à 15 °C.



V.3.3.2. Effet de la température d'essai

La Figure 170 montre l'évolution du module dans le temps pour chacune des températures d'essais œdométriques et pour chaque température de mûrissement (figure a), mûrissement à 35 °C, b) mûrissement à 20 °C , c) mûrissement à 15 °C).



Les modules augmentent avec le mûrissement. Nous observons également que plus la température d'essai est basse plus le module sera élevé.

Lors du premier jour d'essais œdométriques (à 2 jours de mûrissement), nous pouvons voir que, contrairement au matériau précédent, les neuf courbes de ces trois graphes ne partent pas de la même valeur de module quelle que soit la température d'essai, ce qui implique un comportement viscoélastique déjà très présent dans le matériau.

Comme indiqué en Figure 171, plus la température d'essais est basse plus le déphasage est grand. Comme pour l'enrobé à froid précédent, nous observons une légère augmentation de la dépendance à la fréquence ainsi qu'une légère diminution de l'effet de la force sur le matériau. Ce matériau utilisant des recyclés, il présente, dès son jeune âge, un comportement viscoélastique marqué lors des premiers essais à 2 jours de mûrissement. C'est pour cette raison que nous ne pouvons pas représenter l'évolution d'un comportement élasticité non linéaire vers un comportement viscoélastique.



Chapitre V. Résultats des différentes campagnes d'essais et mise en œuvre du modèle

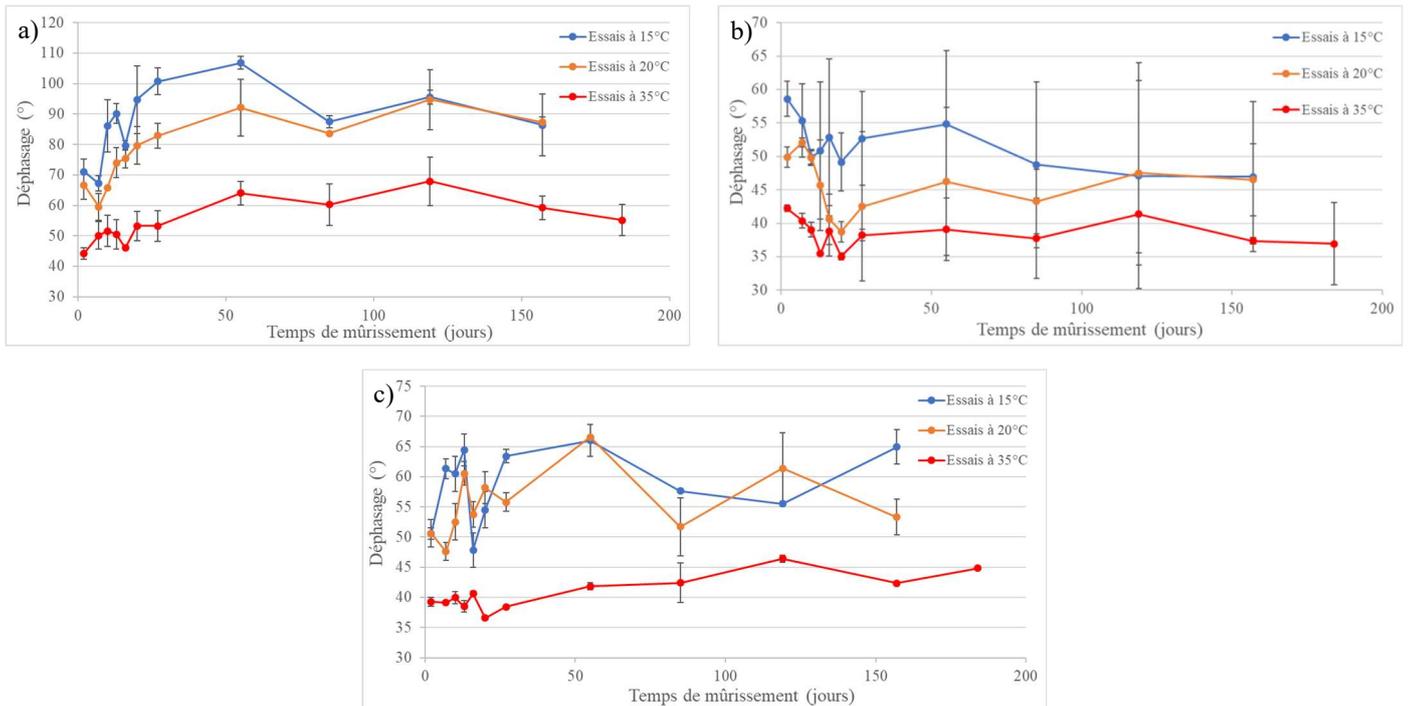


Figure 171 - Evolution du déphasage en fonction de la température d'essais - Essais réalisés à 10 Hz et 9 kN - a) Mûrissement à 35 °C 43 % d'HR b) Mûrissement à 20 °C 43 % d'HR c) Mûrissement à 15 °C 43 % d'HR.

L'ensemble des résultats expérimentaux nous permet d'envisager la mise en œuvre et l'optimisation des paramètres du modèle VENL 3D.

V.4. Mise en œuvre et calage du modèle VENL 3D

Essayons à présent de caler le modèle et d'évaluer sa pertinence à partir des résultats des campagnes de mûrissement pratiquées au cours de cette thèse. Nous utiliserons principalement pour ce faire les mesures œdométriques pratiquées à 20 °C, que nous jugeons comme les plus fiables et les plus répétables grâce à leur bonne stabilisation en température. Par ailleurs, parmi ceux-ci, nous privilégions ceux réalisés à 9 kN et 10Hz, qui mettent le mieux en exergue les effets d'élasticité non linéaire et qui correspondent à la fréquence de mesure la plus usitée sur les enrobés, tout en permettant de converger rapidement vers des cycles stabilisés. Les Tableau 24 et Tableau 25 récapitulent l'ensemble des modalités d'essais œdométriques réalisées au cours des mûrissements à 15 et 35 °C; les essais entrant dans la procédure de calage sont indiqués en vert.

Tableau 24 - Modalités d'essais œdométriques utilisées au cours de la campagne de mûrissement à 15 °C et 45 % d'HR.

| Mûrissement | 15 °C | | | | | |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| T° d'essais (°C) | 15 °C | | 20 °C | | 35 °C | |
| Force (kN) | 4,6 kN | 9 kN | 4,6 kN | 9 kN | 4,6 kN | 9 kN |
| Fréquences (Hz) | 0,1/1/3/6/10 | 0,1/1/3/6/10 | 0,1/1/3/6/10 | 0,1/1/3/6/10 | 0,1/1/3/6/10 | 0,1/1/3/6/10 |



Tableau 25 - Modalités d'essais œdométriques utilisées au cours de la campagne de mûrissement à 35 °C et 45 % d'HR.

| | | | | | | |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Mûrissement | 35 °C | | | | | |
| T° d'essais (°C) | 15 °C | | 20 °C | | 35 °C | |
| Force (kN) | 4,6 kN | 9 kN | 4,6 kN | 9 kN | 4,6 kN | 9 kN |
| Fréquences (Hz) | 0,1/1/3/6/10 | 0,1/1/3/6/10 | 0,1/1/3/6/10 | 0,1/1/3/6/10 | 0,1/1/3/6/10 | 0,1/1/3/6/10 |

La procédure de calage du modèle est séparée en deux parties :

- Dans un premier temps, nous utilisons les résultats de mûrissement à 15 °C et 2 jours de maturité correspondant à l'état le moins mûri du matériau afin de fixer les seuls paramètres élastiques non linéaires, à partir du modèle ENL 3D. On suppose que la température du liant a peu d'effet sur la réponse du matériau à ce stade précoce de son existence.
- Dans un second temps, connaissant les valeurs de ces paramètres, nous calons les paramètres viscoélastiques du modèle VENL 3D à partir des mesures réalisées sur le matériau dans son état le plus mûri, à l'issue donc des 84 jours de la campagne de mûrissement à 35 °C.

V.4.1. Détermination des paramètres élastiques non linéaires

Il s'agit de déterminer les paramètres n , K_a et G_a du modèle ENL seul, qui pour rappel n'est autre que le modèle de Boyce. Nous nous proposons pour cela de confronter les courbes des essais œdométriques réalisées sur les échantillons mûris à 15°C pendant 2 jours, avec les réponses théoriques du modèle lorsque l'on fait varier ces paramètres. Pour cette étude, nous faisons abstraction des déformations transitoires et utilisons les cycles quasi-stabilisés obtenus en fin de chacune des séquences d'essais œdométriques (après environ 150 cycles).

Les Tableau 26, Tableau 27 et Tableau 28 présentent les résultats de l'analyse paramétrique effectuée à partir du modèle ENL 3D utilisé en mode œdométrique. Chacun des tableaux présente la courbe élastique non linéaire "contrainte/déformation" obtenue en fonction de K_a , G_a pour une valeur de n donnée. Pour faciliter la comparaison avec les résultats expérimentaux, on indique en particulier les valeurs des modules œdométriques sécants, atteints au maximum des cycles sous la charge verticale de 9 kN ($\sigma_{zz} = -0,82MPa$). La valeur de E_s (sans incidence sur les résultats) est fixée à 100 MPa.



Chapitre V. Résultats des différentes campagnes d'essais et mise en œuvre du modèle

Tableau 26 - Etude paramétrique du modèle ENL 3D pour $n = 0,3$: courbes oedométriques simulées et modules sécants théoriques.

| | $k_a = 50$ MPa | $k_a = 100$ MPa | $k_a = 150$ MPa |
|-----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| $G_a = 50$ MPa | <p>Module œdométrique = 602 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 992 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 1 368 MPa</p> |
| $G_a = 100$ MPa | <p>Module œdométrique = 775 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 1 203 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 1 600 MPa</p> |
| $G_a = 150$ MPa | <p>Module œdométrique = 923 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 1 386 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 1 805 MPa</p> |



Chapitre V. Résultats des différentes campagnes d'essais et mise en œuvre du modèle

Tableau 27 - Etude paramétrique du modèle ENL 3D pour $n = 0,4$: courbes oedométriques simulées et modules sécants théoriques.

| | $k_a = 50 \text{ MPa}$ | $k_a = 100 \text{ MPa}$ | $k_a = 150 \text{ MPa}$ |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| $G_a = 50 \text{ MPa}$ | <p>Module œdométrique = 430 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 696 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 953 MPa</p> |
| $G_a = 100 \text{ MPa}$ | <p>Module œdométrique = 567 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 859 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 1 130 MPa</p> |
| $G_a = 150 \text{ MPa}$ | <p>Module œdométrique = 686 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 1 003 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 1 289 MPa</p> |



Chapitre V. Résultats des différentes campagnes d'essais et mise en œuvre du modèle

Tableau 28 - Etude paramétrique du modèle ENL 3D pour $n = 0,5$: courbes oedométriques simulées et modules sécants théoriques.

| | $k_a = 50$ MPa | $k_a = 100$ MPa | $k_a = 150$ MPa |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $G_a = 50$ MPa | <p>Module œdométrique = 326 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 518 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 703 MPa</p> |
| $G_a = 100$ MPa | <p>Module œdométrique = 441 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 651 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 846 MPa</p> |
| $G_a = 150$ MPa | <p>Module œdométrique = 542 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 771 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 977 MPa</p> |



Sur la base de ces courbes, il est possible à présent de rechercher les paramètres ENL calant au mieux avec les mesures œdométriques réalisées sur l'enrobé à l'émulsion dans son état le moins mûri.

Comme nous avons pu le voir, les essais œdométriques sur grave émulsion à 2 jours de mûrissement donnent bien des courbes de chargement et de déchargement convexes, mais formant des cycles d'aires non nulles et non pas une unique courbe comme traditionnellement montré lors des essais sur matériau granulaire non lié, typique d'un comportement ENL quasi pur. Cette représentation « classique » et stabilisée des essais sur GNT n'est toutefois obtenue que pour un nombre relativement important de cycles de chargement, de l'ordre de 10 000, alors que dans notre cas nous n'imposons à nos éprouvettes qu'une totalité de 310 cycles, toutes fréquences confondues. Mais l'expérience montre que si l'on se limite également à ce nombre de cycles dans les essais sur GNT, on retrouve également pour celles-ci un comportement expérimental voisin de celui observé sur grave émulsion. A titre d'exemple, la Figure 172 montre la courbe expérimentale que nous avons obtenue à petit nombre de cycles, dans un essai œdométrique à 9 kN, 0,1 Hz conduit sur une GNT ayant la courbe granulaire de notre enrobé à l'émulsion. On peut vérifier

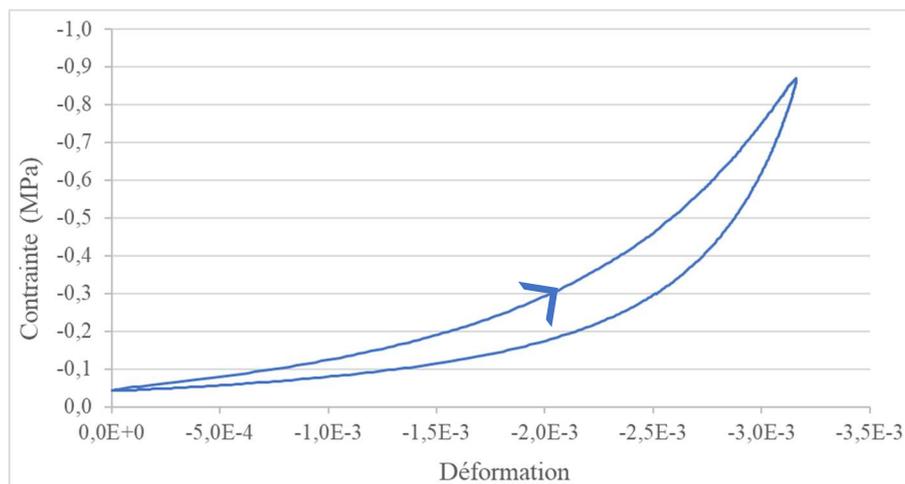


Figure 172 - Courbe expérimentale de chargement/déchargement obtenue à 310 cycles sur une GNT ayant même composition granulaire que la GE de notre étude.

Nous pouvons voir que l'allure de cette courbe est similaire à celle de notre enrobé à l'émulsion à l'état frais, présentée Figure 164.

Pour caler le modèle ENL, nous allons donc utiliser au final les 4 courbes expérimentales obtenues pour un mûrissement de 2 jours à 15 °C 45 % d'HR, lors des 4 essais œdométriques effectués à 20°C, 10 Hz pour les deux niveaux de force et les deux éprouvettes testés (Figure 173).



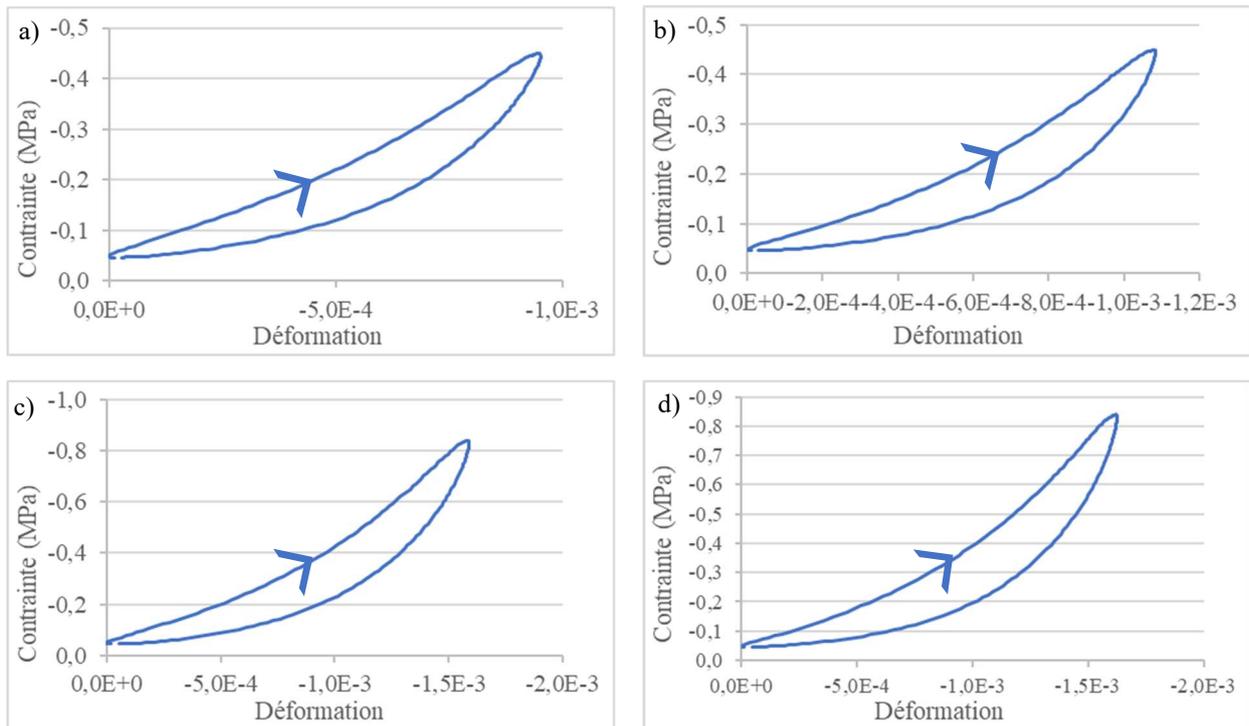


Figure 173 - Cycles expérimentaux obtenus sur GE de 2 jours, mûrie à 15 °C et 45 % d'HR.. Essais œdométriques à 20 °C , 10Hz : a) Éprouvette 1 à 0,41 MPa b) Éprouvette 2 à 0,41 MPa c) Éprouvette 1 à 0,88 MPa d) Éprouvette 2 à 0,88 MPa.

Pour pouvoir caler le modèle ENL 3D sur ces cycles, nous avons donc besoin de déterminer quelle courbe expérimentale (courbe de chargement, de déchargement ou courbe moyenne) faire coïncider avec les courbes théoriques.

Dans un premier temps, nous optons pour la courbe moyenne du cycle de chargement du graphique a) de la Figure 173. Après optimisation des paramètres, la comparaison modèle expérience est proposée en Figure 174 avec les paramètres du Tableau 29.

Tableau 29 - Valeurs des paramètres de Boyce de la loi ENL 3D pour calage de la courbe moyenne.

| n | K_a (MPa) | G_a (MPa) |
|-----|-------------|-------------|
| 0,1 | 13 | 13 |



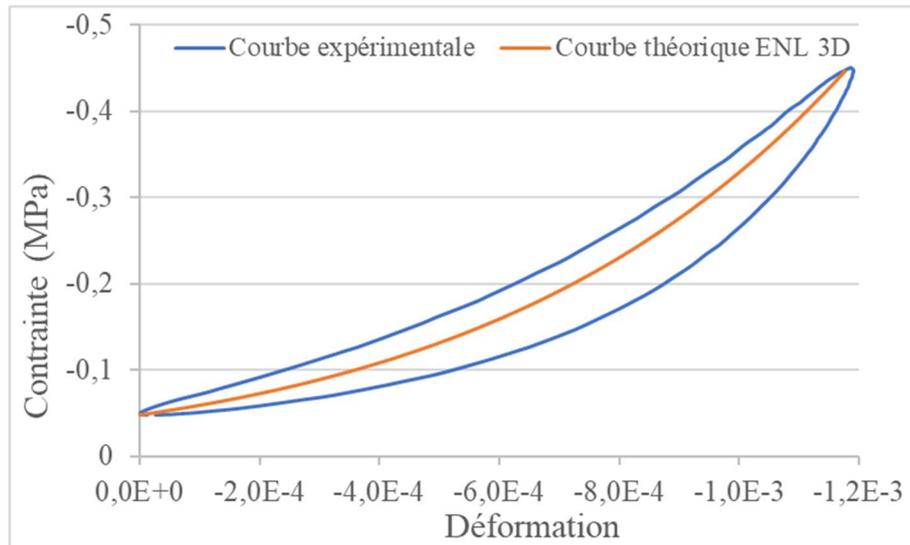


Figure 174 - Calage de la courbe moyenne à 2 jours de mûrissement.

Comme nous pouvons le voir, il est possible d'obtenir un bon accord. Par contre, le jeu de paramètres propre au modèle de Boyce permettant d'obtenir cette courbe, ne nous semble pas réaliste car conduisant à des valeurs trop faibles de l'ensemble des paramètres par rapport à ceux généralement obtenus sur cycles stabilisés de GNT.

Dans un second temps, nous optons donc pour la phase de chargement du cycle, plus proche des conditions qui importent sous le passage d'un trafic routier. Comme nous pouvons le voir sur la Figure 175, le modèle permet de bien reproduire les 4 cycles de chargement sélectionnés pour des jeux de paramètres assez voisins entre eux, précisés dans le Tableau 30.

Tableau 30 - Valeurs des paramètres de Boyce de la loi ENL 3D pour calage des phases de chargement.

| Éprouvette | Contrainte (MPa) | n | K_a (MPa) | G_a (MPa) |
|--------------|------------------|------|-------------|-------------|
| Éprouvette 1 | 0,41 | 0,5 | 83 | 85 |
| Éprouvette 2 | 0,41 | 0,5 | 78 | 78 |
| Éprouvette 1 | 0,88 | 0,5 | 74 | 75 |
| Éprouvette 2 | 0,88 | 0,49 | 73 | 75 |



Chapitre V. Résultats des différentes campagnes d'essais et mise en œuvre du modèle

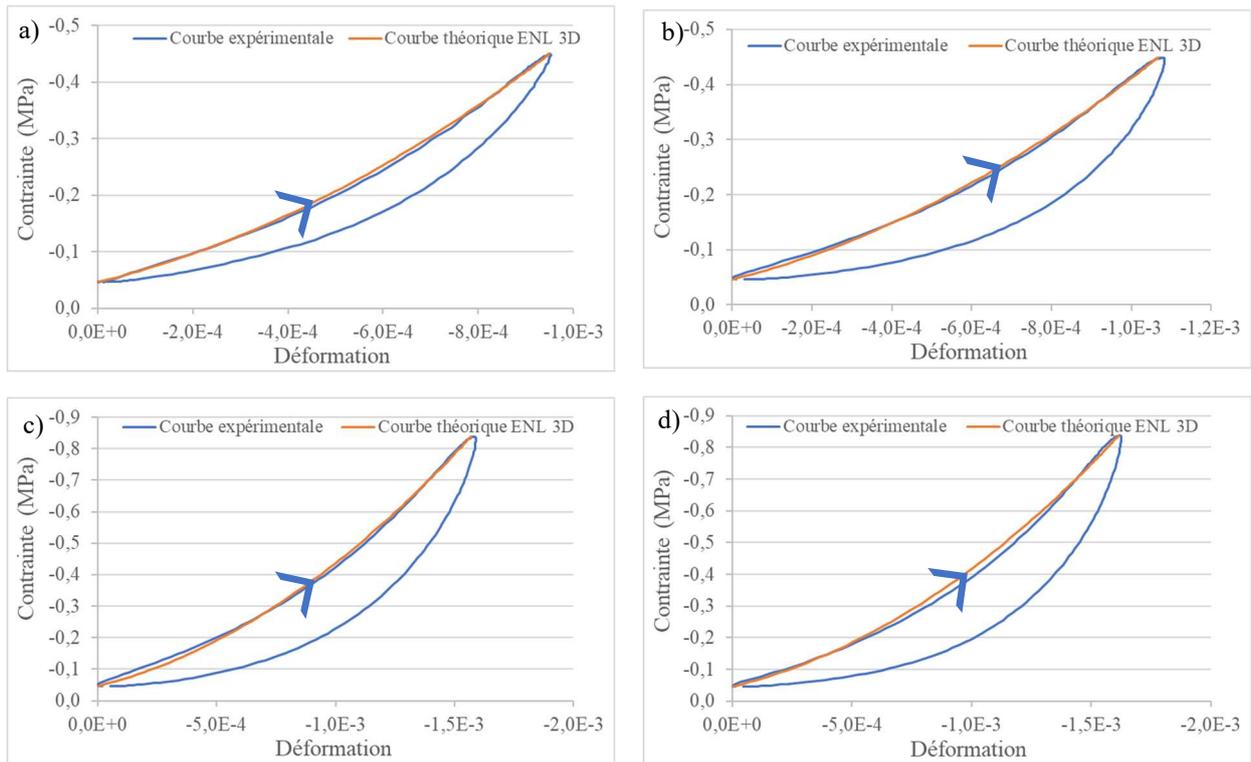


Figure 175 – Calage des phases de chargement pour un mûrissement de 2 jours à 15 °C et 45 % d'HR. Essais œdométriques à 20 °C et 10 Hz a) Éprouvette 1 à 0,41 MPa b) Éprouvette 2 à 0,41 MPa c) Éprouvette 1 à 0,88 MPa d) Éprouvette 2 à 0,88 MPa. Données de calage Tableau 30.

Nous allons ainsi retenir dans la suite les valeurs $n = 0,5$, $K_a = 80 \text{ MPa}$, $G_a = 80 \text{ MPa}$ qui permettent d'obtenir, comme le montre la Figure 176, une bonne approximation de nos quatre courbes expérimentales.

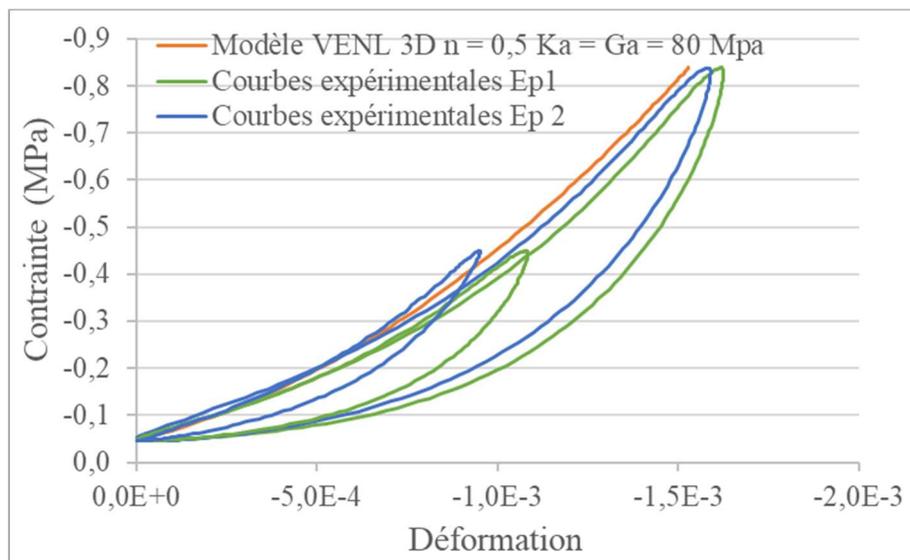


Figure 176 - Calage des phases de chargement œdométrique en ENL. Comparaison expériences/modèle.

Ces paramètres sont considérés fixés et indépendants du niveau de mûrissement. Reste à caractériser les propriétés viscoélastiques du modèle VENL 3D.



V.4.2. Calage des paramètres viscoélastiques valeur δ fixée

Concernant le calage des paramètres δ , γ , β , A , nous utilisons les résultats expérimentaux de l'enrobé à l'émulsion dans l'état le plus mûri dont nous disposons, à savoir celui obtenu sur les éprouvettes conservées (hors phases d'essais œdométriques) à 35°C pendant 84 jours. Par contre, comme déjà mentionné, nous utilisons préférentiellement pour ces échantillons les résultats œdométriques mesurés à 20°C, 9kN. La valeur de E_s dont le choix est arbitraire, mais qui joue d'après la définition des équations 3.145 et 3.146 sur les valeurs absolues de A , reste fixée, égale à 100 MPa.

Afin de restreindre dans un premier temps le nombre de paramètres à déterminer, nous avons choisi de fixer la valeur du coefficient δ , prise égale à 1, qui dans le cas d'exposants γ , β égaux, correspondrait à un coefficient de « Poisson » $\nu = 0,35$, d'après l'équation vue au chapitre III:

$$\delta = \frac{9(1-2\nu)}{2(1+\nu)} = 1.$$

Il reste donc à caractériser γ , β et A .

Comme précédemment, nous effectuons d'abord une analyse paramétrique de la réponse théorique du modèle VENL 3D sur la base de ces trois paramètres (plan d'essais numériques complet). Les Tableau 31, Tableau 32 et Tableau 33 présentent ainsi les courbes œdométriques simulées pour différents jeux de valeurs, A à valeur γ fixée. On représente spécialement ici les derniers cycles simulés (pas toujours stabilisés), après multi-cyclage du modèle VENL3D.



Chapitre V. Résultats des différentes campagnes d'essais et mise en œuvre du modèle

Tableau 31 - Etude paramétrique du modèle VENL 3D pour $\gamma = 0,2$.

| | $\beta = 0,2$ | $\beta = 0,5$ | $\beta = 0,7$ |
|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| A = 1 (seconde) | <p>Module œdométrique = 550 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 836 MPa</p> | <p>1 545 MPa</p> |
| A = 10 | <p>Module œdométrique = 725 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 1 931 MPa</p> | <p>4 777 MPa</p> |
| A = 100 | <p>Module œdométrique = 1 068 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 4 396 MPa</p> | <p>18 730 MPa</p> |



Chapitre V. Résultats des différentes campagnes d'essais et mise en œuvre du modèle

Tableau 32 - Etude paramétrique du modèle VENL 3D pour $\gamma = 0,5$.

| | $\beta = 0,2$ | $\beta = 0,5$ | $\beta = 0,7$ |
|-----------|---------------------------------------|--|--|
| $A = 1$ | <p>Module œdométrique = 1 161 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 1 614 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 2 357 MPa</p> |
| $A = 10$ | <p>Module œdométrique = 2 973 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 3 956 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 6 582 MPa</p> |
| $A = 100$ | <p>Module œdométrique = 8 519 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 12 338 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 25 835 MPa</p> |



Chapitre V. Résultats des différentes campagnes d'essais et mise en œuvre du modèle

Tableau 33 - Etude paramétrique du modèle VENL 3D pour $\gamma = 0,7$.

| | $\beta = 0,2$ | $\beta = 0,5$ | $\beta = 0,7$ |
|-----------|--|--|--|
| $A = 1$ | <p>Module œdométrique = 2 223 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 2 790 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 4 036 MPa</p> |
| $A = 10$ | <p>Module œdométrique = 8 245 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 9 324 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 11 357 MPa</p> |
| $A = 100$ | <p>Module œdométrique = 36 936 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 40 979 MPa</p> | <p>Module œdométrique = 54 854 MPa</p> |



Il est alors possible de comparer ces courbes aux courbes œdométriques expérimentales obtenues à 20°C, 9 kN et à 1, 3 et 10 Hz sur les éprouvettes mûries à 35 °C , 45 % d’HR pendant 84 jours.

Le travail d’optimisation réalisé a ainsi permis d’obtenir un unique jeu de trois paramètres, indépendant de la fréquence de sollicitation (Tableau 5.34). Les résultats du calage sont illustrés sur la Figure 177, qui montre une assez bonne approximation d’ensemble du comportement viscoélastique du matériau.

Tableau 34 - Valeurs des paramètres du modèle VENL 3D obtenues après calage avec coefficient δ imposé, égal à 1.

| A (s) | γ (MPa) | β (MPa) |
|-------|----------------|---------------|
| 160 | 0,25 | 0,4 |

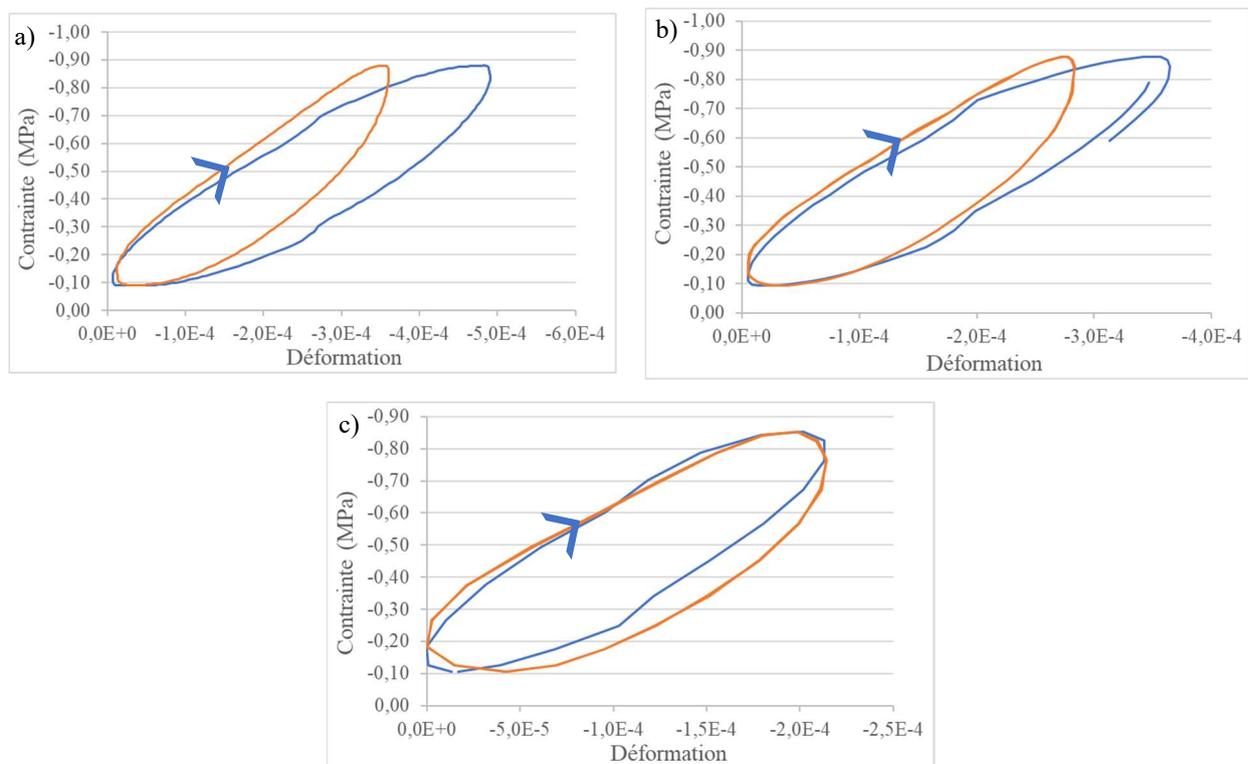


Figure 177 – Calage des cycles de chargement pour un mûrissement de 84 jours à 35 °C et 45 % d’HR. Essais œdométriques à 20 °C et 9 kN a) Eprouvette 4 à 1 Hz b) Eprouvette 4 à 3 Hz c) Eprouvette 4 à 10 Hz. Données de calage Tableau 5.34.

On observe *a posteriori* que l’on obtient deux exposants γ , δ distincts pour les fonctions de fluage volumique et déviatorique, qui traduisent de façon non surprenante un comportement relatif du matériau plus élastique en déformation (contraction) isotrope qu’en déformation de glissement. (Pour rappel, plus l’exposant de fluage est petit, plus le matériau se rapproche d’un comportement élastique, associé à un exposant nul). Ceci remet donc en question la valeur de δ choisie et sa constance ; on y revient plus loin.

En restant dans le présent cadre d’interprétation des essais, intéressons-nous plus particulièrement pour l’instant aux valeurs A obtenues, lorsque la procédure de calage précédente est appliquée plus



largement à l’ensemble des mesures œdométriques réalisé aux différents stades de mûrissement du matériau. On dispose déjà de la valeur $A = 160$ s pour l’éprouvette mûrie à 35 °C pendant 84 jours et testée à 20 °C.

V.4.3. Fonction $A(\theta_{actuelle}, d_{mûr})$ de mûrissement et de sensibilité à la température actuelle - Hypothèses pour sa modélisation

L’introduction de la fonction A dans les fonctions de fluage du matériau généralise le principe d’équivalence temps-température utilisé avec succès dans le cas des enrobés à chaud, afin de rendre compte de la forte sensibilité à la température de la viscosité des liant bitumineux. Dans le domaine temporel, ce principe consiste à dire que le comportement en fluage des enrobés bitumineux est globalement fonction de la variable $t/a(\theta)$ avec :

- t = temps physique.
- $a(\theta)$ = fonction de « translation en température » (actuelle) du matériau.

Les fonctions $a(\theta)$ identifiées expérimentalement (sur la base par exemple de campagnes de mesures de module complexe sur EB réalisées à différentes températures et fréquences) sont trouvées fortement décroissantes avec la température, traduisant par là-même la forte diminution de viscosité des liants avec la température. Ces fonctions sont ainsi généralement proches de la forme d’une exponentielle décroissante et peuvent être représentées, par exemple, par la loi de Williams-Landel-Ferry [60] :

$$\log a(\theta) = \frac{-C_1(\theta - \theta_{ref})}{C_2 + (\theta - \theta_{ref})} \quad \text{Equation 210}$$

avec θ_{ref} = température de référence pour laquelle on souhaite imposer $a(\theta_{ref}) = 1$, C_1, C_2 constantes réelles (de signes, fonction du choix de la température de référence).

A nature de liant fixée, il a par ailleurs été observé que les fonctions $a(\theta)$ identifiées sur liant seul ou sur les EB constitués de ce liant étaient quasi-identiques, montrant le caractère fortement héréditaire entre liant et EB des propriétés de thermo-susceptibilité [61].

Dans notre étude, cette approche est étendue à 2 variables, l’une étant la température actuelle $\theta_{actuelle}$, l’autre la variable $d_{mûr}$ que nous appellerons « degré de mûrissement », afin de rendre non seulement de la thermo-susceptibilité de la phase bitumineuse des liants d’émulsion, mais aussi du mûrissement des graves émulsion. On note ainsi $A(\theta_{actuelle}, d_{mûr})$ la fonction obtenue, en s’attendant à ce que celle-ci décroisse avec la température, mais augmente avec $d_{mûr}$.

De ce fait, nous allons tester dans le cadre de cette thèse, l’hypothèse d’une factorisation de A sous la forme :

$$A(\theta_{actuelle}, d_{mûr}) = a(\theta_{actuelle}) d_{mûr}(t_{âge}, \theta_{mûrissement}) \quad \text{Equation 211}$$

avec :



- $a(\theta_{actuelle})$ = fonction « temps-température » au sens usuel des liants ou enrobés bitumineux à chaud.
- $t_{\hat{age}} = t - t_{fab}$ = âge actuel du matériau, défini à partir de sa date de fabrication.

Cette équation fournit alors sous réserve de sa validation expérimentale, une définition précise de $d_{m\hat{ur}}$, qui n’est rien d’autre que le ratio A/a , ces 2 quantités étant elles mesurables.

A priori $d_{m\hat{ur}}$ peut elle-même être considérée de manière générale comme une fonctionnelle

$$- d_{m\hat{ur}}(t_{\hat{age}}, \{\theta\}, \{w\}).$$

de l’âge du matériau et des historiques de température et d’humidité relative

$$- \{\theta\}: t_{\hat{age}} \rightarrow \theta(t_{\hat{age}}) \text{ et } \{w\}: t_{\hat{age}} \rightarrow w(t_{\hat{age}}).$$

entre les instants $t = t_{fab}$ et $t = t_{\hat{age}}$.

L’expression d’une telle fonctionnelle $d_{m\hat{ur}}(t_{\hat{age}}, \{\theta\}, \{w\})$ pourrait être recherchée en s’inspirant par exemple du travail de Doyle [50] qui rend compte de l’accélération du processus de mûrissement avec la température.

Toutefois dans le cadre de cette première étude, en « négligeant » l’effet d’humidité relative et en profitant du fait que les campagnes de mûrissements ont été réalisées à température constante :

$$- \{\theta\}: t_{\hat{age}} \rightarrow \theta(t_{\hat{age}}) = \theta_{m\hat{ur}issement}, \forall t_{\hat{age}}.$$

il est possible de simplifier le problème et de se ramener à la recherche de la fonction moins générale à deux variables $d_{m\hat{ur}}(t_{\hat{age}}, \theta_{m\hat{ur}issement})$ figurant dans l’équation 5.210 .

En supposant A nulle à l’instant initial et croissante à la fois avec le temps et la température de mûrissement (à température actuelle donnée), on déduit les propriétés suivantes attendues pour une telle fonction $d_{m\hat{ur}}$:

- $d_{m\hat{ur}}(t_{\hat{age}} = 0, \theta_{m\hat{ur}issement}) = 0, \forall \theta_{m\hat{ur}issement}$.
- $\frac{\partial d_{m\hat{ur}}}{\partial t_{\hat{age}}} \geq 0$.
- $\frac{\partial d_{m\hat{ur}}}{\partial \theta_{m\hat{ur}issement}} \geq 0$.

Dans la section suivante, nous allons donc chercher à identifier plus largement les valeurs expérimentales de A et à tester à partir de celles-ci les hypothèses émises ici.



V.4.4. Fonction $A(\theta_{actuelle}, d_{m\hat{u}r})$ de mûrissement et de sensibilité à la température actuelle – Identification de ses valeurs expérimentales

Intéressons-nous en premier aux valeurs de A obtenues aux différents âges du matériau mûri à 35°C et 45% d’HR, en nous limitant aux résultats des essais œdométriques effectués à 20°C. Du reste, nous choisissons dans la suite cette valeur de 20°C comme température de référence de la fonction $a(\theta_{actuelle})$, si bien que par construction et sans restriction particulière, $a(20\text{ °C}) = 1$, soit encore $A(20\text{ °C}, d_{m\hat{u}r}) = d_{m\hat{u}r}(t_{\text{âge}}, \theta_{\text{mûrissement}})$.

L’identification des différentes valeurs de A en fonction des temps de mûrissement est effectuée comme montré dans le cas des essais à 84 jours en recherchant le meilleur ajustement en termes de module et déphasage entre les cycles œdométriques contrainte/déformation simulés et les cycles expérimentaux.

Le Tableau 35 présente les résultats ainsi obtenus pour la fonction $A(20\text{ °C}, d_{m\hat{u}r})$ ou ce qui revient au même ici pour la fonction « degré de mûrissement » $d_{m\hat{u}r}(t_{\text{âge}}, 35\text{ °C})$, aux dix âges de mûrissement sondés au cours de cette campagne.

Tableau 35 - Evolution du paramètre A pour le mûrissement à 35 °C et 45 % d’HR.

| Mûrissement (jour) | 2 | 4 | 7 | 9 | 11 | 21 | 43 | 64 | 78 | 84 |
|---|------|-----|---|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| $d_{m\hat{u}r}(t_{\text{âge}}, 35\text{ °C})$ $= A(20\text{ °C}, d_{m\hat{u}r})$ | 0,95 | 3,7 | 7 | 12 | 21 | 40 | 80 | 130 | 160 | 160 |

Le même travail a été effectué sur la campagne de mûrissement effectuée à 15°C et 45% d’HR et les essais œdométriques à 20°C.

Le Tableau 36 présente l’évolution de A obtenue dans ce cas.

Tableau 36 - Evolution du paramètre A pour le mûrissement à 15 °C et 45 % d’HR.

| Mûrissement (jour) | 2 | 4 | 7 | 9 | 21 | 43 | 64 | 78 | 84 |
|---|------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|
| $d_{m\hat{u}r}(t_{\text{âge}}, 15\text{ °C})$ $= A(20\text{ °C}, d_{m\hat{u}r})$ | 0,45 | 2,3 | 2,9 | 6,5 | 17 | 42 | 56 | 63 | 62 |

L’ensemble des résultats est présenté sur la Figure 178 sous forme de courbes d’évolution temporelle de $d_{m\hat{u}r}$. Celles-ci revêtent une croissance quasi-linéaire se terminant par des paliers horizontaux, indiquant *a priori* la fin des processus de mûrissement pour les conditions expérimentales testées. Comme attendu, la cinétique de mûrissement est plus élevée à 35 qu’à 15°C. De façon moins intuitive par contre, on observe des valeurs paliers atteintes à 35 et 15°C fortement différentes l’une de l’autre, pouvant indiquer que la température de mûrissement ne joue pas seulement sur la cinétique d’évolution des liants des GE, mais aussi sur la nature même des réactions physico-chimiques ou leur nombre, activées au sein de ces matériaux.



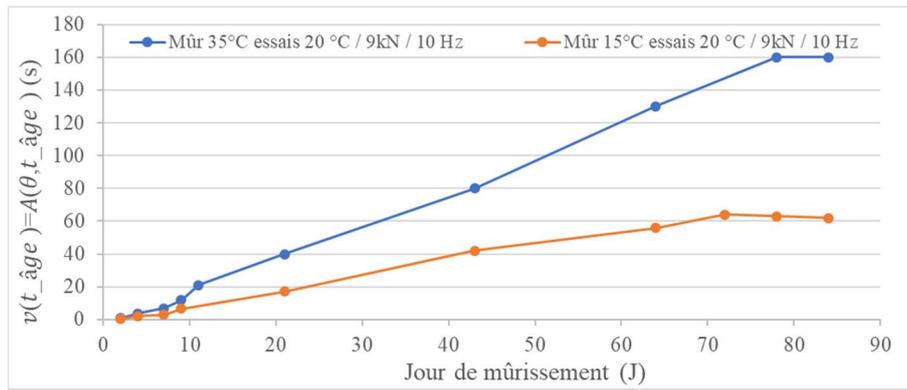


Figure 178 - Evolutions des degrés de mûrissement $d_{mûr}(t_{âge}, 35 °C)$ et $d_{mûr}(t_{âge}, 15 °C)$ en fonction de l’âge du matériau.

V.4.4.1. Identification de la fonction $a(\theta_{actuelle})$

Toujours dans l’hypothèse de factorisation de la fonction A , déterminons à présent les valeurs et l’évolution de la fonction $a(\theta_{actuelle})$ en élargissant la base de résultats aux différentes températures d’essais œdométriques et aux différents âges et températures de mûrissement.

A température et âge de mûrissement donnés et donc à valeur $d_{mûr}$ fixée, nous avons d’après notre hypothèse de factorisation :

$$a(\theta_{essai}) = A(\theta_{essai}, d_{mûr}) / A(20 °C, d_{mûr}) = A(\theta_{essai}, d_{mûr}) / d_{mûr}$$

en notant θ_{essai} la température des essais œdométriques.

Les Tableau 37 et Tableau 38 présentent les valeurs expérimentales de $a(\theta_{essai})$ ainsi déterminées par comparaison des essais œdométriques réalisés aux températures de 15, 20 et 35 °C aux divers âges de mûrissement des échantillons mûris à 35 et 15 °C. Les tableaux sont complétés de la valeur de référence $a(\theta_{essai}) = 1$ à 20 °C.

Tableau 37 – Valeurs expérimentales de $a(\theta_{essai})$ en fonction de la température d’essai œdométrique pour un mûrissement à 35 °C.

| Age mûrissement $t_{âge}$ (Jour) | Température d’essai œdométrique θ_{essai} (°C) | A (s) | $a(\theta_{essai}) =$ $A(\theta_{essai}, t_{âge}) / A(20 °C, t_{âge})$ |
|-------------------------------------|--|---------|---|
| 7 | 20 | 7 | 1,0 |
| 7 | 35 | 1,4 | 0,2 |
| 21 | 15 | 52 | 1,3 |
| 21 | 20 | 40 | 1,0 |
| 21 | 35 | 7 | 0,2 |
| 72 | 15 | 150 | 1,4 |
| 72 | 20 | 110 | 1,0 |
| 72 | 35 | 25 | 0,2 |



Chapitre V – Résultats des différentes campagnes d’essais et mise en œuvre du modèle

Tableau 38 - Valeurs expérimentales de $a(\theta_{essai})$ en fonction de la température d’essai œdométrique pour mûrissement à 15 °C.

| Age mûrissement $t_{\text{âge}}$ (jour) | Température d’essai œdométrique θ_{essai} (°C) | A (s) | $a(\theta_{essai}) =$ $A(\theta_{essai}, t_{\text{âge}})/A(20^{\circ}\text{C}, t_{\text{âge}})$ |
|--|--|---------|--|
| 7 | 15 | 3,8 | 1,3 |
| 7 | 20 | 2,9 | 1,0 |
| 7 | 35 | 0,9 | 0,3 |
| 21 | 15 | 24 | 1,4 |
| 21 | 20 | 17 | 1,0 |
| 21 | 35 | 1,9 | 0,1 |
| 72 | 15 | 83 | 1,3 |
| 72 | 20 | 64 | 1,0 |
| 72 | 35 | 6 | 0,1 |

La Figure 179 représente l’ensemble des valeurs a obtenues en fonction de la variable θ_{essai} .

Nous observons alors que celles-ci sont quasi indépendantes des valeurs $t_{\text{âge}}$ et $\theta_{mûrissement}$, ce qui vient confirmer avec une bonne approximation notre hypothèse de factorisation de A et d’indépendance des propriétés de thermo-susceptibilité des liants de GE vis-à-vis de leur degré de mûrissement.

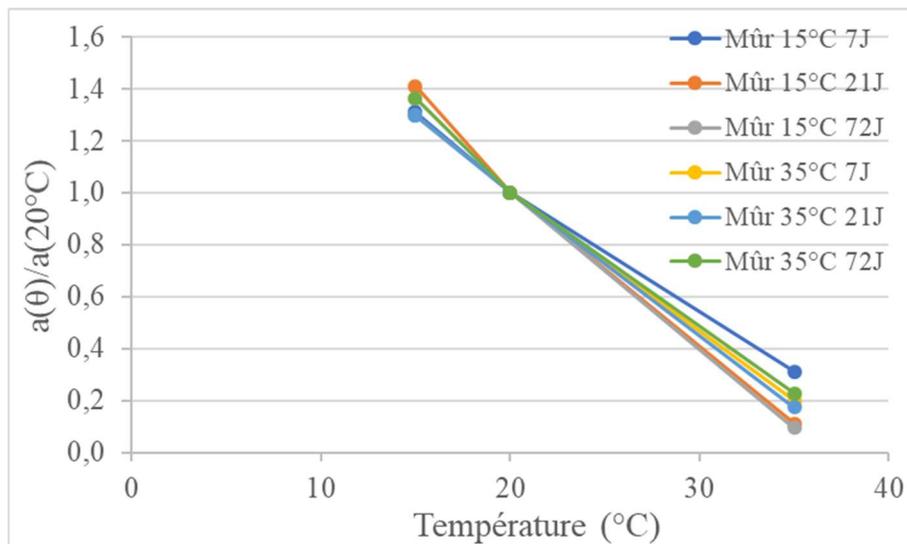


Figure 179 - Evolution du paramètre A en fonction de la température d’essai.

La Figure 180 montre qu’il est possible par ailleurs de trouver un bon ajustement de la fonction $a(\theta)$ par la loi WLF [60] :

$$\log a(\theta) = \frac{-C_1(\theta-20)}{C_2+(\theta-20)} \text{ avec } C_1 = -1,05 \text{ et } C_2 = -36,49 \quad \text{Equation 212}$$



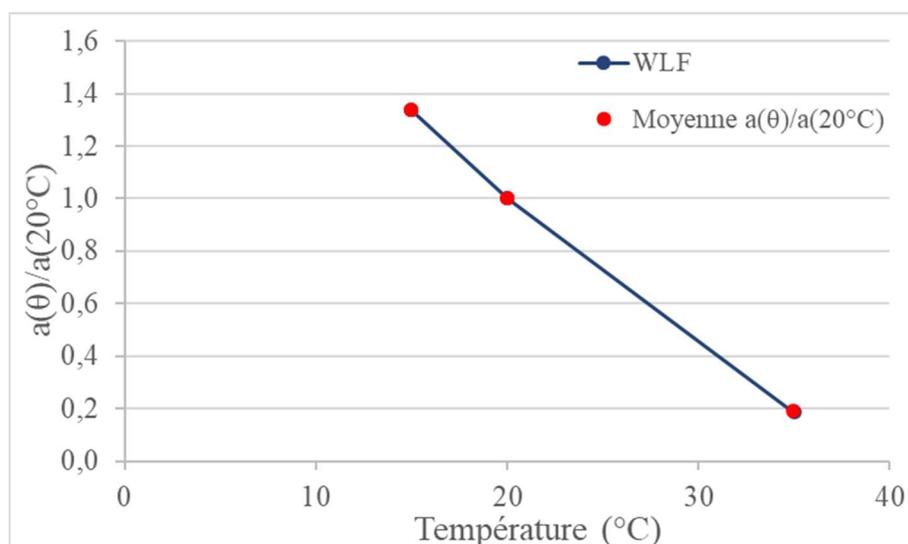


Figure 180 – Calage de la variation de $a(\theta)$ normalisé avec la température d’essai.

Nous venons de caler dans cette partie les différents paramètres du modèle VENL 3D avec l’hypothèse $\delta = 1$.

Nous reprenons dans la partie suivante cette étude en permettant au paramètre δ de varier, sachant que ce coefficient joue le rôle d’un pseudo-coefficient de Poisson intervenant dans la « répartition » des effets volumiques et déviatoriques, connus dans le cas des enrobés à chaud comme étant variables en fonction des conditions d’essai (ex : sous sollicitation cyclique, le coefficient de Poisson des EB à chaud est trouvé variable en fonction de la température et de la fréquence d’essai). On traite donc dans la suite δ comme un paramètre de calage variable, à déterminer expérimentalement, au même titre que A .

V.4.5. Calage des paramètres viscoélastiques à valeur δ variable

La démarche d’étude et notamment d’identification des paramètres est la même que précédemment. Elle s’appuie sur la constitution d’un nouvel ensemble de courbes œdométriques simulées, calculées par VENL 3D, où sont variées A et δ , tout en fixant les valeurs des exposants des fonctions de fluage à celles trouvées précédemment ($\gamma = 0,25$ $\beta = 0,4$). On étend par ailleurs cette étude paramétrique et l’examen détaillé des courbes expérimentales, à la prise en compte de l’effet « fréquence » des essais œdométriques, qui précédemment avait été gardé constant en ne regardant que les essais effectués à 10 Hz.

On détermine alors les valeurs expérimentales de A et δ à partir des meilleurs ajustements trouvés entre cycles œdométriques calculés et mesurés.

A titre d’exemple la Figure 181 illustre le meilleur calage obtenu sur les cycles œdométriques expérimentaux, effectués à 20 °C, 9kN, à 1, 3 et 10Hz sur les éprouvettes mûries à 35 °C, 45% d’HR, 84 jours. On observe un bon accord essais/modèle pour les 3 fréquences. Le jeu de paramètres correspondant est celui du Tableau 39. En particulier la valeur de δ est trouvée ici égale



à 0,54, ce qui entraîne aussi une modification de la valeur de A par rapport à celle obtenue précédemment pour $\delta = 1$.

Tableau 39 – Exemple de valeurs des paramètres du modèle VENL 3D incluant le calage de δ .

| A | δ | γ (MPa) | β (MPa) |
|-----|----------|----------------|---------------|
| 59 | 0,54 | 0,25 | 0,4 |

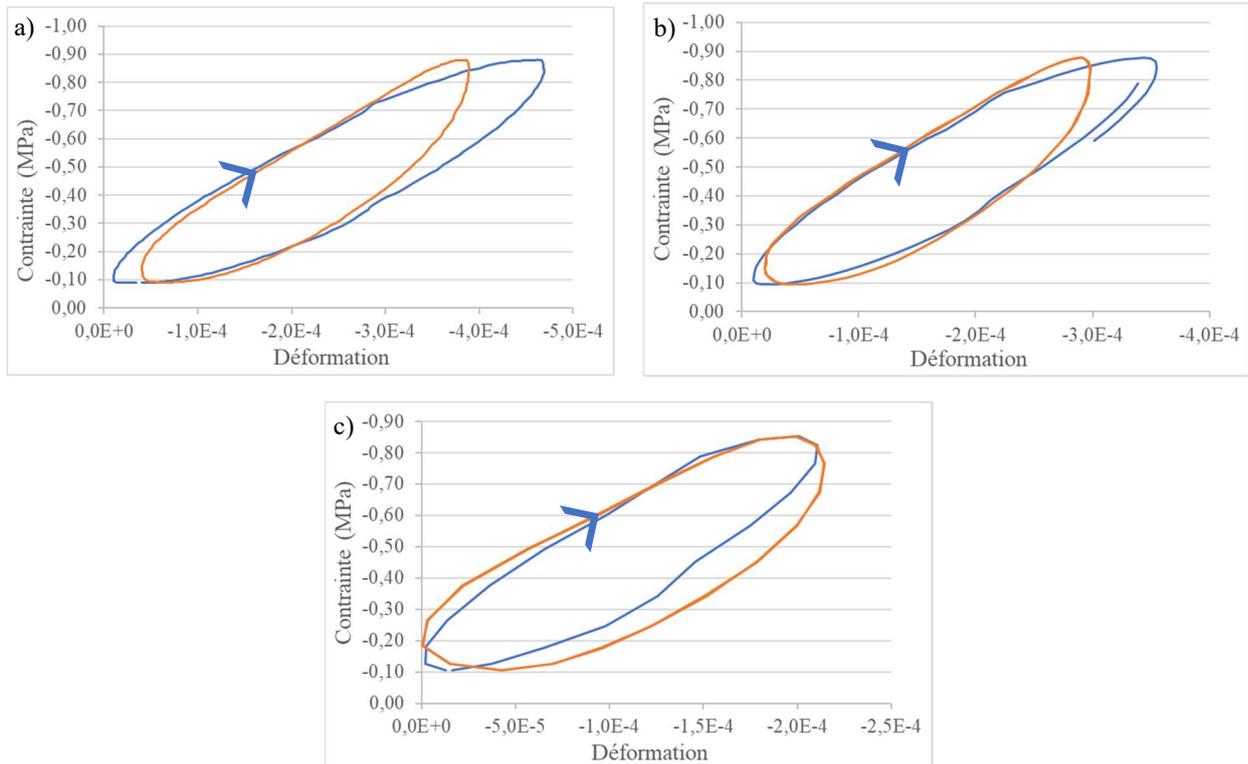


Figure 181 – Calage à δ libre des cycles de chargement pour un mûrissement de 84 jours à 35 °C et 45 % d’HR. Essais α dométriques à 20 °C et 9 kN a) Eprouvette 4 à 1 Hz b) Eprouvette 4 à 3 Hz c) Eprouvette 4 à 10 Hz. Données de calage Tableau 39.

V.5. Fonction $\delta(\theta_{actuelle}, d_{m\hat{u}r})$ de mûrissement et de sensibilité à la température actuelle

Réappliquons à δ l’hypothèse de factorisation utilisée pour A , en utilisant la même fonction $a(\theta_{actuelle})$ de thermo-susceptibilité du liant, mais en introduisant une nouvelle variable « degré de mûrissement » notée $\delta_{m\hat{u}r}$, soit :

$$\delta(\theta_{actuelle}, \delta_{m\hat{u}r}) = a(\theta_{actuelle}) \delta_{m\hat{u}r}(t_{\hat{a}ge}, \theta_{m\hat{u}rissement}) \tag{Equation 213}$$

Les résultats expérimentaux utilisés pour ce calage proviennent d’essais réalisés à 9 kN, 10 Hz et 20 °C avec un mûrissement réalisé à 35 °C et 45 % d’HR. Les Tableau 40, Tableau 40 présentent les valeurs $\delta_{m\hat{u}r}$ et les nouvelles valeurs $d_{m\hat{u}r}$ obtenues par calage des campagnes de mûrissement effectuées à 35 °C et 45 % d’HR et 15 °C et 45 % d’HR.



Tableau 40 - Evolution de $d_{m\grave{a}r}$ et $\delta_{m\grave{a}r}$ pour le mûrissement à 35 °C et 45 % d’HR.

| Mûrissement (jour) | 2 | 4 | 7 | 9 | 21 | 43 | 64 | 78 | 84 |
|------------------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $d_{m\grave{a}r}$ | 0,95 | 2,85 | 4,98 | 8,47 | 23,74 | 45,38 | 51,80 | 53,15 | 58,74 |
| $\delta_{m\grave{a}r}$ | 1,00 | 0,85 | 0,79 | 0,73 | 0,62 | 0,56 | 0,55 | 0,55 | 0,54 |

Tableau 41 - Evolution de $d_{m\grave{a}r}$ et $\delta_{m\grave{a}r}$ pour le mûrissement à 15 °C et 45 % d’HR.

| Mûrissement (jour) | 2 | 4 | 7 | 9 | 21 | 43 | 64 | 72 | 84 |
|------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| $d_{m\grave{a}r}$ | 0,49 | 1,75 | 2,58 | 4,66 | 9,88 | 11,43 | 21,32 | 29,08 | 31,01 |
| $\delta_{m\grave{a}r}$ | 1,11 | 0,92 | 0,87 | 0,79 | 0,71 | 0,69 | 0,63 | 0,60 | 0,59 |

Les évolutions temporelles correspondantes de la fonction $\delta_{m\grave{a}r}$ sont représentées sur la Figure 182. Celles-ci sont croissantes avec le temps et montrent une cinétique plus élevée à 35 qu’à 15 °C. Les effets de palier aux alentours des 84 jours sont moins marqués que sur $d_{m\grave{a}r}$ et il est donc plus difficile de se prononcer sur une différence d’asymptote à long terme.

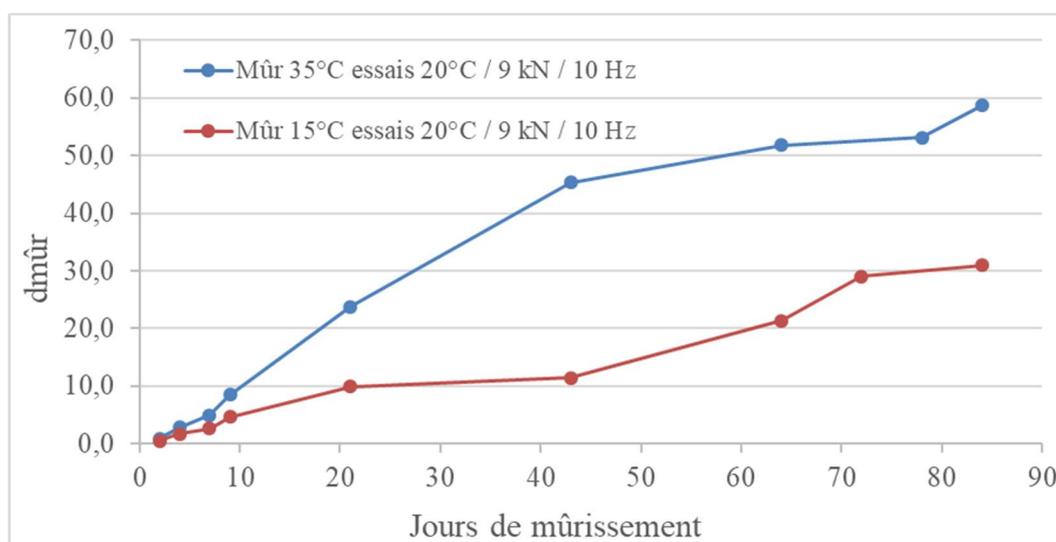


Figure 182 - Evolution de $\delta_{m\grave{a}r}$ avec le mûrissement.

V.6. Conclusion

Ce chapitre a permis d’exposer les principaux résultats expérimentaux tirés de nos campagnes de mûrissement et de les confronter, plutôt avec succès, aux propriétés du modèle VENL 3D, confortant par là même la phénoménologie sous-tendue dans sa construction.

Les stratégies de calage des paramètres adoptées ici ont montré leur efficacité, même si des voies d’amélioration restent possibles.

Nous avons ainsi observé que la réponse du matériau au jeune âge était essentiellement caractérisée par un comportement élastique non linéaire (forme convexe des courbes de montée en charge des



cycles œdométriques, comportement peu dépendant de la fréquence mais dépendant de la force) pour évoluer vers un comportement principalement viscoélastique (cycles de chargement elliptiques, dépendant de la fréquence et de la température).

Nous avons vu que les propriétés évolutives du matériau en fonction de son âge (mûrissement) et que ses propriétés thermo-susceptibles étaient factorisables, ce qui est source de simplifications intéressantes pour l’étude de ces matériaux.

L’identification de la fonction de mûrissement $d_{mûr}$ montre un fait important : l’existence à long terme de seuils de maturité, fonction des conditions de mûrissement. Ainsi un matériau mûri à 20°C ne pourra jamais, même à long terme, réussir à atteindre les niveaux de performance (en rigidité) d’un matériau mûri à 35 °C (cf. Figure 142). Il conviendra dans le futur d’approfondir ce point et de rechercher des modèles généraux d’évolution du mûrissement, permettant de tenir compte non seulement d’historiques de température non nécessairement constants (cf. périodes été/hiver), mais aussi d’intégrer la variable « humidité » également hautement variable en conditions *in situ*.





Chapitre VI. Conclusion

Les graves émulsions sont des matériaux largement utilisés en France en technique routière, pour l'entretien des chaussées à faible trafic, car elles font preuve d'un bon comportement mécanique, résistant au temps. Leur mode de fabrication à froid leur confère de surcroît d'intéressantes propriétés environnementales, particulièrement recherchées aujourd'hui. Ceci conduit à se poser la question de la possibilité d'étendre le domaine d'emploi des graves émulsions aux chaussées à moyen ou fort trafics, sous forme de couches structurelles introduites dès la conception. Le cas échéant, des règles de dimensionnement de telles structures devront être édictées en fonction des trafics à supporter.

Cette thèse, l'une des premières avec cette finalité, a comme premiers objectifs la caractérisation en laboratoire du comportement mécanique évolutif des graves émulsions et l'élaboration d'un modèle, susceptible, tel quel ou sous forme simplifiée, d'être introduit plus tard au sein d'une méthode de dimensionnement des chaussées.

Compte tenu du faible nombre de travaux trouvés dans la bibliographie sur le sujet, notre étude s'est focalisée sur les effets mécaniques de premier ordre, à savoir les déformations réversibles.

La première partie de la thèse (chapitres II et III) porte sur le développement du modèle, initié dès le début de thèse, en l'absence des résultats expérimentaux obtenus par la suite.

De manière générale le modèle a été conçu pour rendre compte d'une évolution continue entre :

- Un comportement de type élastique non linéaire, caractéristique des graves non traitées et donc représentatif *a priori* des graves émulsions au très jeune âge.
- Et un comportement de type thermo-viscoélastique linéaire, représentatif du comportement des enrobés et donc des graves émulsions à l'état mûri.

La « synthèse » entre les deux types de comportement est effectuée au travers de leurs décompositions spectrales respectives, qui conduisent à introduire des spectres d'éléments à trois branches constituées de ressorts, butées et amortisseurs linéaires. Dans ce modèle, le mûrissement et la thermo-sensibilité du matériau sont considérés comme uniquement liés à des variations proportionnelles entre elles, de viscosité des amortisseurs.

Dans un premier temps (chapitre II), le modèle a été développé et numérisé en 1D afin de mieux en asseoir ses bases et son potentiel. Le modèle (chapitre III) a ensuite été tensorialisé en hypothèse isotrope, en considérant ses deux composantes volumique et déviatorique. La construction du modèle s'appuie sur la loi de Boyce pour la partie élastique non linéaire et sur la donnée de deux fonctions de fluage volumique et déviatorique, indépendantes et à évolution parabolique pour la partie viscoélastique. Le modèle obtenu (VENL3D) se compose au final de deux spectres volumique et déviatorique d'éléments en série, à trois branches, construits suivant les principes du modèle 1D. Le caractère non linéaire de la loi de Boyce entraîne toutefois un couplage des deux composantes. Le modèle a été numérisé pour son utilisation pratique.

La seconde partie (chapitres IV et V) de la thèse est dédiée à la partie expérimentale du travail.



Un protocole d'essais a été défini, consistant à faire mûrir des éprouvettes de grave émulsion pendant plusieurs semaines, à différentes températures, maintenues constantes et à intercaler en des petits pas de temps au début, plus grands vers la fin, de courtes campagnes de mesures de type « module complexe », effectuées en condition œdométrique et pour différents jeux de fréquences, températures et amplitudes de sollicitation.

Ceci nous a conduit dans une première étape du volet expérimental à concevoir et mettre au point l'essai œdométrique (chapitre IV), qui présente l'intérêt de pouvoir tester les graves émulsions dès leur plus jeune âge, à leur état non encore ou peu cohésif. Les tests de validation du dispositif sur des matériaux connus comme le BBSG et le Delrin® ont montré la pertinence et le degré de précision des résultats mesurés.

Nous avons alors pu mettre en œuvre le protocole expérimental d'ensemble, visé, sur des éprouvettes de grave émulsion conservées, muries et testées tout du long de la campagne d'essais, dans leurs moules œdométriques afin d'éviter des remaniements de matériau.

Nous avons ainsi pu dresser une vaste base de données de valeurs de module œdométrique, fonction :

- De la formulation des graves émulsions testées.
- Des températures, humidités et temps de mûrissement des matériaux.
- Des fréquences, températures et amplitudes de sollicitation des essais œdométriques eux-mêmes.

L'analyse de ces mesures, réalisée dans le dernier chapitre (chapitre V), confirme *a posteriori* le bien-fondé des hypothèses considérées dans la construction de la loi de comportement des graves émulsions.

On constate ainsi au jeune âge, comme attendu, un comportement essentiellement de type élastique non linéaire (accompagné d'une certaine hystérésis due au petit nombre de cycles de chargement), avec des valeurs de module relativement faibles et peu sensibles aux changements de fréquence et température des essais œdométriques.

On mesure par la suite une augmentation régulière du module des éprouvettes en fonction du temps de mûrissement, avec une dépendance de plus en plus forte aux conditions d'essais œdométriques, identique en grande part à celle observée sur les enrobés bitumineux fabriqués à chaud. Le mûrissement des graves émulsions se traduit donc bien essentiellement, comme anticipé, par une augmentation de viscosité du liant (à température donnée).

La comparaison entre les diverses éprouvettes de la campagne d'essais montre par ailleurs que cet accroissement des propriétés mécaniques des graves émulsions croît avec la température de mûrissement. En même temps, il est intéressant d'observer que les valeurs « asymptotiques » dans le temps du module des enrobés à l'émulsion (sous conditions de fréquences et températures fixées) dépendent de la température de mûrissement. Plus celle-ci est élevée, plus les valeurs asymptotiques de module sont élevées. Ceci pourrait signifier non seulement une accélération des vitesses de réaction chimique s'opérant dans le liant avec la température, mais aussi l'activation d'un plus grand nombre de ces réactions avec la température.



Au contraire, l'influence de l'humidité de mûrissement semble influencer sur la cinétique de mûrissement, mais pas sur l'asymptote finale des valeurs de module.

En plus de l'enrobé à l'émulsion, nous avons voulu voir les résultats d'essais œdométriques sur un matériau à l'émulsion de bitume intégrant 100% d'agrégats d'enrobé. Ce matériau a seulement été étudié lors d'un essai de mûrissement en température. Nous avons pu constater que son module œdométrique évoluait mais de façon moins importante que pour un enrobé à l'émulsion « classique ». En revanche, ses performances mécaniques étaient bien plus élevées.

En dernière partie de thèse (fin du chapitre V), nous avons confronté le modèle VENL3D à l'ensemble des résultats expérimentaux.

Nous avons réussi à identifier facilement les paramètres du modèle ENL 3D à partir des résultats expérimentaux au jeune âge du matériau ainsi que les paramètres complémentaires du modèle VENL 3D à partir des essais sur matériau fortement mûri. A partir de ces paramètres, nous avons pu vérifier que les résultats expérimentaux obtenus aux états intermédiaires de mûrissement pouvaient être convenablement calés à partir de la seule détermination des variables A et δ . Nous avons présenté différents types de calage possible de ces deux paramètres en factorisant A soit par un seul paramètre prenant en compte l'effet couplé de l'humidité et de la température soit en utilisant deux facteurs, l'un dépendant de l'humidité et l'autre de la température. Un autre facteur de la fonction A est la dépendance à la température d'essai $a(\theta)$ que nous avons réussi à identifier grâce à la loi Williams Landel Ferry.

A mûrissement donné, l'une des preuves de pertinence du modèle est de rendre correctement compte du déphasage expérimental entre contrainte et déformation, trouvé croissant en fonction de la fréquence au cours des essais œdométriques.

Nos travaux ont donc permis d'atteindre en grande partie les objectifs assignés initialement au sujet de thèse, en débouchant sur la construction d'une loi de comportement évolutive des graves émulsions et un jeu de paramètres numériques associé, en bonne adéquation avec la réponse réelle de ces matériaux sous sollicitation mécanique et les phénomènes physiques macroscopiques qui gouvernent leur comportement.

Il reste toutefois un certain nombre d'étapes à franchir pour aller vers un dimensionnement de chaussée intégrant des couches structurelles d'enrobé à l'émulsion.

La première est sans doute d'intégrer la loi VENL3D, sous sa forme présente ou sous une forme simplifiée à définir, au sein d'un code aux éléments finis de façon à déterminer les champs et les chemins de déformation (réversible) et de contrainte, susceptibles de se développer dans une chaussée avec grave émulsion structurante, soumise aux effets d'un trafic routier et de conditions environnementales variables. Ces calculs seront à effectuer à différents stades de mûrissement du matériau, afin d'évaluer les modifications de fonctionnement de la chaussée en fonction de son âge.



Dans un second temps, ces champs seront à analyser afin de déterminer les risques d'endommagement à long terme de telles chaussées. On examinera au sein de celles-ci :

- Le cas des matériaux usuels (sol, GNT, EB à chaud...) pour lesquels les mécanismes de dégradation, sous l'effet de contraintes ou déformations répétées sont déjà identifiés et quantifiés au travers de critères connus,
- Le cas des couches de grave émulsion elles-mêmes, pour lesquelles on ignore encore le(s) mode(s) de fatigue.

Pour ces dernières, on pourra notamment représenter les chemins de déformation ou de contrainte dans les plans usuels de la Mécanique des Milieux Continus, connus comme permettant de cerner le fonctionnement local de la matière au sein d'une structure (ex : plans (p, q) , $(\varepsilon_p, \varepsilon_q)$ largement utilisés dans cette thèse, plans de Mohr en déformations ou en contraintes, etc.).

En troisième étape, on pourra alors revenir à un travail expérimental, destiné à étudier le(s) mode(s) d'endommagement des enrobés à l'émulsion sous sollicitations répétées et à formuler pour ceux-ci des critères de « fin de vie ». Pour ce faire, les résultats de l'étape 2 décrite ci-dessus permettront de préciser les besoins ou non de développer un nouvel essai et permettront dans tous les cas (reprise d'un essai existant ou développement de nouvel essai) de déterminer les sollicitations mécaniques à exercer, les plus appropriées, en relation avec le comportement attendu des infrastructures à construire.

La réalisation d'ensemble d'un tel programme devrait au final permettre de déboucher sur une méthode de dimensionnement pour chaussée avec grave émulsion structurante, accompagnée d'une méthode de caractérisation de ces matériaux en laboratoire, en 2 volets : l'un portant sur leur comportement réversible évolutif, l'autre sur leur critère d'endommagement sous charges répétées.



Bibliographie

- [1] DRCR, SETRA, and LCPC, “Catalogue des nouvelles structures de chaussée,” 1971.
- [2] SETRA and LCPC, “Catalogue des nouvelles structures de chaussée,” 1977.
- [3] SETRA and LCPC, “Conception et dimensionnement des structures de chaussée,” 1994.
- [4] Y. Brosseau, “Warm asphalt - overview in France,” *Warm-mix Asph. Int. Conf. Nashville, USA*, 2008.
- [5] AFNOR, “Norme XP P 18-540 : Granulats - définitions, conformité, spécifications,” 1997.
- [6] AFNOR, “Norme NF P 18-573 - Granulats - essai Los Angeles,” 1990.
- [7] AFNOR, “Norme NF P 18-572 : Granulats - essai d’usure micro-Deval,” 1990.
- [8] AFNOR, “Norme NF P 18-575 : Granulats - mesure de la rugosité d’une surface à l’aide du pendule de frottement,” 1990.
- [9] AFNOR, “Norme XP P 18-580 : Granulats - détermination de la résistance au polissage accéléré des gravillons,” 1997.
- [10] AFNOR, “Norme NF P 18-560 : Granulats - Analyse granulométrique par tamisage,” 1990.
- [11] AFNOR, “Norme NF P 94-057 : Analyse granulométrique des sols - Méthode par sédimentation,” 1992.
- [12] AFNOR, “Norme NF P 18-561 : Granulats - Mesure du coefficient d’aplatissement,” 1990.
- [13] AFNOR, “Norme NF EN 933-9 : Qualification des fines - Essai au bleu de méthylène,” 2009.
- [14] H. Di Benedetto and J.-F. Corté, “Matériaux routiers bitumineux: description et propriétés des constituants, tome 1,” 2004.
- [15] D. Whiteoak, “The shell bitumen Handbook,” *Publ. by Shell Bitum. U.K.*, 1990.
- [16] AFNOR, “Norme NF EN 13808 : Bitumes et liants bitumineux - Cadre de spécifications pour les émulsions cationiques de liants bitumineux,” 2013.
- [17] AFNOR, “Norme NF EN 1426 : Bitumes et liants bitumineux - Détermination de la pénétrabilité à l’aiguille,” 2007.
- [18] AFNOR, “Norme NF EN 1427 : Bitumes et liants bitumineux - Détermination du point de ramollissement - Méthode Bille et Anneau,” 2007.
- [19] H. Di Benedetto and J.-F. Corté, “Matériaux routiers bitumineux: constitution et propriétés thermomécaniques des mélanges, tome 2,” *Hermès Lavoisier*, pp. 286–288, 2004.
- [20] C. Huet, “Comportement viscoélastique d’un matériau hydrocarboné,” *C.R. Acad. Sci. Paris*, vol. 257, pp. 1438–1442, 1963.
- [21] G. Sayegh, “Contribution à l’étude des propriétés viscoélastiques des bitumes purs et bétons bitumineux,” *Thèse Dr. Fac. des Sci. Paris*, 1965.
- [22] USIRF, “Les enrobés bitumineux Tome 1,” 2001.



- [23] AFNOR, “Norme NF P 98-252 : Détermination du comportement au compactage des mélanges hydrocarbonés – Essai de compactage à la presse à cisaillement giratoire (PCG),” 1999.
- [24] AFNOR, “Norme NF P 98-251-1 : Essais statiques sur mélanges hydrocarbonés - Essai DURIEZ,” 2002.
- [25] AFNOR, “Norme NF EN 12697-26 : Méthodes d’essai pour mélange hydrocarboné à chaud : module de rigidité,” 2012.
- [26] AFNOR, “Norme NF EN 12697-24 : Méthodes d’essai pour mélange hydrocarboné à chaud : résistance à la fatigue,” 2012.
- [27] E. M. Davalle, “Modèle numérique du comportement d’un sol liquéfiable sous sollicitations dynamiques,” *Thèse Dr. Ec. Polytech. fédérale Lausanne, EPFL*, 1991.
- [28] J. R. Boyce, “A non linear model for the elastic behaviour of granular materials under repeated loading,” , *Int. Symp. Soils under Cycl. Transient Loading, Swansea, U.K.*, p. p 285-294., 1980.
- [29] AFNOR, “XP P94-090-1 Sols : Essai oedométrique : essai de compressibilité sur matériaux fins quasi saturés avec chargement par paliers,” 1997.
- [30] AFNOR, “Norme NF P94-074 Sols : reconnaissance et essais - Essais à l’appareil triaxial de révolution,” 1994.
- [31] S. Goyer, M. Dauvergne, L. Wendling, J. c. Fabre, C. De La Roche, and V. Gaudefroy, “Environmental evaluation of gravel emulsion,” *Int. Symp. Life Cycle Assess. Constr.*, no. 2, pp. 170–178, 2012.
- [32] J. Valentin, V. Snížek, J. Hradil, and M. Engels, “Guide for using suitable eco-balance tools to evaluate the environmental compatibility of cold recycling CEDR Call2012 : Recycling : Road construction in a,” pp. 1–30, 2015.
- [33] S. Maccarrone, G. Holleran, and A. Ky, “Cold asphalt systems as an alternative to hot mix,” *Proceedings of the 9th AAPA international Asphalt conference. Australia: AAPA*. 1994.
- [34] L. Wendling, V. Gaudefroy, J. Gaschet, S. Ollier, and S. Gallier, “Evaluation of the compactability of bituminous emulsion mixes : experimental device and methodology,” *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 8436, no. November 2014, pp. 37–41, 2014.
- [35] L. Wendling *et al.*, “Comportement et étude des graves-émulsion - Coopération public-privé - Compactabilité des enrobés à l’émulsion de bitume,” *R.G.R.A.*, no. n°901, pp. 39–44, 2012.
- [36] P. Hornych, V. Gaudefroy, J. L. Geffard, and S. Goyer, “Study of the mechanical behaviour of gravel-emulsions using triaxial tests,” *Proc. 7th Int. RILEM Symp. Adv. Test. Charact. Bitum. Mater. Rhodes, Greece*, no. March, pp. 639–650, 2009.
- [37] J. P. Serfass, J. E. Poirier, J. P. Henrat, and X. Carbonneau, “Influence of curing on cold mix mechanical performance,” *Mater. Struct. Constr.*, vol. 37, no. 269, pp. 365–368, 2004.
- [38] P. Redelius, J. Östlund, and H. Soenen, “Field experience of cold mix asphalt during 15 years,” vol. 629, no. August, 2015.
- [39] A. Béghin *et al.*, “Comportement et étude des graves-émulsion - Coopération public-privé - Mûrissement et évolution temporelle des propriétés de l’enrobé et des caractéristiques du



- liant,” *R.G.R.A.*, no. n°902, pp. 54–62, 2012.
- [40] J. P. Triquigneaux, L. Wendling, L. Odie, D. Claudel, and V. Gaudefroy, “Comportement et étude des graves-émulsion - Coopération public-privé - Essai Duriez : teneurs en vides, performances mécaniques, sensibilité à l’eau et caractérisation du liant extraits,” *R.G.R.A.*, no. n°901, 2012.
- [41] Z. Čížková, J. Valentin, J. Suda, O. Krpálek, D. Simnofske, and F. Batista, “Report on Durability of cold-recycled mixes : Test procedures for stiffness determination,” no. September, 2014.
- [42] L. Wendling *et al.*, “Comportement et étude des graves-émulsion - Coopération public-privé - Chantier expérimental de la RD44 ; Suivi du comportement dans le temps,” *R.G.R.A.*, no. n°899, pp. 18–21, 2012.
- [43] J. Valentin, P. Mondschein, J. Fiedler, K. Mollenhauer, F. Batista, and A. C. Freire, “Report on incorporation of cold- recycled pavement layers in empirical and mechanistic pavement design procedures,” pp. 1–40, 2014.
- [44] I. N. A. Thanaya, S. E. Zoorob, and J. P. Forth, “A laboratory study on cold-mix, cold-lay emulsion mixtures,” *Proc. Inst. Civ. Eng. - Transp.*, vol. 162, no. 1, pp. 47–55, 2009.
- [45] P. Leandri, M. Losa, and A. Di Natale, “Field validation of recycled cold mixes viscoelastic properties,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 75, pp. 275–282, 2015.
- [46] D. R. Salomon, “Asphalt emulsion technology,” *ransportation Res. Board, Washington, D.C*, no. August, pp. 1–24, 2006.
- [47] J. P. Serfass, C. De La Roche, L. Wendling, V. Gaudefroy, and F. Verhée, “Comportement et étude des grave émulsion : Coopération public-privé,” *R.G.R.A.*, no. n°896, pp. 1–4, 2011.
- [48] P. Horny, A. Kazai, and J. M. Piau, “Study of the resilient behaviour of unbound granular materials,” *proc. 5th Conf. Bear. Capacit. Roads Airfields, Trondheim, Norw.*, 1998.
- [49] V. Gaudefroy, A. Gros, E. Chailleux, S. Bouron, and L. Laguerre, “Utilisation de la propagation d’ondes ultrasonores pour l’évaluation de la rigidité de matériaux bitumineux routiers,” *Rev. des Compos. des Mater. Av.*, vol. 23, no. 1, pp. 139–153, 2013.
- [50] T. Doyle, C. McNally, A. Gibney, and A. Tabaković, “Developing maturity methods for the assessment of cold-mix bituminous materials,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 38, pp. 524–529, Jan. 2013.
- [51] A. James, “Cold Mix Design In North America,” *Symp. Emuls. cold Mix. - 3rd world Congr. Emuls.*, pp. 63–70, 2002.
- [52] J. P. Serfass, “Emulsion cold mixes : specific features and a new design method,” *Symp. Emuls. - based cold Mix. 3rd world Congr. Emuls. Lyon, Fr.*, p. p 93-111, 2002.
- [53] C. De La Roche and J. P. Serfass, “Comportement et étude des graves-émulsion - Acquis, perspectives et suites proposées,” *R.G.R.A.*, no. N°902, 2012.
- [54] AFNOR, “Norme NF P 98-121 : Assises de chaussées - Grave émulsion - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en oeuvre,” 2014.
- [55] Club d’échange d’expériences sur les routes départementales, “Guide pour la construction des chaussées à faible trafic Bretagne - Pays de Loire,” 2002.
- [56] AFNOR, “Norme NF EN 933-1 : Essais pour déterminer les propriétés géométriques des



- granulats - Détermination de la granularité, analyse granulométrique par tamisage,” 2012.
- [57] AFNOR, “Norme NF EN 1097-6 : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Détermination de la masse volumique réelle,” 2014.
- [58] AFNOR, “Norme NF EN 12697-7 : Méthodes d’essai pour mélange hydrocarboné à chaud : détermination de la masse volumique apparente des éprouvettes bitumineuses par les rayons gamma,” 2003.
- [59] J. Sohm, “Prédiction des déformations permanentes des matériaux bitumineux,” 2011.
- [60] J. D. Ferry, “Viscoelastic properties of polymers,” *John Wiley, New York*, vol. 3rd ed., 1980.
- [61] C. Boutin, C. De La Roche, H. Di Benedetto, and G. Ramond, “De la rhéologie du liant à celle de l’enrobé bitumineux, théorie de l’homogénéisation et validation expérimentale,” *Eurobitume Work. Bruxelles*, 1995.



Comportement mécanique évolutif des enrobés bitumineux à l'émulsion : étude expérimentale et modélisation

Dans un contexte politique où les enjeux énergétiques et environnementaux sont de plus en plus importants, il faut favoriser les techniques économes en énergie et plus respectueuses de l'environnement. Parmi ces pratiques, l'utilisation d'enrobés à l'émulsion de bitume s'est révélée être prometteuse. La fabrication et la conception d'une chaussée comprenant une couche d'enrobé à l'émulsion sont très empiriques et reposent sur des compétences locales qui tendent à en limiter le développement. La première étape pour concevoir une chaussée consiste à connaître le comportement mécanique réversible engendrés par de lourd trafic de chaque matériau qui la compose. Lors d'une deuxième étape, ces valeurs doivent être comparées aux critères de durabilité mécanique des matériaux. Dans le cas de l'enrobé à l'émulsion, aucune loi de comportement mécanique n'a été établie pour tenir compte à la fois de son états frais et durcis. Ce travail de thèse vise donc à pallier à ce manque et à améliorer les connaissances acquises sur ce matériau. Pour cela, un modèle évolutif pour l'enrobé à l'émulsion intégrant l'évolution du matériau de son état frais à l'état durci a été développé. De plus, un nouvel essai de caractérisation a été développé et mis en place pour permettre de suivre l'évolution des performances mécaniques réversibles du matériau. Les résultats obtenus à partir des différentes campagnes d'essais ont permis de caler le modèle et de montrer la pertinence du modèle.

Mots-clés : Enrobé à froid, émulsion de bitume, comportement mécanique, essai œdométrique

Evolutionary mechanical behaviour of cold mix asphalt : experimental study and modelling

Given a political context in which energy and environmental stakes have become increasingly dominant, road engineering practices have favoured saving energy and protecting the environment. Among these practices, the use of cold mixes treated with bitumen emulsion has proven to be a suitable technique. Cold mix design however, as well as the design of pavements including cold mix asphalt layers, is highly empirical and based on local skills. From prior experience, the transposition of established local rules from one site to another and their application to medium or heavy traffic pavements are not simple steps and tend to limit the development of this environmentally-friendly pavement technique. The first step in designing a pavement consists of knowing the stress-strain relationship of its constitutive materials in order to determine the stresses and strains generated by heavy lorry traffic. During a second step, these values must be compared with the mechanical durability of materials by reliance on damage tests comprising large numbers of load cycles. In the case of CMA, no mechanical behaviour law has been established to take into account both the fresh and cured states. This work aims to improve the knowledge acquired on this material. For this, an evolutionary model for the cold mix asphalt with bitumen emulsion incorporating the evolution of the material from its fresh state to its cured state has been developed. In addition, a new characterization test was developed and put in place to monitor the evolution of the reversible mechanical performance of the material. The results obtained from the test campaigns helped to calibrate the model and show the relevance of the model.

Keywords : Cold mix asphalt, bitumen emulsion, mechanical behaviour, oedometric test



Annexe 1 - Calcul de fonction $\zeta(l)$ pour la représentation 1D d'un amortisseur parabolique

Pour déterminer la fonction $\zeta(l)$, partons de la fonction de fluage :

$$F(t) = \int_0^{+\infty} \frac{1}{E} \left(1 - e^{-\frac{t}{\zeta(l)}} \right) dl$$

On suppose $\zeta(l)$ croissante tendant, comme on le montrera en fin de calcul, vers 0 en 0 et vers $+\infty$ en $+\infty$.

Par dérivation temporelle :

$$\dot{F}(t) = \frac{1}{E} \int_0^{+\infty} \frac{1}{\zeta(l)} e^{-\frac{t}{\zeta(l)}} dl$$

Posons : $\frac{1}{\zeta(l)} = u$

Compte-tenu des conditions $\zeta(l) \rightarrow 0$ et donc $u \rightarrow +\infty$ pour $l \rightarrow 0$ d'une part et $\zeta(l) \rightarrow +\infty$ et donc $u \rightarrow 0$ pour $l \rightarrow +\infty$ d'autre part, on a :

$$\dot{F}(t) = -\frac{1}{E} \int_{+\infty}^0 u e^{-ut} \frac{1}{u^2} \frac{d\zeta^{-1}\left(\frac{1}{u}\right)}{du} du$$

$$\dot{F}(t) = \frac{1}{E} \int_0^{+\infty} \frac{e^{-ut}}{u} \frac{d\zeta^{-1}\left(\frac{1}{u}\right)}{du} du$$

Or cette relation peut s'apparenter à une transformée de Laplace en u :

$$\dot{F}(t) = TL[f(u)](t) = \int_0^{+\infty} e^{-ut} f(u) du$$

à condition de poser :

$$f(u) = \frac{1}{E u} \frac{d\zeta^{-1}\left(\frac{1}{u}\right)}{du}$$

On en déduit par transformée de Laplace inverse :

$$\frac{1}{E u} \frac{d\zeta^{-1}\left(\frac{1}{u}\right)}{du} = TL^{-1}\left(\dot{F}(t)\right)(u)$$

soit :

$$\frac{d\zeta^{-1}(v)}{dv} = \frac{E}{v} TL^{-1}\left(\dot{F}(t)\right)\left(\frac{1}{v}\right)$$

Et donc :

$$l = E \int_0^{\zeta} \frac{TL^{-1}\left(\dot{F}(t)\right)\left(\frac{1}{v}\right)}{v} dv$$

Cette expression tient compte de la condition $\zeta(v) \rightarrow 0$ pour $l \rightarrow 0$.

La fonction $\zeta(l)$ s'obtient au final par inversion de cette relation.



Annexe 2 – Modèle VENL 1D - Calcul de la déformation libre d'un élément ouvert pour $\sigma(t)$ affine

L'algorithme de résolution du modèle VENL 1D repose sur le calcul de la déformation libre de l'élément à 3 branches sur un intervalle de temps pour lequel la contrainte $\sigma(t)$ est affine.

Notons :

- t_{ini} = instant initial de l'intervalle de temps considéré,
- t_{fin} = instant final de cet intervalle,
- $\tilde{\varepsilon}(l, t_{ini})$ = valeur de déformation de l'élément à 3 branches l supposée connue à l'instant t_{ini} ,
- σ_{ini} = valeur de contrainte supposée connue à l'instant t_{ini} ,
- σ_{fin} = valeur de contrainte supposée connue à l'instant t_{fin} ,
- $\dot{\sigma} = \frac{\sigma_{fin} - \sigma_{ini}}{t_{fin} - t_{ini}}$

La relation contrainte-déformation de l'élément libre vérifie l'équation :

$$\sigma(t) = \sigma_{ini} + \dot{\sigma}(t - t_{ini}) = E_s \left(\tilde{\varepsilon}(l, t) + \zeta(l) \dot{\tilde{\varepsilon}}(l, t) \right)$$

Recherchons une solution particulière sous la forme :

$$\tilde{\varepsilon}(l, t) = \alpha + \beta t$$

Alors :

$$E_s \left(\tilde{\varepsilon}(l, t) + \zeta(l) \dot{\tilde{\varepsilon}}(l, t) \right) = E_s (\alpha + \beta t + \zeta(l) \beta)$$

soit par identification :

$$\begin{cases} E_s (\alpha + \zeta(l) \beta) = \sigma_{ini} - \dot{\sigma} t_{ini} \\ E_s \beta = \dot{\sigma} \end{cases}$$

et donc :

$$\tilde{\varepsilon}(l, t) = \frac{\sigma_{ini} - \dot{\sigma} t_{ini} - \dot{\sigma} \zeta(l)}{E_s} + \frac{\dot{\sigma}}{E_s} t$$

La solution générale est de la forme :

$$\tilde{\varepsilon}(l, t) = A e^{\frac{-t}{\zeta(l)}}$$

D'où :

$$\tilde{\varepsilon}(l, t) = \frac{\sigma_{ini}}{E_s} + \frac{\dot{\sigma}}{E_s} (t - t_{ini} - \zeta(l)) + A e^{\frac{-t}{\zeta(l)}}$$

Or à l'instant t_{ini} , $\tilde{\varepsilon}(l, t) = \tilde{\varepsilon}(l, t_{ini})$.



On en déduit :

$$\tilde{\varepsilon}(l, t) = \frac{\sigma_{ini}}{E_s} + \frac{\dot{\sigma}}{E_s} (t - t_{ini} - \zeta(l)) + \left(\tilde{\varepsilon}(l, t_{ini}) - \frac{\sigma_{ini}}{E_s} + \frac{\dot{\sigma}}{E_s} \zeta(l) \right) e^{-\frac{(t-t_{ini})}{\zeta(l)}}$$

En particulier pour $t = t_{fin}$:

$$\tilde{\varepsilon}(l, t_{fin}) = \frac{\sigma_{ini}}{E_s} + \frac{\dot{\sigma}}{E_s} (t_{fin} - t_{ini} - \zeta(l)) + \left(\tilde{\varepsilon}(l, t_{ini}) - \frac{\sigma_{ini}}{E_s} + \frac{\dot{\sigma}}{E_s} \zeta(l) \right) e^{-\frac{(t_{fin}-t_{ini})}{\zeta(l)}}$$

On observe que pour une viscosité $\zeta(l) \rightarrow 0$, $\tilde{\varepsilon}^{libre}(l, t_{fin})$ tend vers $\frac{\sigma_{fin}}{E_s}$ comme attendu (comportement élastique seul).



Annexe 3 – Variation de la fonction b_d en fonction de l_d

Montrons de manière générale qu'à valeur ε_v constante, la fonction b_d est décroissante avec l_d .

Partons de l'équation Equation 96, on obtient :

$$b_d = \frac{p}{E_s} \sqrt{\frac{1}{\chi} \left(1 + \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^{-n} \varepsilon_v \right)} = \frac{p_a}{E_s \sqrt{\chi}} \sqrt{\left(\frac{p}{P_a} \right)^2 + \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^{2-n} \varepsilon_v}$$

Cette équation montre qu'à ε_v constant, on obtient après dérivation :

$$db_d = \frac{p_a}{E_s \sqrt{\chi}} \frac{2 \left(\frac{p}{P_a} \right) + (2-n) \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^{1-n} \varepsilon_v}{2 \sqrt{\left(\frac{p}{P_a} \right)^2 + \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^{2-n} \varepsilon_v}} d \left(\frac{p}{P_a} \right)$$

Intéressons-nous au signe du numérateur :

$$N_1 = 2 \left(\frac{p}{P_a} \right) + (2-n) \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^{1-n} \varepsilon_v \equiv 2 + (2-n) \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^{-n} \varepsilon_v$$

Où le symbole \equiv désigne une relation de proportionnalité à travers un coefficient multiplicatif positif.

Or, l'Equation 96 montre que :

$$\varepsilon_v = \chi \left(\frac{b_d E_s}{p} \right)^2 \frac{P_a}{K_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^n - \frac{P_a}{K_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^n > - \frac{P_a}{K_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^n$$

Soit :

$$\frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^{-n} \varepsilon_v > -1$$

D'où :

$$2 + (2-n) \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^{-n} \varepsilon_v > 2 - (2-n) = n$$

Autrement dit, N_1 est toujours positif et donc b_d est une fonction croissante de p .

Regardons maintenant à partir de l'Equation 95, la variation de p en fonction de l_d . Il est possible de réécrire l'Equation 96 sous la forme :

$$\left(\frac{p}{b_d E_s} \right)^2 = \frac{\chi}{1 + \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^{-n} \varepsilon_v}$$

On a par report dans l'Equation 95 :

$$\frac{1}{3 G_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^{n-1} \left(1 - \frac{2-2n}{\frac{n}{1 + \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a} \right)^{-n} \varepsilon_v} + 2-n} \right) = \frac{l_d}{E_s}$$



$$\frac{n}{3G_a} \frac{2 \left(\frac{p}{P_a}\right)^{n-1} + \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a}\right)^{-1} \varepsilon_v}{2 + (2-n) \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a}\right)^{-n} \varepsilon_v} = \frac{l_d}{E_s}$$

D'où par différentiation à ε_v constante :

$$\frac{n}{3G_a} \frac{\left(2(n-1) \left(\frac{p}{P_a}\right)^{n-2} - \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a}\right)^{-2} \varepsilon_v\right) \left(2 + (2-n) \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a}\right)^{-n} \varepsilon_v\right) + \left(2 \left(\frac{p}{P_a}\right)^{n-1} + \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a}\right)^{-1} \varepsilon_v\right) n(2-n) \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a}\right)^{-n-1} \varepsilon_v}{\left(2 + (2-n) \frac{K_a}{p_a} \left(\frac{p}{P_a}\right)^{-n} \varepsilon_v\right)^2} d\left(\frac{p}{P_a}\right) = \frac{dl_d}{E_s}$$

Soit après développement, en ne s'intéressant qu'au numérateur N de cette expression :

$$N = -\left(\frac{p}{P_a}\right)^{-2-n} \left[4(1-n) \left(\frac{p}{P_a}\right)^{2n} + 2(1-n)(3-2n) \frac{K_a}{p_a} \varepsilon_v \left(\frac{p}{P_a}\right)^n + (2-n)(1-n) \left(\frac{K_a}{p_a} \varepsilon_v\right)^2\right]$$

Le terme entre crochet est un polynôme du second degré en $\left(\frac{p}{P_a}\right)^n$. Compte tenu de l'inégalité $n < 1$, son premier terme est positif. Le polynôme sera donc toujours positif si son discriminant (réduit) est négatif, soit si :

$$4(1-n)^2(3-2n)^2 \left(\frac{K_a}{p_a} \varepsilon_v\right)^2 - 16(1-n)(2-n)(1-n) \left(\frac{K_a}{p_a} \varepsilon_v\right)^2 < 0 ?$$

$$\left((3-2n)^2 - 4(2-n)\right)4(1-n)^2 \left(\frac{K_a}{p_a} \varepsilon_v\right)^2 < 0 ?$$

Soit :

$$(3-2n)^2 - 4(2-n) < 0 ?$$

$$4n^2 - 8n + 4 < 0 ?$$

Cette condition est remplie pour $1 - \frac{\sqrt{3}}{2} < n < 1$, sachant que $1 - \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0,134$.

C'est donc le cas des jeux de données considérés dans la thèse pour lesquels n est pris avec des valeurs supérieures à cette limite basse.

Au final, ces calculs montrent que $\frac{p}{P_a}$ est une fonction décroissante de l_d pour $1 > n > 1 - \frac{\sqrt{3}}{2}$.



Annexe 4 – Ancrage des amortisseurs linéaires du spectre volumique du modèle VENL 3D

Considérons le modèle VENL 3D constitué d'éléments spectraux volumiques avec cale et « double fond » où l'amortisseur linéaire serait ancré à la même barre que le ressort. Pour simplifier l'exposé, on supposera ici le spectre déviatorique dénué d'amortisseurs.

Considérons alors une première phase de sollicitation infiniment lente en \dot{p} et \dot{q} ayant amené à l'instant $t = \bar{t}$ le spectre dans l'état statique $(p, q, \varepsilon_v, \varepsilon_q)$ correspondant au modèle de Boyce.

On a alors à l'instant $t = \bar{t}^-$:

$$\varepsilon_v = \lim_{L \rightarrow +\infty} \underbrace{-\frac{p}{E} L_v - \int_{L_v}^L b_v(l_v, \varepsilon_d) dl_v}_{\text{déf. élastique}} + \underbrace{\int_0^L (b_v(l_v, \varepsilon_d) - b_v(l_v, 0)) dl_v}_{\text{effet cale}}$$

Et, en se posant dans le cas $\varepsilon_v > 0$:

$$\varepsilon_d = \frac{q}{E} L_d + \int_{L_d}^{+\infty} b_d(l_d, \varepsilon_v) dl_d$$

Les énergies élastiques emmagasinées dans les 2 spectres valent :

$$w^e = \frac{p^2}{2E} L_v + \int_{L_v}^{+\infty} \frac{E}{2} b_v^2 dl_v + \frac{q^2}{2E} L_d + \int_{L_d}^{+\infty} \frac{E}{2} b_d^2 dl_d$$

Pour rappel, on a :

$$b_v \approx \left(n \chi \frac{9E_s G_a^2}{K_a P_a^2} \varepsilon_d^2 \right)^{\frac{1}{1+n}} \frac{P_a}{E_s} \frac{1}{l_v^{1+n}} \text{ pour } l_v \text{ grand}$$

et :

$$b_d \approx \left(\frac{n}{2-n} \frac{E_s}{3 G_a} \right)^{\frac{2-n}{2-2n}} \frac{p_a}{E_s} \sqrt{\frac{K_a \varepsilon_v}{\chi P_a}} \frac{1}{l_d^{\frac{2-n}{2-2n}}} \text{ pour } l_d \text{ grand.}$$

L'intégrale $\int_{L_v}^L b_v dl_v$, dont l'intégrande est en $1/l_v^{\frac{1}{1+n}}$ est donc divergente pour $\rightarrow +\infty$, mais on vérifie que l'intégrale $\int_{L_v}^{+\infty} b_v^2 dl_v$ intervenant dans l'expression de l'énergie élastique et dont l'intégrande est en $1/l_v^{\frac{2}{1+n}}$ est par contre convergente.

Les intégrales $\int_{L_d}^{+\infty} b_d dl_d$ et $\int_{L_d}^{+\infty} b_d^2 dl_d$, dont les intégrandes sont en $\frac{1}{l_d^{\frac{2-n}{2-2n}}}$ et $\frac{1}{l_d^{\frac{2-n}{1-n}}}$ sont quant à elles toutes les 2 convergentes.

Supposons maintenant à cet instant, une vitesse de sollicitation finie $\dot{q} > 0$ à valeur p constante. Nous allons examiner les conséquences sur le premier principe de la Thermodynamique au temps $t = \bar{t}^+$ qui s'écrit en termes de dérivées par rapport au temps :

$$\dot{w}^e = -p\dot{\varepsilon}_v + q\dot{\varepsilon}_d + \dot{Q}$$

où \dot{Q} est la dissipation thermique.



Or pour $t = \bar{t}^+$, les valeurs de $\tilde{\varepsilon}_v^{ve}$ sont figées du fait de la présence des amortisseurs volumiques :

$\dot{\tilde{\varepsilon}}_v^{ve} = 0$ (Cf. comportement d'un élément de Kelvin-Voigt au moment d'une discontinuité de vitesse de chargement).

Il n'y a donc pas de dissipation visqueuse dans le modèle, ni pour le spectre volumique, ni pour le spectre déviatorique (compte tenu de l'absence de viscosité sur ces éléments). Le premier principe s'écrit donc dans ce cas :

$$\dot{w}^e = -p\dot{\varepsilon}_v + q\dot{\varepsilon}_d$$

Calculons alors les dérivées intervenant dans ce bilan d'énergie, on a :

$$\dot{\varepsilon}_v = \lim_{L \rightarrow +\infty} \dot{\varepsilon}_d \int_0^L b_{v,d}(l_v, \varepsilon_d) dl_v$$

$$\dot{\varepsilon}_d = \frac{\dot{q}}{E} L_d + \dot{\varepsilon}_v \int_{L_d}^{+\infty} b_{d,v}(l_d, \varepsilon_v) dl_d$$

Nota : les termes en \dot{L}_d s'annulent dans la dérivée précédente

$$\dot{w}^e = \frac{q\dot{q}}{E} L_d + \dot{\varepsilon}_v \int_{L_v}^{+\infty} E b_d b_{d,v} dl_d$$

Nota : les termes en \dot{L}_d s'annulent

Le premier principe impose donc l'égalité :

$$\frac{q\dot{q}}{E} L_d + \dot{\varepsilon}_v \int_{L_v}^{+\infty} E b_d b_{d,v} dl_d = -p \lim_{L \rightarrow +\infty} \dot{\varepsilon}_d \int_0^L b_{v,d} dl_v + q \left(\frac{\dot{q}}{E} L_d + \dot{\varepsilon}_v \int_{L_d}^{+\infty} b_{d,v} dl_d \right)$$

Soit :

$$p \lim_{L \rightarrow +\infty} \dot{\varepsilon}_d \int_0^L b_{v,d} dl_v = \dot{\varepsilon}_v \int_{L_v}^{+\infty} (q - E b_d) b_{d,v} dl_d$$

Or $b_{v,d}$ et $b_{d,v}$ ont respectivement même dépendance par rapport à l_v et l_d que b_v et b_d .

Par conséquent l'intégrale $\int_0^L b_{v,d} dl_v$ tend vers l'infini avec l_v , tandis que l'intégrale de droite est finie.

Autrement dit, l'égalité imposée par le premier principe de la Thermodynamique ne peut avoir lieu en général, ce qui invalide le modèle VENL3D avec les amortisseurs ancrés sur les mêmes barres que les ressorts.



Annexe 5 – Modèle VENL 3D – Calcul de la déformation volumique « libre » d'un élément ouvert

L'algorithme de résolution du modèle VENL 3D repose sur le calcul de la déformation libre de l'élément volumique sur un intervalle de temps dont la contrainte $p(t)$ est affine et $\varepsilon_d(t)$ connu.

Notons :

- t_{ini} = instant initial de l'intervalle de temps considéré,
- t_{fin} = instant final de cet intervalle,
- $\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t_{ini}, \varepsilon_d)$ = valeur de déformation de l'élément volumique l_v supposée connue à l'instant t_{ini} ,
- p_{ini} = valeur de contrainte volumique supposée connue à l'instant t_{ini} ,
- p_{fin} = valeur de contrainte volumique supposée connue à l'instant t_{fin} ,
- $\dot{p} = \frac{p_{fin} - p_{ini}}{t_{fin} - t_{ini}}$
- $\varepsilon_d(t_{ini})$ = valeur de déformation déviatorique supposée connue à l'instant t_{ini} ,
- $\varepsilon_d(t_{fin})$ = valeur de déformation déviatorique supposée connue à l'instant t_{fin} .

La relation contrainte-déformation de l'élément libre vérifie l'équation :

$$p(t) = A + B(t - t_{ini}) = E_s \left(\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t, \varepsilon_d) + \zeta_v(l_v) \dot{\tilde{\varepsilon}}_v(l_v, t, \varepsilon_d) \right)$$

$$\text{avec : } A = -\frac{p_{ini}}{E_s} + b \left(l_v, \varepsilon_d(t_{ini}) \right) - \frac{p_a}{E_s} \left(n \frac{E_s}{K_a} \frac{1}{l_v} \right)^{\frac{1}{1-n}}$$

$$\text{et } B = \frac{-\frac{p(t)}{E_s} + b(l_v, \varepsilon_d(t)) + \frac{p_{ini}}{E_s} - b(l_v, \varepsilon_d(t_{ini}))}{t - t_{ini}}$$

La solution générale est de la forme :

$$\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t, \varepsilon_d) = C(t) e^{\frac{-t}{\zeta_v(l_v)}}$$

D'où :

$$\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t, \varepsilon_d) + \zeta_v(l_v) \dot{\tilde{\varepsilon}}_v(l_v, t, \varepsilon_d) = C(t) e^{\frac{-t}{\zeta_v(l_v)}} + \zeta_v(l_v) \left(\frac{-1}{\zeta_v(l_v)} e^{\frac{-t}{\zeta_v(l_v)}} C(t) + \dot{C}(t) e^{\frac{-t}{\zeta_v(l_v)}} \right)$$

$$\dot{C}(t) = \frac{(A + B(t - t_{ini}))}{\zeta_v(l_v) E_s} e^{\frac{t}{\zeta_v(l_v)}}$$

On trouve :

$$C(t) = A e^{\frac{t}{\zeta_v(l_v)}} + B(t - t_{ini} - \zeta_v(l_v)) e^{\frac{t}{\zeta_v(l_v)}} + C$$



Et donc :

$$\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t, \varepsilon_d) = A + B(t - t_{ini} - \zeta_v(l_v)) + C e^{\frac{-t}{\zeta_v(l_v)}}$$

Or à l'instant $t = t_{ini}$, $\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t, \varepsilon_d) = \tilde{\varepsilon}_v(l_v, t_{ini}, \varepsilon_d)$.

On en déduit :

$$\tilde{\varepsilon}_v(l_v, t, \varepsilon_d) = A + B(t - t_{ini} - \zeta_v(l_v)) + (\tilde{\varepsilon}_v(t_{ini}) - A + B \zeta_v(l_v)) e^{\frac{-(t-t_{ini})}{\zeta_v(l_v)}}$$

En particulier pour $t = t_{fin}$:

$$\begin{aligned} \tilde{\varepsilon}_v(l_v, t_{fin}, \varepsilon_d) &= A \left(1 - e^{\frac{-(t_{fin}-t_{ini})}{\zeta_v(l_v)}} \right) - B \zeta_v(l_v) \left(1 - \frac{t_{fin} - t_{ini}}{\zeta_v(l_v)} - e^{\frac{-(t_{fin}-t_{ini})}{\zeta_v(l_v)}} \right) \\ &\quad + \tilde{\varepsilon}_v(t_{ini}) e^{\frac{-(t_{fin}-t_{ini})}{\zeta_v(l_v)}} \end{aligned}$$



Annexe 6 – Modèle VENL 3D – Calcul de la déformation déviatorique « libre » d'un élément ouvert

L'algorithme de résolution du modèle VENL 3D repose sur le calcul de la déformation libre de l'élément déviatorique sur un intervalle de temps dont la contrainte $q(t)$ est affine et $\varepsilon_v(t)$ connu.

Notons :

- t_{ini} = instant initial de l'intervalle de temps considéré,
- t_{fin} = instant final de cet intervalle,
- $\tilde{\varepsilon}_d(l_d, t_{ini}, \varepsilon_v)$ = valeur de déformation de l'élément déviatorique l_v supposée connue à l'instant t_{ini} ,
- q_{ini} = valeur de contrainte volumique supposée connue à l'instant t_{ini} ,
- q_{fin} = valeur de contrainte volumique supposée connue à l'instant t_{fin} ,
- $\dot{q} = \frac{q_{fin} - q_{ini}}{t_{fin} - t_{ini}}$
- $\varepsilon_v(t_{ini})$ = valeur de déformation volumique supposée connue à l'instant t_{ini} ,
- $\varepsilon_v(t_{fin})$ = valeur de déformation volumique supposée connue à l'instant t_{fin} .

La relation contrainte-déformation de l'élément libre vérifie l'équation :

$$q(t) = q_{ini} + \dot{q}(t - t_{ini}) = E_s \left(\tilde{\varepsilon}_d(l_d, t, \varepsilon_v) + \zeta_d(l_d) \dot{\tilde{\varepsilon}}_d(l_d, t, \varepsilon_v) \right)$$

$$\text{avec } \dot{q}_i = \frac{q(t) - q(t_{ini})}{(t - t_{ini})}$$

Equation 3.214

La solution générale est de la forme :

$$\tilde{\varepsilon}_d(l_d, t, \varepsilon_v) = B(t) e^{\frac{-t}{\zeta_d(l_d)}}$$

D'où :

$$\tilde{\varepsilon}_d(l_d, t, \varepsilon_v) + \zeta_d(l_d) \dot{\tilde{\varepsilon}}_d(l_d, t, \varepsilon_v) = B(t) e^{\frac{-t}{\zeta_d(l_d)}} + \zeta_d(l_d) \left(\frac{-1}{\zeta_d(l_d)} e^{\frac{-t}{\zeta_d(l_d)}} B(t) + \dot{B}(t) e^{\frac{-t}{\zeta_d(l_d)}} \right)$$

$$\dot{B}(t) = \frac{q_{ini} + \dot{q}(t - t_{ini})}{\zeta_d(l_d) E_s} e^{\frac{t}{\zeta_d(l_d)}}$$

On trouve :

$$B(t) = \frac{q_{ini}}{E_s} e^{\frac{t}{\zeta_d(l_d)}} + \frac{\dot{q}}{E_s} (t - t_{ini} - \zeta_d(l_d)) e^{\frac{t}{\zeta_d(l_d)}} + B$$

Et donc :



$$\tilde{\varepsilon}_d(l_d, t, \varepsilon_v) = \frac{q_{ini}}{E_s} + \frac{\dot{q}}{E_s} (t - t_i - \zeta_d(l_d)) + B e^{\frac{-t}{\zeta_d(l_d)}}$$

Or à l'instant $t = t_{ini}$, $\tilde{\varepsilon}_d(l_d, t, \varepsilon_v) = \tilde{\varepsilon}_d(l_d, t_{ini}, \varepsilon_v)$.

On en déduit :

$$\tilde{\varepsilon}_d(l_d, t, \varepsilon_v) = \frac{q_{ini}}{E_s} + \frac{\dot{q}}{E_s} (t - t_{ini} - \zeta_d(l_d)) + \left(\tilde{\varepsilon}_d(t_{ini}) - \frac{q_{ini}}{E_s} + \frac{\dot{q}}{E_s} \zeta_d(l_d) \right) e^{\frac{-(t-t_{ini})}{\zeta_d(l_d)}}$$

En particulier pour $t = t_{fin}$:

$$\begin{aligned} \tilde{\varepsilon}_d(l_d, t_{fin}, \varepsilon_v) &= \frac{q_{ini}}{E_s} \left(1 - e^{\frac{-(t_{fin}-t_{ini})}{\zeta_d(l_d)}} \right) - \frac{\dot{q}}{E_s} \zeta_d(l_d) \left(1 - \frac{t_{fin} - t_{ini}}{\zeta_d(l_d)} - e^{\frac{-(t_{fin}-t_{ini})}{\zeta_d(l_d)}} \right) \\ &\quad + \tilde{\varepsilon}_d(t_{ini}) e^{\frac{-(t_{fin}-t_{ini})}{\zeta_d(l_d)}} \end{aligned}$$



Annexe 7 – Fiches techniques capteur de force 25 kN



Site de Nantes
Rue de Bouaye
44344 Douguenais

Cellule de métrologie

CERTIFICAT D'ETALONNAGE

N° 0100-2017 N

DELIVRE A : IFSTAR NANTES - MIT/LAB11

IDENTIFICATION DE L'INSTRUMENT:

DESIGNATION : CAPTEUR DE FORCE

CONSTRUCTEUR : GDS

TYPE : STALC9-25kN

CONDITIONNEUR : /

RESOLUTION : 0,0001 V

N° DE SERIE : 294387

N° D'IDENTIFICATION : 333

CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT:

TEMPERATURE: 20,3 °C

TAUX D'HYGROMETRIE: 53,3 %HR

DEMANDE N°: 0055-2017

DATE D'INTERVENTION: 08-juin-17

N° GMM : LAB11_F_25kN_333

Renseignements complémentaires concernant l'appareil :

Ce document comprend 2 pages
4 pages d'annexe

Date d'émission: 12-juin-17

LE RESPONSABLE DE LA CELLULE DE METROLOGIE :



I - INSTRUMENT PRESENTE

| | | | |
|---------------|------------------|--------------------------|--------|
| Désignation: | CAPTEUR DE FORCE | Numéro de série: | 294387 |
| Constructeur: | GDS | Numéro d'identification: | 333 |
| Type: | STALC9-25kN | | |

IFSTTAR NANTES - MIT/LAB11

II - METHODE D'ETALONNAGE

La méthode de contrôle est fondée sur la comparaison des indications données par l'appareil par rapport à des valeurs données par un étalon de travail raccordé aux étalons nationaux.

Méthode d'essais utilisée : PLQ_SM_MET_MES_FORCE

Une étiquette orange est apposée mentionnant la date d'étalonnage et le numéro du certificat d'étalonnage sur l'instrument étalonné par la Cellule Métrologie.

III - MOYENS DE L'ETALONNAGE :

- Alimentation de la cellule métrologie HQ Power n° PS23023 N° DK 10027179
- Multimètre Tenma 72-7732 de la cellule métrologie n°1080306825
- Chaîne de Force Schenck/Fluke ref interne E_de_T_50 kN

IV - RESULTATS DES MESURES :

Les résultats de mesure sont donnés en annexe 4.

V - Incertitudes :

Les incertitudes élargies mentionnées sont celles correspondant à deux incertitudes types. Les incertitudes types ont été calculées en tenant compte des différentes composantes d'incertitudes.

VI - Incertitudes sur l'effort appliqué (k = 2)

$$U = 1,6E+02 \text{ N} + 0,0E+00 \text{ .F}$$

VII - Incertitudes d'étalonnage de l'instrument (à k = 2)

$$U = 2,1E+02 \text{ N} + 0,0E+00 \text{ .F}$$

Le détail du calcul est donné en annexe

Etalonnage réalisé par : P. PAUVERT



DEFINITION DES INCERTITUDES ELEMENTAIRES PRISES EN COMPTE**1 - Grandeur appliquée**

L'incertitude-type obtenue en divisant par deux l'incertitude élargie du capteur de référence.

2 - Lecture

La valeur de l'erreur de lecture est fonction de la résolution d'indication. L'incertitude-type est estimée en faisant l'hypothèse d'une loi de distribution rectangulaire.

3 - Réproductibilité

La reproductibilité de la déformation pour les séries de mesure à un palier de charge est estimée à partir de l'étendue des valeurs ($X_{\max} - X_{\min}$) divisée par le coefficient d_n dans le sens croissant des forces. Les valeurs X sont exprimées en unité de force. L'estimateur de l'écart type est donné par la relation suivante $u = (X_{\max} - X_{\min})/d_n$. Dans le cas d'une variation non détectée, l'incertitude maximale de reproductibilité est égale à l'incertitude de lecture.

4 - Retour à effort nul

Les variations de l'indication à charge nulle sont prises en compte en considérant la déformation maximale à charge nulle obtenue à la fin des séries d'étalonnage et en considérant une distribution rectangulaire. Dans le cas d'une variation non détectée, l'incertitude due à l'effort nul est égale à l'incertitude de lecture.

5 - Influence de la température

L'incertitude sur la température est prise en compte en considérant la sensibilité du capteur en fonction de la température. Cette dernière est déterminée à partir des spécifications du constructeur.

Note : La plupart des capteurs de force à sortie électrique sont compensés thermiquement dans la gamme -10 à 45 °C.

6 - Dérive entre deux étalonnages successifs

Cette incertitude est fonction de l'évolution des indications de l'étalon entre 2 étalonnages successifs. Elle est caractérisée à partir de la variation des indications pour une ou plusieurs valeurs fixes. L'incertitude-type est estimée en faisant l'hypothèse d'une loi de distribution rectangulaire :

$$u_{\text{dérive}} = \frac{v_{\max}}{\sqrt{2}}$$

avec v_{\max} la variation maximale entre 2 étalonnages successifs

7 - Hystérésis

Cette composante est évaluée si l'étalon de travail est utilisé en valeurs croissantes et décroissantes. Son estimation doit être demandée au laboratoire de métrologie.



Feuille de calcul de l'incertitude d'étalonnage**- Incertitude d'étalonnage**

| Composantes de l'incertitude | u _i ou s _i | | |
|--|----------------------------------|------------|-------------------|
| - Effort appliqué | 79 | N + | 0,0E+00 .F |
| - Lecture | 40 | N | |
| - Retour à effort nul | 40 | N | |
| - Reproductibilité (montée) | 40 | N | |
| - Température | Négligeable sur -10 / +45 °C | | |
| Incertitude type composée | 1,0E+02 | N + | 0,0E+00 .F |
| Incertitude élargie avec k= 2 | 2,1E+02 | N + | 0,0E+00 .F |

- Incertitude d'utilisation

| Composantes de l'incertitude | u _i ou s _i |
|--|----------------------------------|
| - Reproductibilité | |
| - Lecture | |
| - Dérive | |
| - Hystérésis | |
| Incertitude type composée | |
| Incertitude élargie avec k= 2 | N |



CE n°

0100-2017 N

Annexe 4/4

Date : 12/06/2017

| valeur de référence (en kN) | valeur lue sur presse (en kN) | Indication de l'instrument en V | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------|----------|------------|-----------|-----------|
| | | Montée 1 | Descente 1 | Montée 2 | Descente 2 | moyenne M | moyenne D |
| 0 | | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| 5 | | 0,0036 | 0,0035 | 0,0036 | 0,0036 | 0,0036 | 0,0036 |
| 10 | | 0,0073 | 0,0072 | 0,0073 | 0,0072 | 0,0073 | 0,0072 |
| 15 | | 0,0109 | 0,0109 | 0,0109 | 0,0109 | 0,0109 | 0,0109 |
| 20 | | 0,0145 | 0,0145 | 0,0145 | 0,0145 | 0,0145 | 0,0145 |
| 25 | | 0,0182 | 0,0182 | 0,0182 | 0,0182 | 0,0182 | 0,0182 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Sensibilité montée =

0,0007 V/kN

Sensibilité descente =

0,0007 V/kN

essai réalisé le :

8-juin-17

par :

P. PAUVERT

Annexe 8 – Fiches techniques capteur de déplacement 1

Capteur 020 843 -1



LABORATOIRE

D'ÉTALONNAGE

RAPPORT DE MESURE
MESSBERICHT
MEASUREMENT REPORT

No. 8C0001 - PR - 20000322

| | | | |
|----------------------------------|---|------------|----------|
| Identification de l'objet | : | Palpeur | |
| Bezeichnung des Prüfgegenstandes | : | Messtaster | 03230021 |
| Identification of the object | : | Probe | |
| Número | : | | |
| Nummer | : | 8C0001 | |
| Number | : | | |
| Mode opératoire | : | | |
| Messverfahren | : | 363.00005 | |
| Measurement procedure | : | | |
| Incertitude de mesure | : | | |
| Messunsicherheit [µm] | : | ± 1 | |
| Measurement uncertainty | : | | |

| | | RESULTATS DE MESURE | MESSERGEBNISSE | MEASUREMENT RESULTS | | |
|---------------------------------|------|---------------------|----------------|---------------------|------|-----------------|
| Objectif | | | | | | |
| Ziel | [µm] | | 999.94 | 300.01 | 0.00 | -300.03 -999.96 |
| Objective | | | | | | |
| Indication | | | | | | |
| Anzeige | [µm] | | 998.20 | 300.62 | 0.00 | -300.47 -999.03 |
| Indication | | | | | | |
| Température | | | | | | |
| Temperatur | [°C] | | 20 | ± 0.5 | | |
| Temperature | | | | | | |
| Date de l'étalonnage | | | | | | |
| Kalibrier-Datum | | | | 2000/03/22 | | |
| Calibration date | | | | | | |
| Date du certificat d'étalonnage | | | | | | |
| Kalibrierschein-Datum | | | | 2000/03/22 | | |
| Date of calibration certificate | | | | | | |
| Responsable AQ | | | | | | |
| Leiter der QS | | | | M. BILA | | |
| Responsible QA | | | | | | |

brown & sharpe
TESA



Brown&Sharpe TESA SA - CH-1020 Renens

Printed in Switzerland 988-88702-00 Modification rights reserved



Capteur 020843-1



LABORATOIRE

D'ÉTALONNAGE

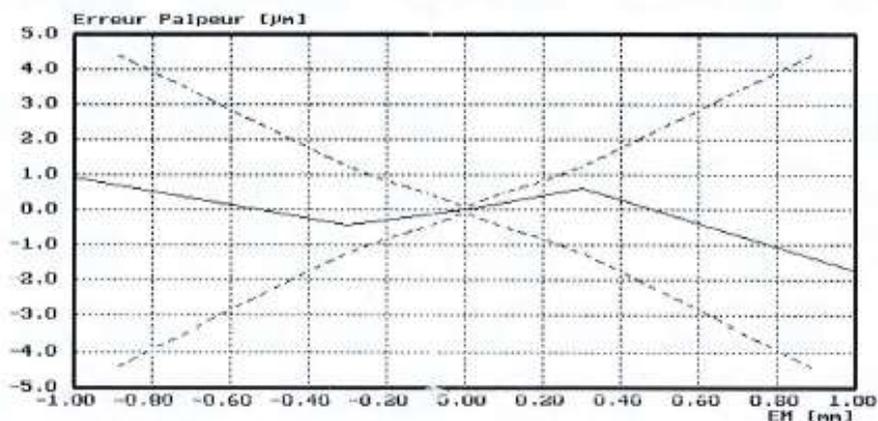
RAPPORT DE MESURE
MESSBERICHT
MEASUREMENT REPORT

No. 8C0001 - PR - 2000322

CALIBRAGE PALPEURS

Lot : M2203000
Type de palpeur : 03230021
Gain : 1.00
Offset : 0.05
Paf+ : 999.93
Paf- : -999.83
Passage : 1

| Référence | Tol. | Palpeur | Erreur |
|-----------|--------|---------|--------|
| 999.94 | ± 5.00 | 998.20 | -1.74 |
| 300.01 | ± 1.20 | 300.62 | 0.61 |
| 0.00 | ± 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| -300.03 | ± 1.20 | -300.47 | -0.44 |
| -999.96 | ± 5.00 | -999.03 | 0.93 |



Annexe 9 – Fiches techniques capteur de déplacement 2

capteur 020843-2



LABORATOIRE

D'ÉTALONNAGE

R APPORT DE MESURE
M ESSBERICHT
M EASUREMENT REPORT

No. 8C0002 - PR - 20000322

| | | | |
|----------------------------------|---|------------|----------|
| Identification de l'objet | : | Palpeur | |
| Bezeichnung des Prüfgegenstandes | : | Messtaster | 03230021 |
| Identification of the object | : | Probe | |
| Numéro | : | | |
| Nummer | : | 8C0002 | |
| Number | : | | |
| Mode opératoire | : | | |
| Messverfahren | : | 363.00005 | |
| Measurement procedure | : | | |
| Incertitude de mesure | : | | |
| Messunsicherheit [µm] | : | ± 1 | |
| Measurement uncertainty | : | | |

RESULTATS DE MESURE MESSERGEBNISSE MEASUREMENT RESULTS

| | | | | | | |
|---------------------------------|------|------------|--------|------|---------|---------|
| Objectif | : | | | | | |
| Ziel | [µm] | 999.94 | 300.01 | 0.00 | -300.03 | -999.96 |
| Objective | : | | | | | |
| Indication | : | | | | | |
| Anzeige | [µm] | 998.58 | 300.59 | 0.00 | -300.19 | -998.33 |
| Indication | : | | | | | |
| Température | : | | | | | |
| Temperatur | [°C] | 20 ± 0.5 | | | | |
| Temperature | : | | | | | |
| Date de l'étalonnage | : | | | | | |
| Kalibrier-Datum | : | 2000/03/22 | | | | |
| Calibration date | : | | | | | |
| Date du certificat d'étalonnage | : | | | | | |
| Kalibrierschein-Datum | : | 2000/03/22 | | | | |
| Date of calibration certificate | : | | | | | |
| Responsable AQ | : | | | | | |
| Leiter der QS | : | M. BILA | | | | |
| Responsible QA | : | | | | | |

brown & sharpe
TESA



Brown&Sharpe TESA SA - CH-1020 Renens

Printed in Switzerland 360.00702.00 Modification rights reserved



Capteur 020 843-2



LABORATOIRE

D'ÉTALONNAGE

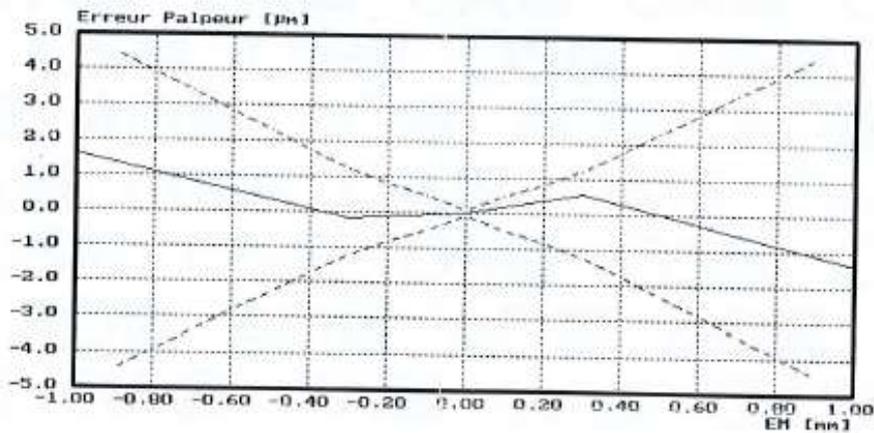
RAPPORT DE MESURE
MESSBERICHT
MEASUREMENT REPORT

No. 8C0002 - PR - 20000322

CALIBRAGE PALPEURS

Lot : M2203000
Type de palpeur : 03230021
Gain : 1.00
Offset : 0.05
Pef+ : 999.93
Pef- : -999.83
Passage : 1

| Référence | Tol. | Palpeur | Erreur |
|-----------|--------|---------|--------|
| 999.94 | ± 5.00 | 998.57 | -1.37 |
| 300.01 | ± 1.20 | 300.59 | 0.58 |
| 0.00 | ± 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| -300.03 | ± 1.20 | -300.20 | -0.17 |
| -999.96 | ± 5.00 | -998.33 | 1.63 |



brown & sharpe
TESA



Brown&Sharpe TESA SA - CH-1020 Renens

Product of Switzerland - Made in Switzerland - Switzerland



Annexe 10 – Fiches techniques capteur de déplacement 3

Radial Soufflet Noir
(RSN)





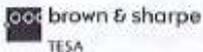
LABORATOIRE
D'ÉTALONNAGE

R APPORT DE MESURE
M ESSBERICHT
M EASUREMENT REPORT

No. 8E0002 - PR - 20000511

| | | |
|---|---------------------|------------------|
| <i>Identification de l'objet</i> | : Palpeur | |
| <i>Bezeichnung des Prüfgegenstandes</i> | : Messtaster | S32020843 |
| <i>Identification of the object</i> | : Probe | |
| <i>Número</i> | : 8E0002 | |
| <i>Nummer</i> | : 8E0002 | |
| <i>Number</i> | : 8E0002 | |
| <i>Mode opératoire</i> | : 3.00 | |
| <i>Meßverfahren</i> | : 3.00 | |
| <i>Measurement procedure</i> | : 3.00 | |
| <i>Incertitude de mesure</i> | : ± 1 | |
| <i>Messunsicherheit [µm]</i> | : ± 1 | |
| <i>Measurement uncertainty</i> | : ± 1 | |

| <i>RESULTATS DE MESURE</i> | <i>MESSERGEBNISSE</i> | <i>MEASUREMENT RESULTS</i> |
|--|---|----------------------------|
| <i>Objectif</i> | : 999.94 300.01 0.00 -300.03 -999.96 | |
| <i>Ziel [µm]</i> | : 999.94 300.01 0.00 -300.03 -999.96 | |
| <i>Objective</i> | : 999.94 300.01 0.00 -300.03 -999.96 | |
| <i>Indication</i> | : 998.65 300.23 0.00 -299.88 -996.45 | |
| <i>Anzeige [µm]</i> | : 998.65 300.23 0.00 -299.88 -996.45 | |
| <i>Indication</i> | : 998.65 300.23 0.00 -299.88 -996.45 | |
| <i>Température</i> | : 20 ± 0.5 | |
| <i>Temperatur [°C]</i> | : 20 ± 0.5 | |
| <i>Temperature</i> | : 20 ± 0.5 | |
| <i>Date de l'étalonnage</i> | : 2000/05/11 | |
| <i>Kalibrier-Datum</i> | : 2000/05/11 | |
| <i>Calibration date</i> | : 2000/05/11 | |
| <i>Date du certificat d'étalonnage</i> | : 2000/05/11 | |
| <i>Kalibrierschein-Datum</i> | : 2000/05/11 | |
| <i>Date of calibration certificate</i> | : 2000/05/11 | |
| <i>Responsable AQ</i> | : M. BILA | |
| <i>Leiter der QS</i> | : M. BILA | |
| <i>Responsible QA</i> | : M. BILA | |



TESA



Brown&Sharpe TESA SA - CH-1020 Renens

Printed in Switzerland - 388.00702.00 - Model/Carbon digitizer reserved



RSN
Radial Sifflet Noir



LABORATOIRE

D'ÉTALONNAGE

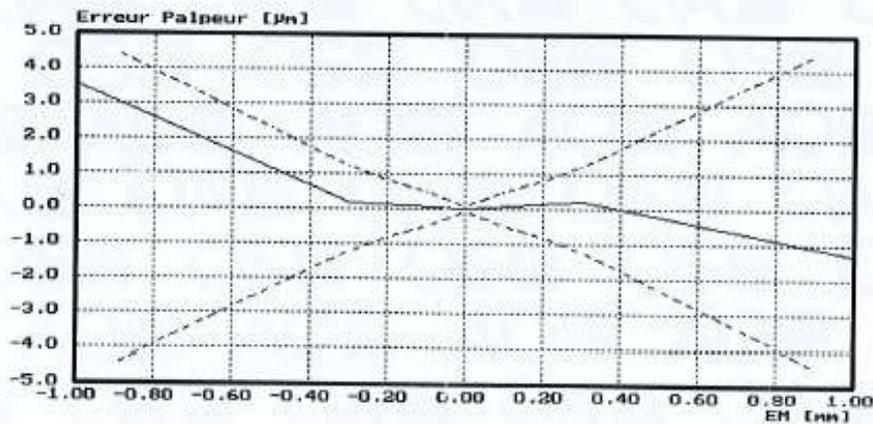
RAPPORT DE MESURE
MESSBERICHT
MEASUREMENT REPORT

No. 8E0002 - PR - 20000511

CALIBRAGE PALPEURS

Lot : 20843
Type de palpeur : S32020843
Gain : 1.00
Offset : -0.03
Paf+ : 999.90
Paf- : -999.95
Passage : 1

| Référence | Tol. | Palpeur | Erreur |
|-----------|--------|---------|--------|
| 999.94 | ± 5.00 | 998.65 | -1.29 |
| 300.01 | ± 1.20 | 300.23 | 0.22 |
| 0.00 | ± 0.10 | 0.00 | 0.00 |
| -300.03 | ± 1.20 | -299.88 | 0.15 |
| -999.96 | ± 5.00 | -996.45 | 3.51 |



brown & sharpe
TESA



Brown & Sharpe TESA SA - CH-1020 Renens

Product: Gatorland 300.00702.00 Model: rights reserved



Annexe 11 – Déphasage mesuré sur un ressort élastique

La première figure présente les résultats d'essai sur ressort à 0,1Hz :

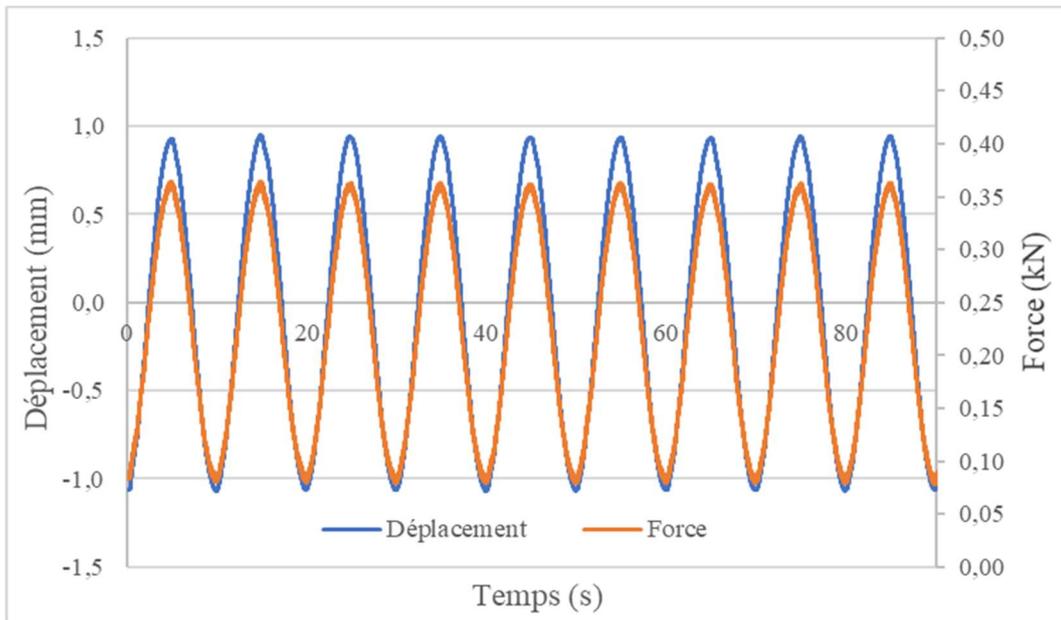


Figure 183 – Essai de compression sinusoïdal sur ressort à 0,1 Hz

La deuxième figure présente les résultats d'essai à 10 Hz :

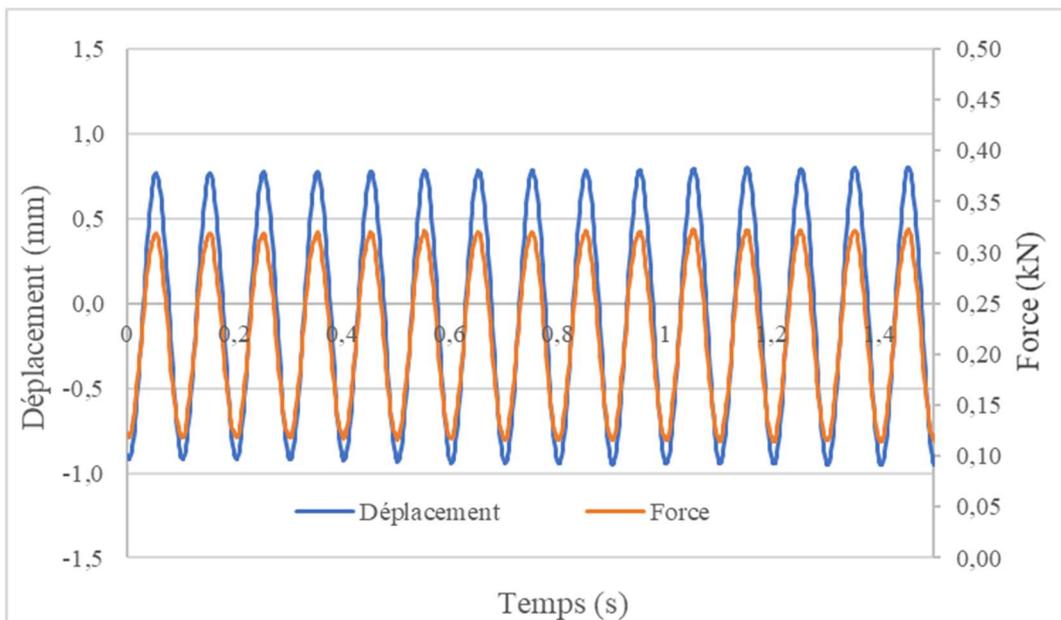


Figure 184 - Essai de compression sinusoïdal sur ressort à 10 Hz

Les valeurs de déphasage résultant de ces essais sur ressort et qui seront déduites des valeurs de déphasage sont :

| | | | | | |
|----------------|-----|------|------|------|------|
| Fréquence (Hz) | 0,1 | 1 | 3 | 6 | 10 |
| Déphasage (°) | 0 | 1,25 | 2,23 | 3,72 | 6,36 |



Annexe 12 – Résultats d'essai sur Delrin

Le tableau suivant présente les résultats d'essai de compression sinusoïdal sur Delrin couplé à une mesure de jauge de déformation. Les valeurs surlignées en vert représentent les valeurs utilisées pour le calcul du module moyen et de l'écart type :

| Fréquence (Hz) | Force (kN) | Dépl u (mm) | ϵ_u | ϵ_{jauge} | σ (Mpa) | Eu (Mpa) | Ejauge (Mpa) |
|----------------|------------|-------------|--------------|---------------------------|----------------|----------|--------------|
| 0,1 | 13,6 | 1,31E-01 | 1,31E-03 | 1,34E-03 | 5,43 | 4171 | 4059 |
| 0,1 | 13,6 | 1,26E-01 | 1,26E-03 | 1,34E-03 | 5,43 | 4329 | 4064 |
| 1 | 13,6 | 1,24E-01 | 1,24E-03 | 1,32E-03 | 5,43 | 4386 | 4109 |
| 3 | 13,6 | 1,24E-01 | 1,24E-03 | 1,31E-03 | 5,43 | 4383 | 4148 |
| 0,1 | 9 | 8,56E-02 | 8,56E-04 | 8,87E-04 | 3,59 | 4215 | 4045 |
| 1 | 9 | 8,37E-02 | 8,37E-04 | 8,73E-04 | 3,59 | 4288 | 4112 |
| 3 | 9 | 8,36E-02 | 8,36E-04 | 8,67E-04 | 3,59 | 4296 | 4143 |
| 0,1 | 4,6 | 5,11E-02 | 5,11E-04 | 4,54E-04 | 1,83 | 3621 | 4033 |
| 1 | 4,6 | 4,92E-02 | 4,92E-04 | 4,44E-04 | 1,83 | 3721 | 4125 |
| 3 | 4,6 | 4,87E-02 | 4,87E-04 | 4,41E-04 | 1,83 | 3757 | 4147 |
| 0,1 | 2,3 | 3,52E-02 | 3,52E-04 | 2,30E-04 | 0,91 | 2644 | 4053 |
| 1 | 2,3 | 3,26E-02 | 3,26E-04 | 2,23E-04 | 0,91 | 2801 | 4097 |
| 3 | 2,3 | 3,12E-02 | 3,12E-04 | 2,18E-04 | 0,91 | 2926 | 4104 |
| 0,1 | 2,3 | 5,15E-02 | 5,15E-04 | 2,24E-04 | 0,91 | 1803 | 4145 |
| 1 | 2,3 | 4,74E-02 | 4,74E-04 | 2,18E-04 | 0,91 | 1928 | 4182 |
| 3 | 2,3 | | | 2,22E-04 | 0,91 | | 4190 |
| | | | | | Moy = | 4117 | 4110 |
| | | | | | Ecart type = | 250 | 37 |



Annexe 13 – Résultats d’essai de flexion 2 points sur BBSG de référence

| IDENTIFICATION DU MELANGE | | | | | | | |
|---------------------------|--|--------------------|----------|-------------------|--|--|--|
| | | | | | | | |
| | | Fraction | Origine | pourcentage | | | |
| | | 6/10 | Noubleau | 35,5 | | | |
| | | 4/6 | Noubleau | 25,0 | | | |
| | | 2/4 | Noubleau | 10,0 | | | |
| | | 0/2 | Noubleau | 27,0 | | | |
| | | Fines | Calcaire | 2,5 | | | |
| | | | | | | | |
| | | Liant | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | MVR _e = | 2,565 | g/cm ³ | | | |

| CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES EPROUVETTES | | | | | | | |
|---|--------------|----------------------------------|------------------|----------------|-----------|--------------------------------------|--------|
| | | | | | | | |
| Eprouvette | Hauteur (mm) | Grande base (mm) | Petite base (mm) | Epaisseur (mm) | Masse (g) | M _{va} (g/cm ³) | % vide |
| 404 | 249,9 | 56,1 | 24,8 | 24,8 | 625,7 | 2,50 | 4,6 |
| 418 | 249,4 | 55,9 | 25,4 | 25,1 | 636,4 | 2,50 | 4,5 |
| 419 | 249,5 | 55,7 | 25,4 | 25,2 | 633,9 | 2,49 | 4,8 |
| 420 | 249,5 | 55,6 | 25,2 | 24,7 | 623,0 | 2,51 | 4,2 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | Vide moyen des éprouvettes (%) = | 4,5 | | | | |
| | | M.V.A. moyenne= | 2,50 | | | | |

Le tableau suivant présente les résultats de module complexe et d’angle de phase mesuré lors des essais de flexion 2 points sur les éprouvettes précédentes en fonction de la température et de la fréquence d’essai :



| Température (°C) | Fréquence (Hz) | E1 (MPa) | E2 (MPa) | E* (MPa) | f (°) |
|---|-------------------|-------------|-------------|--------------|----------|
| -10 | 40 | 29111 | 1339 | 29142 | 2,7 |
| -10 | 30 | 28876 | 1400 | 28910 | 2,8 |
| -10 | 25 | 28710 | 1452 | 28747 | 2,9 |
| -10 | 10 | 27809 | 1630 | 27856 | 3,4 |
| -10 | 3 | 26492 | 1917 | 26562 | 4,2 |
| -10 | 1 | 25085 | 2161 | 25178 | 4,9 |
| 0 | 40 | 24536 | 2291 | 24642 | 5,4 |
| 0 | 30 | 24133 | 2342 | 24246 | 5,5 |
| 0 | 25 | 23849 | 2402 | 23970 | 5,8 |
| 0 | 10 | 22416 | 2663 | 22574 | 6,8 |
| 0 | 3 | 20247 | 2975 | 20464 | 8,4 |
| 0 | 1 | 18093 | 3178 | 18370 | 10,0 |
| 10 | 40 | 17274 | 3459 | 17617 | 11,3 |
| 10 | 30 | 16640 | 3503 | 17004 | 11,9 |
| 10 | 25 | 16216 | 3555 | 16601 | 12,4 |
| 10 | 10 | 14094 | 3710 | 14574 | 14,8 |
| 10 | 3 | 11176 | 3765 | 11793 | 18,6 |
| 10 | 1 | 8548 | 3575 | 9265 | 22,7 |
| 15 | 40 | 13168 | 3836 | 13715 | 16,3 |
| 15 | 30 | 12452 | 3818 | 13024 | 17,0 |
| 15 | 25 | 11975 | 3863 | 12583 | 17,9 |
| 15 | 10 | 9707 | 3817 | 10431 | 21,5 |
| 15 | 3 | 6818 | 3507 | 7668 | 27,2 |
| 15 | 1 | 4528 | 2944 | 5401 | 33,1 |
| 20 | 40 | 9398 | 3875 | 10166 | 22,4 |
| 20 | 30 | 8688 | 3788 | 9478 | 23,6 |
| 20 | 25 | 8202 | 3781 | 9031 | 24,8 |
| 20 | 10 | 6040 | 3446 | 6954 | 29,7 |
| 20 | 3 | 3632 | 2756 | 4560 | 37,2 |
| 20 | 1 | 2042 | 1959 | 2830 | 43,8 |
| 30 | 40 | 3065 | 2660 | 4058 | 41,0 |
| 30 | 30 | 2618 | 2421 | 3566 | 42,8 |
| 30 | 25 | 2338 | 2290 | 3273 | 44,4 |
| 30 | 10 | 1301 | 1589 | 2054 | 50,7 |
| 30 | 3 | 559 | 853 | 1020 | 56,8 |
| 30 | 1 | 265 | 426 | 502 | 58,1 |
| 40 | 40 | 520 | 914 | 1052 | 60,4 |
| 40 | 30 | 422 | 762 | 871 | 61,0 |
| 40 | 25 | 361 | 678 | 768 | 62,0 |
| 40 | 10 | 197 | 370 | 419 | 61,9 |
| 40 | 3 | 110 | 163 | 196 | 56,0 |
| 40 | 1 | 73 | 75 | 105 | 46,2 |
| Rappel du pourcentage de vide du lot d'éprouvettes: | | | | 4,54 | % |



Annexe 14 – Composition de l’enrobé à l’émulsion pour campagne d’essai œdométrique

La composition du mélange granulaire de l’enrobé à l’émulsion est présentée ci-après :

| | | |
|------------------------------|--------|------------|
| 0/02 | MAUZAC | 45 % |
| 2/6,3 | MAUZAC | 15 % |
| 6,3/10 | MAUZAC | 20 % |
| 10/14 | MAUZAC | 20 % |
| Liant anhydre résiduel total | | 4,5 % ext. |
| Dosage en émulsion C 60 B 5 | | 7,5 % ext. |
| Teneur en eau totale | | 6,5 % ext. |

La courbe granulométrique du mélange testé est la suivante :

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tamis (mm) | 0,063 | 0,125 | 0,25 | 0,5 | 1 | 2 | 4 | 6,3 | 8 | 10 | 12,5 | 14 |
| % passant | 6,0 | 9,0 | 12,8 | 18,6 | 27,3 | 40,2 | 52,1 | 61,6 | 69,5 | 78,8 | 89,6 | 96,4 |

L’émulsion de bitume utilisée dans la fabrication est :

| | Emulsion C 60 B 5 | Spécifications NF EN 13 808 |
|-------------------|-------------------|-----------------------------|
| Teneur en liant | 61,1 % | 58 – 62 |
| Indice de rupture | 181 | > 170 |
| PH | 3,9 | ≥ 2 |

Le tableau ci-après reprend les valeurs obtenues des performances mécaniques de la grave émulsion lors des essais de sensibilité à l’eau Duriez, de compactage PCG et de module de rigidité :

| | Valeurs obtenues | Spécification NORME |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Essai de maniabilité | Vides à 10 girations : 18,2 % | Vides à 10 girations ≤ 20 % |



| | | |
|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | Vides à 100 girations : 12,12 % | Vides à 100 girations \leq 15 % |
| Sensibilité à l'eau | Modalité n°1 : Vides = 10,2 % | \leq 12 % |
| | Modalité n°2 : Vides = 15,9 % | |
| | R = 4,6 MPa | \geq 3,5 MPa |
| | r/R = ,85 | \geq 0,65 MPa |
| Module de rigidité | 2 606 MPa | \geq 2 500 MPa |



Annexe 15 – Résultats d'essais à 15°C et 45% d'HR – Essais à 15 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 8,6E-02 | 7,7E-02 | 5,7E-02 | 1,2E-03 | 0,403 | 341 | 12 | 5,0E-02 | 1,1E-01 | 1,0E-01 | 1,4E-03 | 0,404 | 288 | 13 | 1,4E-01 | 1,3E-01 | 9,9E-02 | 2,0E-03 | 0,789 | 398 | 11 | 1,7E-01 | 1,7E-01 | 9,5E-02 | 2,3E-03 | 0,790 | 338 | 11 |
| 4 | 5,7E-02 | 5,0E-02 | 6,5E-02 | 9,3E-04 | 0,403 | 436 | 15 | 4,4E-02 | 5,8E-02 | 5,4E-02 | 8,4E-04 | 0,403 | 479 | 15 | 9,2E-02 | 8,2E-02 | 9,7E-02 | 1,5E-03 | 0,788 | 542 | 13 | 7,4E-02 | 9,1E-02 | 8,4E-02 | 1,3E-03 | 0,789 | 588 | 13 |
| 7 | 4,0E-02 | 5,7E-02 | 4,8E-02 | 7,8E-04 | 0,403 | 518 | 17 | 7,5E-02 | 5,6E-02 | 2,9E-02 | 8,6E-04 | 0,403 | 466 | 16 | 6,7E-02 | 8,7E-02 | 7,8E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 635 | 14 | 9,1E-02 | 7,5E-02 | 5,9E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 652 | 14 |
| 9 | 4,4E-02 | 5,4E-02 | 5,3E-02 | 8,1E-04 | 0,403 | 498 | 18 | 4,4E-02 | 5,0E-02 | 3,6E-02 | 7,0E-04 | 0,403 | 574 | 18 | 6,4E-02 | 8,4E-02 | 8,1E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 640 | 15 | 6,9E-02 | 7,6E-02 | 6,0E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 716 | 15 |
| 11 | 3,9E-02 | 4,7E-02 | 4,8E-02 | 7,2E-04 | 0,404 | 560 | 19 | 3,6E-02 | 3,3E-02 | 4,4E-02 | 6,1E-04 | 0,403 | 661 | 20 | 6,2E-02 | 7,3E-02 | 7,9E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 688 | 15 | 5,8E-02 | 5,4E-02 | 7,1E-02 | 9,8E-04 | 0,790 | 805 | 16 |
| 14 | 3,7E-02 | 5,1E-02 | 4,1E-02 | 7,0E-04 | 0,403 | 578 | 19 | 3,4E-02 | 4,3E-02 | 3,3E-02 | 5,9E-04 | 0,403 | 678 | 21 | 6,0E-02 | 7,9E-02 | 6,6E-02 | 1,1E-03 | 0,789 | 717 | 16 | 5,7E-02 | 6,6E-02 | 5,6E-02 | 9,6E-04 | 0,789 | 822 | 17 |
| 18 | 5,3E-02 | 3,1E-02 | 4,5E-02 | 7,0E-04 | 0,403 | 574 | 20 | 3,6E-02 | 3,1E-02 | 3,5E-02 | 5,6E-04 | 0,402 | 712 | 22 | 7,8E-02 | 5,4E-02 | 6,8E-02 | 1,1E-03 | 0,788 | 721 | 17 | 5,8E-02 | 5,1E-02 | 5,7E-02 | 9,2E-04 | 0,788 | 860 | 17 |
| 21 | 4,3E-02 | 3,0E-02 | 5,3E-02 | 6,9E-04 | 0,403 | 582 | 21 | 3,4E-02 | 3,2E-02 | 3,5E-02 | 5,6E-04 | 0,402 | 723 | 22 | 5,8E-02 | 5,5E-02 | 7,5E-02 | 1,0E-03 | 0,788 | 768 | 17 | 5,4E-02 | 5,3E-02 | 5,6E-02 | 8,9E-04 | 0,788 | 881 | 18 |
| 23 | 4,4E-02 | 3,4E-02 | 4,1E-02 | 6,5E-04 | 0,403 | 619 | 21 | 3,0E-02 | 3,1E-02 | 3,5E-02 | 5,3E-04 | 0,402 | 761 | 23 | 6,8E-02 | 5,5E-02 | 6,5E-02 | 1,0E-03 | 0,789 | 765 | 17 | 5,0E-02 | 5,3E-02 | 5,5E-02 | 8,7E-04 | 0,788 | 907 | 18 |
| 36 | 2,5E-02 | 2,5E-02 | 2,7E-02 | 4,2E-04 | 0,391 | 938 | 23 | 2,4E-02 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 3,7E-04 | 0,392 | 1056 | 24 | 4,5E-02 | 4,4E-02 | 4,9E-02 | 7,5E-04 | 0,777 | 1034 | 19 | 4,4E-02 | 4,0E-02 | 3,9E-02 | 6,7E-04 | 0,777 | 1152 | 20 |
| 39 | 2,8E-02 | 2,0E-02 | 2,8E-02 | 4,2E-04 | 0,391 | 936 | 23 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 3,1E-02 | 3,8E-04 | 0,391 | 1029 | 24 | 4,8E-02 | 3,7E-02 | 4,9E-02 | 7,4E-04 | 0,777 | 1054 | 18 | 3,6E-02 | 3,5E-02 | 5,2E-02 | 6,8E-04 | 0,777 | 1151 | 19 |
| 43 | 2,2E-02 | 2,7E-02 | 2,9E-02 | 4,3E-04 | 0,392 | 915 | 23 | 2,3E-02 | 2,6E-02 | 1,9E-02 | 3,7E-04 | 0,392 | 1050 | 24 | 4,1E-02 | 4,6E-02 | 5,1E-02 | 7,6E-04 | 0,777 | 1025 | 19 | 4,0E-02 | 4,3E-02 | 3,6E-02 | 6,5E-04 | 0,776 | 1189 | 20 |
| 50 | 2,2E-02 | 2,8E-02 | 2,2E-02 | 3,9E-04 | 0,393 | 1002 | 23 | 1,7E-02 | 2,6E-02 | 2,1E-02 | 3,6E-04 | 0,392 | 1104 | 24 | 4,1E-02 | 4,9E-02 | 3,9E-02 | 7,0E-04 | 0,779 | 1112 | 19 | 3,2E-02 | 4,4E-02 | 3,6E-02 | 6,2E-04 | 0,779 | 1260 | 20 |
| 57 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 1,9E-02 | 3,8E-04 | 0,392 | 1024 | 25 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 3,5E-04 | 0,392 | 1123 | 25 | 4,4E-02 | 4,7E-02 | 3,4E-02 | 6,8E-04 | 0,778 | 1137 | 20 | 3,5E-02 | 3,7E-02 | 4,0E-02 | 6,2E-04 | 0,778 | 1252 | 20 |
| 64 | 2,0E-02 | 2,8E-02 | 2,3E-02 | 3,9E-04 | 0,392 | 1010 | 24 | 2,4E-02 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 3,5E-04 | 0,393 | 1116 | 26 | 3,6E-02 | 4,9E-02 | 4,3E-02 | 7,0E-04 | 0,779 | 1120 | 19 | 4,4E-02 | 3,3E-02 | 3,9E-02 | 6,4E-04 | 0,779 | 1215 | 20 |
| 72 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 2,5E-02 | 3,6E-04 | 0,393 | 1078 | 24 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 3,2E-04 | 0,393 | 1221 | 25 | 3,9E-02 | 3,7E-02 | 4,6E-02 | 6,6E-04 | 0,777 | 1170 | 19 | 3,5E-02 | 3,5E-02 | 3,5E-02 | 5,8E-04 | 0,779 | 1346 | 21 |
| 78 | 2,3E-02 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 3,5E-04 | 0,392 | 1119 | 24 | 1,3E-02 | 2,2E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,392 | 1335 | 26 | 4,1E-02 | 3,7E-02 | 3,9E-02 | 6,4E-04 | 0,778 | 1222 | 20 | 2,8E-02 | 3,8E-02 | 3,3E-02 | 5,5E-04 | 0,779 | 1421 | 21 |
| 84 | 1,8E-02 | 2,6E-02 | 2,7E-02 | 3,9E-04 | 0,392 | 1013 | 24 | 1,7E-02 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 3,2E-04 | 0,392 | 1234 | 26 | 3,4E-02 | 4,6E-02 | 4,8E-02 | 7,0E-04 | 0,778 | 1108 | 19 | 3,0E-02 | 3,8E-02 | 3,7E-02 | 5,8E-04 | 0,779 | 1339 | 20 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 7,1E-02 | 6,1E-02 | 4,5E-02 | 9,5E-04 | 0,403 | 423 | 15 | 3,6E-02 | 8,3E-02 | 8,3E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 371 | 15 | 1,2E-01 | 9,8E-02 | 8,0E-02 | 1,6E-03 | 0,792 | 499 | 13 | 1,2E-01 | 1,2E-01 | 7,0E-02 | 1,6E-03 | 0,792 | 485 | 14 |
| 4 | 4,5E-02 | 3,8E-02 | 5,0E-02 | 7,2E-04 | 0,403 | 562 | 18 | 3,5E-02 | 4,6E-02 | 4,2E-02 | 6,6E-04 | 0,403 | 611 | 18 | 7,6E-02 | 6,6E-02 | 8,0E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 663 | 15 | 6,1E-02 | 7,4E-02 | 6,9E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 724 | 15 |
| 7 | 3,0E-02 | 4,1E-02 | 3,7E-02 | 5,8E-04 | 0,403 | 692 | 21 | 5,8E-02 | 4,2E-02 | 2,2E-02 | 6,5E-04 | 0,402 | 616 | 20 | 5,6E-02 | 6,7E-02 | 6,3E-02 | 9,9E-04 | 0,792 | 796 | 17 | 7,2E-02 | 5,7E-02 | 4,6E-02 | 9,4E-04 | 0,792 | 839 | 18 |
| 9 | 3,0E-02 | 3,9E-02 | 3,6E-02 | 5,7E-04 | 0,402 | 711 | 23 | 3,1E-02 | 3,5E-02 | 2,6E-02 | 5,0E-04 | 0,403 | 812 | 24 | 4,9E-02 | 6,6E-02 | 6,0E-02 | 9,4E-04 | 0,792 | 839 | 19 | 5,2E-02 | 5,6E-02 | 4,7E-02 | 8,3E-04 | 0,792 | 950 | 20 |
| 11 | 2,8E-02 | 3,2E-02 | 3,4E-02 | 5,1E-04 | 0,402 | 789 | 24 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 3,0E-02 | 4,1E-04 | 0,402 | 971 | 26 | 4,9E-02 | 5,5E-02 | 5,8E-02 | 8,7E-04 | 0,792 | 907 | 20 | 4,4E-02 | 4,0E-02 | 5,3E-02 | 7,4E-04 | 0,791 | 1075 | 21 |
| 14 | 2,5E-02 | 3,6E-02 | 2,8E-02 | 4,8E-04 | 0,402 | 841 | 25 | 2,2E-02 | 2,9E-02 | 2,3E-02 | 3,9E-04 | 0,402 | 1019 | 27 | 4,4E-02 | 6,0E-02 | 4,9E-02 | 8,2E-04 | 0,792 | 965 | 21 | 4,1E-02 | 4,7E-02 | 4,1E-02 | 7,0E-04 | 0,792 | 1137 | 22 |
| 18 | 3,6E-02 | 2,1E-02 | 3,1E-02 | 4,8E-04 | 0,403 | 833 | 26 | 2,3E-02 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 3,7E-04 | 0,403 | 1094 | 28 | 5,8E-02 | 4,0E-02 | 5,3E-02 | 8,2E-04 | 0,792 | 963 | 22 | 4,2E-02 | 3,6E-02 | 4,2E-02 | 6,6E-04 | 0,792 | 1191 | 23 |
| 21 | 2,9E-02 | 2,1E-02 | 3,7E-02 | 4,8E-04 | 0,403 | 848 | 26 | 2,1E-02 | 2,1E-02 | 2,4E-02 | 3,6E-04 | 0,403 | 1119 | 28 | 4,3E-02 | 3,9E-02 | 5,6E-02 | 7,6E-04 | 0,792 | 1045 | 22 | 3,7E-02 | 3,7E-02 | 4,1E-02 | 6,4E-04 | 0,792 | 1243 | 23 |
| 23 | 2,9E-02 | 2,3E-02 | 2,8E-02 | 4,3E-04 | 0,403 | 933 | 27 | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 3,4E-04 | 0,403 | 1189 | 29 | 4,8E-02 | 4,0E-02 | 4,9E-02 | 7,5E-04 | 0,792 | 1055 | 22 | 3,4E-02 | 3,7E-02 | 4,0E-02 | 6,2E-04 | 0,792 | 1281 | 24 |
| 36 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 2,8E-04 | 0,403 | 1432 | 29 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 2,4E-04 | 0,404 | 1659 | 29 | 3,2E-02 | 3,4E-02 | 3,5E-02 | 5,6E-04 | 0,792 | 1426 | 24 | 3,2E-02 | 2,8E-02 | 2,8E-02 | 4,8E-04 | 0,792 | 1643 | 24 |
| 39 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 2,8E-04 | 0,403 | 1432 | 28 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-02 | 2,5E-04 | 0,404 | 1627 | 29 | 3,4E-02 | 2,8E-02 | 3,6E-02 | 5,4E-04 | 0,792 | 1470 | 24 | 2,5E-02 | 2,5E-02 | 3,7E-02 | 4,8E-04 | 0,792 | 1642 | 24 |
| 43 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 2,9E-04 | 0,403 | 1406 | 28 | 1,4E-02 | 1,7E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-04 | 0,404 | 1682 | 29 | 3,0E-02 | 3,6E-02 | 3,5E-02 | 5,5E-04 | 0,792 | 1441 | 23 | 2,8E-02 | 3,1E-02 | 2,5E-02 | 4,6E-04 | 0,792 | 1731 | 24 |
| 50 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,403 | 1538 | 28 | 1,1E-02 | 1,7E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,403 | 1785 | 30 | 3,0E-02 | 3,5E-02 | 2,8E-02 | 5,1E-04 | 0,792 | 1558 | 23 | 2,2E-02 | 3,2E-02 | 2,5E-02 | 4,4E-04 | 0,792 | 1820 | 25 |
| 57 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 2,5E-04 | 0,403 | 1635 | 30 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 2,2E-04 | 0,403 | 1818 | 30 | 3,1E-02 | 3,2E-02 | 2,5E-02 | 4,9E-04 | 0,791 | 1632 | 24 | 2,4E-02 | 2,6E-02 | 2,8E-02 | 4,3E-04 | 0,791 | 1831 | 25 |
| 64 | 1,4E-02 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,403 | 1574 | 29 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,404 | 1818 | 30 | 2,7E-02 | 3,5E-02 | 3,0E-02 | 5,0E-04 | 0,791 | 1584 | 24 | 3,1E-02 | 2,3E-02 | 2,7E-02 | 4,4E-04 | 0,792 | 1783 | 25 |
| 72 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 2,4E-04 | 0,404 | 1696 | 29 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,403 | 1997 | 30 | 2,7E-02 | 2,7E-02 | 3,3E-02 | 4,8E-04 | 0,791 | 1660 | 24 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 2,4E-02 | 4,0E-04 | 0,792 | 1978 | 25 |
| 78 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,403 | 1768 | 30 | 7,6E-03 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,404 | 2226 | 32 | 3,0E-02 | 2,6E-02 | 2,7E-02 | 4,5E-04 | 0,792 | 1759 | 25 | 1,9E-02 | 2,7E-02 | 2,3E-02 | 3,8E-04 | 0,791 | 2094 | 26 |
| 84 | 1,2E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 2,5E-04 | 0,404 | 1617 | 29 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,404 | 2009 | 31 | 2,6E-02 | 3,5E-02 | 3,2E-02 | 5,0E-04 | 0,792 | 1571 | 24 | 2,1E-02 | 2,7E-02 | 2,6E-02 | 4,1E-04 | 0,792 | 1944 | 25 |



| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 6,4E-02 | 5,3E-02 | 4,1E-02 | 8,5E-04 | 0,402 | 474 | 17 | 3,2E-02 | 7,3E-02 | 7,5E-02 | 9,6E-04 | 0,402 | 417 | 17 | 1,0E-01 | 8,5E-02 | 7,0E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 570 | 15 | 9,6E-02 | 1,0E-01 | 6,1E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 570 | 16 |
| 4 | 3,9E-02 | 3,2E-02 | 4,4E-02 | 6,2E-04 | 0,402 | 648 | 21 | 3,0E-02 | 4,0E-02 | 3,6E-02 | 5,7E-04 | 0,402 | 702 | 21 | 6,7E-02 | 5,8E-02 | 7,1E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 749 | 18 | 5,3E-02 | 6,5E-02 | 6,0E-02 | 9,6E-04 | 0,790 | 821 | 18 |
| 7 | 2,6E-02 | 3,4E-02 | 3,1E-02 | 4,9E-04 | 0,403 | 826 | 25 | 5,1E-02 | 3,5E-02 | 1,9E-02 | 5,6E-04 | 0,402 | 714 | 24 | 4,9E-02 | 5,7E-02 | 5,5E-02 | 8,7E-04 | 0,790 | 914 | 21 | 6,2E-02 | 4,8E-02 | 4,0E-02 | 8,1E-04 | 0,791 | 977 | 21 |
| 9 | 2,5E-02 | 3,3E-02 | 2,9E-02 | 4,6E-04 | 0,402 | 866 | 27 | 2,5E-02 | 2,9E-02 | 2,1E-02 | 4,0E-04 | 0,402 | 997 | 28 | 4,2E-02 | 5,7E-02 | 5,0E-02 | 8,1E-04 | 0,790 | 981 | 23 | 4,4E-02 | 4,7E-02 | 4,0E-02 | 7,0E-04 | 0,790 | 1124 | 23 |
| 11 | 2,3E-02 | 2,6E-02 | 2,8E-02 | 4,1E-04 | 0,402 | 970 | 29 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 2,4E-02 | 3,3E-04 | 0,402 | 1211 | 31 | 4,3E-02 | 4,7E-02 | 4,7E-02 | 7,3E-04 | 0,790 | 1076 | 24 | 3,7E-02 | 3,3E-02 | 4,4E-02 | 6,2E-04 | 0,790 | 1278 | 25 |
| 14 | 2,0E-02 | 2,9E-02 | 2,2E-02 | 3,8E-04 | 0,402 | 1050 | 30 | 1,7E-02 | 2,2E-02 | 1,8E-02 | 3,1E-04 | 0,402 | 1293 | 32 | 3,6E-02 | 5,0E-02 | 4,1E-02 | 6,8E-04 | 0,790 | 1154 | 25 | 3,4E-02 | 3,9E-02 | 3,4E-02 | 5,8E-04 | 0,790 | 1374 | 26 |
| 18 | 2,9E-02 | 1,7E-02 | 2,4E-02 | 3,9E-04 | 0,403 | 1043 | 30 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,403 | 1407 | 33 | 4,8E-02 | 3,4E-02 | 4,4E-02 | 6,9E-04 | 0,790 | 1149 | 25 | 3,5E-02 | 2,9E-02 | 3,5E-02 | 5,5E-04 | 0,790 | 1440 | 27 |
| 21 | 2,3E-02 | 1,6E-02 | 3,0E-02 | 3,8E-04 | 0,402 | 1053 | 31 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 1,9E-02 | 2,8E-04 | 0,403 | 1438 | 33 | 3,6E-02 | 3,3E-02 | 4,4E-02 | 6,3E-04 | 0,790 | 1263 | 26 | 3,0E-02 | 3,0E-02 | 3,4E-02 | 5,2E-04 | 0,790 | 1518 | 27 |
| 23 | 2,2E-02 | 1,8E-02 | 2,2E-02 | 3,4E-04 | 0,403 | 1194 | 32 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,403 | 1544 | 35 | 3,9E-02 | 3,4E-02 | 4,0E-02 | 6,2E-04 | 0,790 | 1281 | 27 | 2,8E-02 | 3,1E-02 | 3,3E-02 | 5,0E-04 | 0,790 | 1566 | 28 |
| 36 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 2,2E-04 | 0,403 | 1823 | 33 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,404 | 2121 | 34 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 4,1E-04 | 0,748 | 1823 | 27 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 3,5E-04 | 0,748 | 2136 | 28 |
| 39 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 2,2E-04 | 0,403 | 1839 | 33 | 9,8E-03 | 9,2E-03 | 1,6E-02 | 1,9E-04 | 0,403 | 2102 | 34 | 2,4E-02 | 2,2E-02 | 2,6E-02 | 3,9E-04 | 0,748 | 1905 | 27 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 2,7E-02 | 3,5E-04 | 0,748 | 2151 | 28 |
| 43 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 2,2E-04 | 0,404 | 1795 | 32 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 8,8E-03 | 1,9E-04 | 0,403 | 2174 | 34 | 2,2E-02 | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 4,0E-04 | 0,750 | 1874 | 27 | 2,2E-02 | 2,5E-02 | 2,0E-02 | 3,7E-04 | 0,790 | 2137 | 28 |
| 50 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 2,1E-04 | 0,403 | 1960 | 32 | 8,2E-03 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 1,7E-04 | 0,403 | 2315 | 34 | 2,4E-02 | 2,9E-02 | 2,3E-02 | 4,2E-04 | 0,790 | 1896 | 27 | 1,8E-02 | 2,6E-02 | 2,0E-02 | 3,5E-04 | 0,790 | 2241 | 28 |
| 57 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 1,9E-04 | 0,403 | 2112 | 34 | 9,8E-03 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,403 | 2342 | 35 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 2,1E-02 | 3,9E-04 | 0,789 | 2009 | 28 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 3,5E-04 | 0,790 | 2266 | 29 |
| 64 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 2,0E-04 | 0,403 | 2011 | 33 | 1,2E-02 | 9,6E-03 | 9,8E-03 | 1,7E-04 | 0,403 | 2336 | 35 | 2,2E-02 | 2,9E-02 | 2,4E-02 | 4,1E-04 | 0,790 | 1938 | 28 | 2,5E-02 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 3,6E-04 | 0,790 | 2210 | 28 |
| 72 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 1,3E-02 | 1,8E-04 | 0,403 | 2183 | 34 | 8,6E-03 | 1,0E-02 | 9,2E-03 | 1,6E-04 | 0,403 | 2591 | 35 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 2,8E-02 | 3,9E-04 | 0,790 | 2035 | 28 | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 1,9E-02 | 3,2E-04 | 0,790 | 2445 | 29 |
| 78 | 1,3E-02 | 9,4E-03 | 1,0E-02 | 1,8E-04 | 0,404 | 2285 | 35 | 5,8E-03 | 1,2E-02 | 8,0E-03 | 1,4E-04 | 0,404 | 2875 | 38 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 2,1E-02 | 3,6E-04 | 0,790 | 2169 | 28 | 1,5E-02 | 2,2E-02 | 1,9E-02 | 3,1E-04 | 0,790 | 2579 | 30 |
| 84 | 9,5E-03 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,403 | 2084 | 34 | 8,4E-03 | 1,0E-02 | 9,7E-03 | 1,6E-04 | 0,403 | 2588 | 36 | 2,1E-02 | 2,8E-02 | 2,6E-02 | 4,1E-04 | 0,790 | 1918 | 27 | 1,7E-02 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 3,3E-04 | 0,790 | 2375 | 29 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 5,7E-02 | 4,8E-02 | 3,8E-02 | 7,7E-04 | 0,397 | 516 | 20 | 2,9E-02 | 6,6E-02 | 6,8E-02 | 8,8E-04 | 0,397 | 452 | 20 | 9,2E-02 | 7,8E-02 | 6,6E-02 | 1,3E-03 | 0,778 | 613 | 18 | 8,5E-02 | 8,9E-02 | 5,6E-02 | 1,2E-03 | 0,778 | 628 | 18 |
| 4 | 3,5E-02 | 2,8E-02 | 3,9E-02 | 5,5E-04 | 0,397 | 721 | 24 | 2,6E-02 | 3,6E-02 | 3,2E-02 | 5,1E-04 | 0,398 | 785 | 25 | 6,0E-02 | 5,3E-02 | 6,4E-02 | 9,5E-04 | 0,778 | 819 | 21 | 4,8E-02 | 5,8E-02 | 5,4E-02 | 8,6E-04 | 0,778 | 902 | 21 |
| 7 | 2,3E-02 | 2,8E-02 | 2,7E-02 | 4,2E-04 | 0,398 | 949 | 29 | 4,5E-02 | 3,1E-02 | 1,6E-02 | 4,9E-04 | 0,397 | 809 | 27 | 4,5E-02 | 4,9E-02 | 4,8E-02 | 7,7E-04 | 0,778 | 1016 | 24 | 5,4E-02 | 4,2E-02 | 3,6E-02 | 7,1E-04 | 0,778 | 1096 | 25 |
| 9 | 2,1E-02 | 2,8E-02 | 2,4E-02 | 3,9E-04 | 0,398 | 1014 | 32 | 2,1E-02 | 2,4E-02 | 1,8E-02 | 3,4E-04 | 0,398 | 1170 | 33 | 3,7E-02 | 5,0E-02 | 4,3E-02 | 7,0E-04 | 0,779 | 1109 | 26 | 3,8E-02 | 4,1E-02 | 3,5E-02 | 6,1E-04 | 0,778 | 1277 | 27 |
| 11 | 2,0E-02 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 3,5E-04 | 0,398 | 1139 | 33 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 2,0E-02 | 2,8E-04 | 0,398 | 1432 | 36 | 3,8E-02 | 4,1E-02 | 4,0E-02 | 6,4E-04 | 0,778 | 1223 | 27 | 3,2E-02 | 2,9E-02 | 3,8E-02 | 5,3E-04 | 0,778 | 1459 | 29 |
| 14 | 1,6E-02 | 2,5E-02 | 1,8E-02 | 3,2E-04 | 0,398 | 1246 | 35 | 1,4E-02 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,398 | 1543 | 37 | 3,1E-02 | 4,4E-02 | 3,5E-02 | 5,9E-04 | 0,779 | 1320 | 29 | 3,0E-02 | 3,3E-02 | 2,9E-02 | 4,9E-04 | 0,779 | 1575 | 30 |
| 18 | 2,4E-02 | 1,5E-02 | 2,0E-02 | 3,2E-04 | 0,399 | 1238 | 35 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 2,4E-04 | 0,400 | 1683 | 39 | 4,1E-02 | 3,0E-02 | 3,7E-02 | 5,9E-04 | 0,777 | 1323 | 29 | 3,0E-02 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 4,7E-04 | 0,776 | 1661 | 31 |
| 21 | 1,9E-02 | 1,4E-02 | 2,5E-02 | 3,2E-04 | 0,398 | 1244 | 35 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 1,6E-02 | 2,3E-04 | 0,399 | 1717 | 38 | 3,1E-02 | 2,8E-02 | 3,9E-02 | 5,4E-04 | 0,777 | 1449 | 30 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 3,0E-02 | 4,4E-04 | 0,777 | 1756 | 31 |
| 23 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,8E-04 | 0,398 | 1436 | 37 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 2,1E-04 | 0,399 | 1858 | 41 | 3,2E-02 | 2,9E-02 | 3,5E-02 | 5,3E-04 | 0,777 | 1480 | 31 | 2,3E-02 | 2,6E-02 | 2,9E-02 | 4,3E-04 | 0,778 | 1807 | 32 |
| 36 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,398 | 2176 | 39 | 1,0E-02 | 9,5E-03 | 9,0E-03 | 1,6E-04 | 0,397 | 2531 | 40 | 2,2E-02 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 3,9E-04 | 0,776 | 1993 | 31 | 2,2E-02 | 2,0E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,777 | 2333 | 32 |
| 39 | 1,1E-02 | 9,9E-03 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,398 | 2215 | 38 | 7,9E-03 | 7,6E-03 | 1,3E-02 | 1,6E-04 | 0,398 | 2526 | 40 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 2,5E-02 | 3,7E-04 | 0,776 | 2089 | 31 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 2,6E-02 | 3,3E-04 | 0,776 | 2334 | 32 |
| 43 | 9,4E-03 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,398 | 2153 | 37 | 9,0E-03 | 1,1E-02 | 7,2E-03 | 1,5E-04 | 0,398 | 2610 | 39 | 2,0E-02 | 2,6E-02 | 2,3E-02 | 3,8E-04 | 0,776 | 2044 | 31 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 1,7E-02 | 3,1E-04 | 0,777 | 2470 | 32 |
| 50 | 9,3E-03 | 1,2E-02 | 9,5E-03 | 1,7E-04 | 0,398 | 2336 | 37 | 6,7E-03 | 1,1E-02 | 8,2E-03 | 1,4E-04 | 0,398 | 2786 | 40 | 2,1E-02 | 2,4E-02 | 2,0E-02 | 3,6E-04 | 0,776 | 2177 | 31 | 1,5E-02 | 2,2E-02 | 1,7E-02 | 3,0E-04 | 0,777 | 2578 | 33 |
| 57 | 9,9E-03 | 1,0E-02 | 8,7E-03 | 1,6E-04 | 0,398 | 2540 | 40 | 8,0E-03 | 8,3E-03 | 9,4E-03 | 1,4E-04 | 0,398 | 2804 | 40 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 1,8E-02 | 3,4E-04 | 0,777 | 2317 | 32 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 3,0E-04 | 0,777 | 2610 | 33 |
| 64 | 9,0E-03 | 1,2E-02 | 9,1E-03 | 1,7E-04 | 0,398 | 2405 | 38 | 1,0E-02 | 7,9E-03 | 8,2E-03 | 1,4E-04 | 0,398 | 2756 | 40 | 1,9E-02 | 2,4E-02 | 2,0E-02 | 3,5E-04 | 0,776 | 2236 | 32 | 2,1E-02 | 1,6E-02 | 1,8E-02 | 3,1E-04 | 0,776 | 2531 | 33 |
| 72 | 8,2E-03 | 8,7E-03 | 1,1E-02 | 1,5E-04 | 0,398 | 2616 | 40 | 7,0E-03 | 8,9E-03 | 7,5E-03 | 1,3E-04 | 0,398 | 3095 | 41 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,3E-02 | 3,3E-04 | 0,776 | 2347 | 32 | 1,6E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 2,8E-04 | 0,777 | 2814 | 33 |
| 78 | 1,1E-02 | 7,6E-03 | 8,3E-03 | 1,5E-04 | 0,398 | 2737 | 40 | 4,8E-03 | 9,7E-03 | 6,5E-03 | 1,2E-04 | 0,398 | 3424 | 44 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 3,1E-04 | 0,777 | 2502 | 33 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 2,6E-04 | 0,777 | 2967 | 34 |
| 84 | 8,0E-03 | 1,2E-02 | 9,8E-03 | 1,6E-04 | 0,397 | 2478 | 39 | 6,9E-03 | 8,6E-03 | 8,0E-03 | 1,3E-04 | 0,397 | 3066 | 42 | 1,8E-02 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 3,5E-04 | 0,776 | 2201 | 31 | 1,4E-02 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 2,9E-04 | 0,777 | 2719 | 33 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|-----------|----------|-------|---------|---|---|----------|----------|----------|-------|---------|---|---|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 5,1E-02 | 4,3E-02 | 3,4E-02 | 6,9E-04 | 0,384 | 554 | 23 | 2,7E-02 | 6,1E-02 | 6,3E-02 | 8,1E-04 | 0,388 | 479 | 23 | 8,3E-02 | 7,0E-02</ | | | | | | | | | | | | |

Annexe 16 – Résultats d'essais à 15°C et 45% d'HR – Essais à 20 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,1E-01 | 8,8E-02 | 4,7E-02 | 1,3E-03 | 0,403 | 303 | 12 | 6,6E-02 | 5,3E-02 | 9,0E-02 | 1,1E-03 | 0,404 | 360 | 12 | 1,5E-01 | 1,2E-01 | 7,9E-02 | 1,9E-03 | 0,790 | 420 | 11 | 1,0E-01 | 9,2E-02 | 1,4E-01 | 1,8E-03 | 0,790 | 441 | 11 |
| 4 | 6,4E-02 | 5,0E-02 | 5,8E-02 | 9,3E-04 | 0,403 | 436 | 14 | 5,3E-02 | 4,4E-02 | 5,2E-02 | 8,0E-04 | 0,403 | 503 | 14 | 9,5E-02 | 7,7E-02 | 8,8E-02 | 1,4E-03 | 0,789 | 564 | 12 | 7,7E-02 | 7,1E-02 | 8,4E-02 | 1,3E-03 | 0,790 | 632 | 12 |
| 7 | 5,2E-02 | 4,7E-02 | 5,3E-02 | 8,2E-04 | 0,403 | 493 | 15 | 6,5E-02 | 6,5E-02 | 3,3E-02 | 8,8E-04 | 0,404 | 460 | 15 | 7,9E-02 | 7,5E-02 | 8,1E-02 | 1,3E-03 | 0,790 | 627 | 13 | 8,4E-02 | 9,1E-02 | 6,3E-02 | 1,3E-03 | 0,789 | 617 | 13 |
| 9 | 6,4E-02 | 3,6E-02 | 5,4E-02 | 8,3E-04 | 0,403 | 487 | 16 | 4,5E-02 | 4,2E-02 | 4,6E-02 | 7,1E-04 | 0,403 | 566 | 17 | 9,1E-02 | 5,8E-02 | 8,1E-02 | 1,2E-03 | 0,789 | 639 | 14 | 6,6E-02 | 6,5E-02 | 7,2E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 728 | 14 |
| 11 | 5,2E-02 | 4,3E-02 | 4,6E-02 | 7,6E-04 | 0,403 | 530 | 17 | 3,7E-02 | 4,9E-02 | 5,8E-02 | 7,7E-04 | 0,404 | 525 | 17 | 8,0E-02 | 6,5E-02 | 6,9E-02 | 1,2E-03 | 0,791 | 684 | 14 | 5,6E-02 | 7,3E-02 | 8,4E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 688 | 15 |
| 14 | 5,5E-02 | 5,2E-02 | 4,2E-02 | 8,0E-04 | 0,403 | 503 | 16 | 3,9E-02 | 4,1E-02 | 4,8E-02 | 6,9E-04 | 0,403 | 583 | 17 | 8,0E-02 | 7,6E-02 | 6,6E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 662 | 14 | 5,9E-02 | 6,5E-02 | 7,4E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 742 | 14 |
| 18 | 5,0E-02 | 3,7E-02 | 4,7E-02 | 7,4E-04 | 0,403 | 547 | 19 | 4,1E-02 | 3,3E-02 | 5,2E-02 | 6,9E-04 | 0,402 | 580 | 19 | 6,9E-02 | 5,7E-02 | 6,6E-02 | 1,0E-03 | 0,796 | 759 | 13 | 5,0E-02 | 6,4E-02 | 6,9E-02 | 1,0E-03 | 0,789 | 781 | 16 |
| 21 | 5,7E-02 | 3,1E-02 | 4,8E-02 | 7,4E-04 | 0,403 | 541 | 19 | 3,6E-02 | 3,5E-02 | 3,8E-02 | 6,0E-04 | 0,402 | 671 | 20 | 6,8E-02 | 5,9E-02 | 6,1E-02 | 1,0E-03 | 0,788 | 766 | 16 | 5,5E-02 | 5,6E-02 | 5,9E-02 | 9,3E-04 | 0,789 | 846 | 16 |
| 23 | 4,8E-02 | 3,4E-02 | 5,0E-02 | 7,2E-04 | 0,402 | 559 | 19 | 4,2E-02 | 4,2E-02 | 3,1E-02 | 6,4E-04 | 0,402 | 631 | 19 | 7,2E-02 | 5,4E-02 | 7,1E-02 | 1,1E-03 | 0,789 | 733 | 16 | 6,4E-02 | 6,7E-02 | 4,8E-02 | 9,8E-04 | 0,788 | 800 | 16 |
| 36 | 2,9E-02 | 2,6E-02 | 3,2E-02 | 4,8E-04 | 0,391 | 819 | 20 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 2,8E-02 | 4,2E-04 | 0,392 | 937 | 21 | 4,9E-02 | 4,5E-02 | 5,1E-02 | 7,9E-04 | 0,778 | 978 | 17 | 4,2E-02 | 4,3E-02 | 4,4E-02 | 7,1E-04 | 0,778 | 1094 | 18 |
| 39 | 2,4E-02 | 3,6E-02 | 3,0E-02 | 4,9E-04 | 0,392 | 800 | 21 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 2,5E-02 | 4,1E-04 | 0,391 | 950 | 21 | 4,1E-02 | 5,5E-02 | 5,0E-02 | 8,0E-04 | 0,777 | 974 | 17 | 4,1E-02 | 4,2E-02 | 4,4E-02 | 7,0E-04 | 0,778 | 1109 | 18 |
| 43 | 2,4E-02 | 3,1E-02 | 3,3E-02 | 4,8E-04 | 0,391 | 809 | 20 | 2,0E-02 | 2,8E-02 | 2,8E-02 | 4,2E-04 | 0,392 | 926 | 21 | 4,2E-02 | 4,9E-02 | 5,3E-02 | 7,9E-04 | 0,778 | 988 | 17 | 3,6E-02 | 4,5E-02 | 4,7E-02 | 7,0E-04 | 0,797 | 1135 | 21 |
| 50 | 2,6E-02 | 2,6E-02 | 2,7E-02 | 4,3E-04 | 0,393 | 912 | 21 | 1,9E-02 | 3,3E-02 | 2,2E-02 | 4,1E-04 | 0,392 | 954 | 21 | 4,3E-02 | 4,3E-02 | 4,6E-02 | 7,2E-04 | 0,777 | 1075 | 17 | 3,6E-02 | 3,5E-02 | 3,5E-02 | 6,8E-04 | 0,777 | 1135 | 18 |
| 57 | 2,4E-02 | 3,0E-02 | 2,6E-02 | 4,3E-04 | 0,392 | 904 | 21 | 1,7E-02 | 3,0E-02 | 2,3E-02 | 3,9E-04 | 0,392 | 1015 | 21 | 4,1E-02 | 4,9E-02 | 4,3E-02 | 7,2E-04 | 0,778 | 1074 | 17 | 3,3E-02 | 4,8E-02 | 3,8E-02 | 6,5E-04 | 0,778 | 1191 | 18 |
| 64 | 2,2E-02 | 2,9E-02 | 2,4E-02 | 4,1E-04 | 0,392 | 959 | 21 | 2,2E-02 | 2,4E-02 | 2,1E-02 | 3,7E-04 | 0,391 | 1062 | 22 | 4,0E-02 | 4,4E-02 | 4,5E-02 | 7,0E-04 | 0,778 | 1106 | 18 | 3,7E-02 | 4,0E-02 | 3,8E-02 | 6,4E-04 | 0,777 | 1216 | 18 |
| 72 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 4,3E-04 | 0,392 | 914 | 21 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 1,9E-02 | 3,6E-04 | 0,392 | 1083 | 22 | 4,1E-02 | 4,2E-02 | 4,9E-02 | 7,2E-04 | 0,779 | 1084 | 18 | 4,0E-02 | 4,0E-02 | 3,2E-02 | 6,2E-04 | 0,778 | 1257 | 18 |
| 78 | 2,4E-02 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 4,0E-04 | 0,392 | 989 | 22 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 2,5E-02 | 3,7E-04 | 0,392 | 1069 | 22 | 4,0E-02 | 4,1E-02 | 4,2E-02 | 6,7E-04 | 0,778 | 1159 | 18 | 3,7E-02 | 3,4E-02 | 4,3E-02 | 6,3E-04 | 0,777 | 1237 | 19 |
| 84 | 2,6E-02 | 2,4E-02 | 2,6E-02 | 4,2E-04 | 0,393 | 944 | 22 | 1,7E-02 | 2,8E-02 | 2,5E-02 | 3,8E-04 | 0,393 | 1021 | 22 | 4,3E-02 | 4,1E-02 | 4,4E-02 | 7,0E-04 | 0,778 | 1115 | 18 | 2,9E-02 | 4,7E-02 | 4,1E-02 | 6,5E-04 | 0,778 | 1200 | 19 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 8,2E-02 | 7,0E-02 | 4,0E-02 | 1,0E-03 | 0,403 | 390 | 15 | 5,5E-02 | 4,3E-02 | 7,7E-02 | 9,4E-04 | 0,403 | 427 | 14 | 1,3E-01 | 1,0E-01 | 6,8E-02 | 1,6E-03 | 0,792 | 497 | 14 | 8,7E-02 | 7,6E-02 | 1,1E-01 | 1,5E-03 | 0,792 | 539 | 13 |
| 4 | 5,0E-02 | 3,9E-02 | 4,7E-02 | 7,3E-04 | 0,402 | 549 | 18 | 4,1E-02 | 3,5E-02 | 4,2E-02 | 6,4E-04 | 0,402 | 633 | 18 | 7,8E-02 | 6,4E-02 | 7,5E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 682 | 15 | 6,4E-02 | 5,9E-02 | 7,1E-02 | 1,0E-03 | 0,791 | 761 | 15 |
| 7 | 4,1E-02 | 3,6E-02 | 4,0E-02 | 6,3E-04 | 0,403 | 644 | 20 | 4,9E-02 | 4,8E-02 | 2,6E-02 | 6,6E-04 | 0,402 | 608 | 20 | 6,5E-02 | 6,1E-02 | 6,4E-02 | 1,0E-03 | 0,792 | 776 | 17 | 6,7E-02 | 7,0E-02 | 5,1E-02 | 1,0E-03 | 0,791 | 785 | 17 |
| 9 | 4,6E-02 | 2,7E-02 | 4,0E-02 | 6,0E-04 | 0,402 | 667 | 22 | 3,2E-02 | 3,1E-02 | 3,3E-02 | 5,2E-04 | 0,402 | 776 | 22 | 6,9E-02 | 4,6E-02 | 6,4E-02 | 9,6E-04 | 0,792 | 822 | 18 | 5,0E-02 | 5,1E-02 | 5,5E-02 | 8,4E-04 | 0,792 | 942 | 19 |
| 11 | 3,7E-02 | 3,2E-02 | 3,3E-02 | 5,5E-04 | 0,402 | 737 | 23 | 2,6E-02 | 3,5E-02 | 4,2E-02 | 5,5E-04 | 0,402 | 730 | 23 | 6,0E-02 | 5,2E-02 | 5,3E-02 | 8,8E-04 | 0,792 | 896 | 19 | 4,3E-02 | 5,6E-02 | 6,4E-02 | 8,8E-04 | 0,792 | 904 | 19 |
| 14 | 4,0E-02 | 3,7E-02 | 3,2E-02 | 5,9E-04 | 0,402 | 683 | 22 | 2,9E-02 | 3,0E-02 | 3,5E-02 | 5,0E-04 | 0,402 | 805 | 23 | 6,2E-02 | 5,8E-02 | 5,3E-02 | 9,3E-04 | 0,791 | 850 | 19 | 4,6E-02 | 5,0E-02 | 5,6E-02 | 8,2E-04 | 0,791 | 967 | 19 |
| 18 | 3,5E-02 | 2,5E-02 | 3,4E-02 | 5,2E-04 | 0,403 | 780 | 25 | 2,9E-02 | 2,2E-02 | 3,8E-02 | 4,9E-04 | 0,403 | 826 | 25 | 4,7E-02 | 3,8E-02 | 4,7E-02 | 7,2E-04 | 0,777 | 1085 | 16 | 3,7E-02 | 4,7E-02 | 5,3E-02 | 7,5E-04 | 0,792 | 1050 | 21 |
| 21 | 4,0E-02 | 2,2E-02 | 3,4E-02 | 5,2E-04 | 0,404 | 772 | 25 | 2,4E-02 | 2,4E-02 | 2,6E-02 | 4,1E-04 | 0,403 | 990 | 26 | 5,0E-02 | 4,3E-02 | 4,8E-02 | 7,7E-04 | 0,792 | 1025 | 21 | 4,0E-02 | 4,1E-02 | 4,4E-02 | 6,9E-04 | 0,792 | 1153 | 22 |
| 23 | 3,3E-02 | 2,4E-02 | 3,4E-02 | 5,0E-04 | 0,403 | 811 | 26 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 2,1E-02 | 4,4E-04 | 0,404 | 921 | 26 | 5,3E-02 | 4,1E-02 | 5,3E-02 | 8,0E-04 | 0,792 | 989 | 21 | 4,7E-02 | 5,0E-02 | 3,5E-02 | 7,3E-04 | 0,791 | 1084 | 21 |
| 36 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 2,3E-02 | 3,4E-04 | 0,403 | 1203 | 27 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 1,9E-02 | 2,9E-04 | 0,403 | 1396 | 28 | 3,7E-02 | 3,3E-02 | 3,9E-02 | 5,9E-04 | 0,792 | 1336 | 23 | 3,0E-02 | 3,2E-02 | 3,2E-02 | 5,2E-04 | 0,792 | 1518 | 23 |
| 39 | 1,7E-02 | 2,5E-02 | 2,0E-02 | 3,4E-04 | 0,403 | 1182 | 27 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 1,7E-02 | 2,8E-04 | 0,403 | 1424 | 27 | 3,1E-02 | 4,2E-02 | 3,5E-02 | 5,9E-04 | 0,792 | 1337 | 22 | 3,0E-02 | 3,1E-02 | 3,2E-02 | 5,1E-04 | 0,792 | 1541 | 23 |
| 43 | 1,7E-02 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 3,4E-04 | 0,403 | 1193 | 26 | 1,4E-02 | 4,0E-02 | 2,9E-02 | 2,9E-04 | 0,404 | 1389 | 27 | 3,1E-02 | 3,8E-02 | 3,8E-02 | 5,8E-04 | 0,792 | 1355 | 22 | 2,6E-02 | 3,2E-02 | 3,3E-02 | 5,0E-04 | 0,781 | 1560 | 24 |
| 50 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 3,0E-04 | 0,404 | 1356 | 27 | 1,3E-02 | 2,3E-02 | 1,5E-02 | 2,8E-04 | 0,403 | 1437 | 27 | 3,1E-02 | 3,3E-02 | 3,4E-02 | 5,3E-04 | 0,792 | 1483 | 23 | 2,6E-02 | 4,0E-02 | 2,6E-02 | 5,0E-04 | 0,792 | 1569 | 23 |
| 57 | 1,7E-02 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 3,0E-04 | 0,403 | 1342 | 27 | 1,2E-02 | 2,1E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,404 | 1541 | 28 | 3,0E-02 | 3,6E-02 | 3,2E-02 | 5,4E-04 | 0,792 | 1474 | 22 | 2,4E-02 | 3,5E-02 | 2,7E-02 | 4,8E-04 | 0,792 | 1661 | 23 |
| 64 | 1,5E-02 | 2,0E-02 | 1,6E-02 | 2,8E-04 | 0,403 | 1449 | 28 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 2,5E-04 | 0,404 | 1619 | 28 | 3,0E-02 | 3,2E-02 | 3,2E-02 | 5,1E-04 | 0,791 | 1542 | 23 | 2,8E-02 | 2,9E-02 | 2,7E-02 | 4,6E-04 | 0,792 | 1706 | 24 |
| 72 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 2,1E-02 | 2,9E-04 | 0,403 | 1368 | 27 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,404 | 1650 | 28 | 2,9E-02 | 3,1E-02 | 3,6E-02 | 5,3E-04 | 0,792 | 1497 | 23 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 2,4E-02 | 4,5E-04 | 0,792 | 1766 | 23 |
| 78 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 2,7E-04 | 0,404 | 1513 | 28 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 1,7E-02 | 2,5E-04 | 0,403 | 1641 | 28 | 3,0E-02 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 4,8E-04 | 0,791 | 1633 | 24 | 2,9E-02 | 2,7E-02 | 3,3E-02 | 4,9E-04 | 0,839 | 1727 | 24 |
| 84 | 1,8E-02 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,403 | 1409 | 28 | 1,1E-02 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 2,6E-04 | 0,404 | 1552 | 28 | 3,1E-02 | 3,1E-02 | 3,2E-02 | 5,1E-04 | 0,791 | 1547 | 23 | 2,1E-02 | 3,5E-02 | 3,0E-02 | 4,7E-04 | 0,792 | 1682 | 23 |



| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 7,3E-02 | 6,2E-02 | 3,5E-02 | 9,2E-04 | 0,403 | 439 | 17 | 5,0E-02 | 3,9E-02 | 7,0E-02 | 8,6E-04 | 0,402 | 469 | 17 | 1,1E-01 | 8,9E-02 | 6,1E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 562 | 16 | 7,8E-02 | 6,7E-02 | 9,7E-02 | 1,3E-03 | 0,790 | 606 | 16 |
| 4 | 4,3E-02 | 3,4E-02 | 4,1E-02 | 6,4E-04 | 0,402 | 632 | 21 | 3,5E-02 | 3,0E-02 | 3,7E-02 | 5,5E-04 | 0,402 | 729 | 21 | 6,9E-02 | 5,6E-02 | 6,7E-02 | 1,0E-03 | 0,790 | 766 | 18 | 5,6E-02 | 5,2E-02 | 6,3E-02 | 9,2E-04 | 0,790 | 858 | 18 |
| 7 | 3,5E-02 | 3,1E-02 | 3,3E-02 | 5,3E-04 | 0,402 | 757 | 24 | 4,3E-02 | 4,0E-02 | 2,2E-02 | 5,6E-04 | 0,402 | 712 | 23 | 5,8E-02 | 5,4E-02 | 5,5E-02 | 8,9E-04 | 0,790 | 886 | 20 | 5,7E-02 | 5,9E-02 | 4,5E-02 | 8,7E-04 | 0,790 | 910 | 20 |
| 9 | 3,7E-02 | 2,2E-02 | 3,3E-02 | 5,0E-04 | 0,402 | 810 | 26 | 2,6E-02 | 2,6E-02 | 2,7E-02 | 4,2E-04 | 0,402 | 946 | 27 | 5,8E-02 | 4,0E-02 | 5,5E-02 | 8,2E-04 | 0,791 | 964 | 22 | 4,2E-02 | 4,4E-02 | 4,7E-02 | 7,1E-04 | 0,790 | 1106 | 23 |
| 11 | 3,0E-02 | 2,6E-02 | 2,7E-02 | 4,4E-04 | 0,402 | 907 | 28 | 2,0E-02 | 2,9E-02 | 3,5E-02 | 4,5E-04 | 0,402 | 890 | 27 | 4,9E-02 | 4,5E-02 | 4,5E-02 | 7,5E-04 | 0,790 | 1057 | 23 | 3,6E-02 | 4,8E-02 | 5,3E-02 | 7,4E-04 | 0,790 | 1069 | 23 |
| 14 | 3,3E-02 | 3,0E-02 | 2,7E-02 | 4,8E-04 | 0,402 | 830 | 27 | 2,3E-02 | 2,4E-02 | 2,8E-02 | 4,1E-04 | 0,402 | 983 | 28 | 5,2E-02 | 4,9E-02 | 4,6E-02 | 7,9E-04 | 0,790 | 1001 | 23 | 3,9E-02 | 4,2E-02 | 4,7E-02 | 6,9E-04 | 0,790 | 1139 | 23 |
| 18 | 2,7E-02 | 2,0E-02 | 2,8E-02 | 4,1E-04 | 0,403 | 974 | 30 | 2,3E-02 | 1,8E-02 | 3,1E-02 | 3,9E-04 | 0,403 | 1022 | 30 | 3,8E-02 | 3,1E-02 | 3,9E-02 | 5,9E-04 | 0,775 | 1306 | 1 | 3,1E-02 | 3,9E-02 | 4,4E-02 | 6,3E-04 | 0,790 | 1254 | 25 |
| 21 | 3,1E-02 | 1,8E-02 | 2,7E-02 | 4,2E-04 | 0,403 | 971 | 29 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 3,2E-04 | 0,403 | 1256 | 32 | 4,1E-02 | 3,6E-02 | 4,1E-02 | 6,4E-04 | 0,790 | 1232 | 25 | 3,3E-02 | 3,4E-02 | 3,6E-02 | 5,7E-04 | 0,789 | 1395 | 26 |
| 23 | 2,6E-02 | 2,0E-02 | 2,7E-02 | 3,9E-04 | 0,403 | 1025 | 30 | 2,3E-02 | 2,4E-02 | 1,7E-02 | 3,5E-04 | 0,403 | 1155 | 31 | 4,3E-02 | 3,4E-02 | 4,4E-02 | 6,6E-04 | 0,789 | 1190 | 26 | 3,9E-02 | 4,2E-02 | 3,0E-02 | 6,1E-04 | 0,790 | 1301 | 26 |
| 36 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,404 | 1533 | 31 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 2,3E-04 | 0,403 | 1785 | 33 | 2,7E-02 | 2,4E-02 | 2,9E-02 | 4,4E-04 | 0,749 | 1708 | 26 | 2,2E-02 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 3,8E-04 | 0,748 | 1955 | 27 |
| 39 | 1,4E-02 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 2,7E-04 | 0,403 | 1513 | 31 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,403 | 1825 | 32 | 2,3E-02 | 3,1E-02 | 2,5E-02 | 4,3E-04 | 0,749 | 1724 | 26 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 2,4E-02 | 3,8E-04 | 0,750 | 1977 | 27 |
| 43 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 1,7E-02 | 2,7E-04 | 0,403 | 1512 | 30 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 2,3E-04 | 0,403 | 1779 | 32 | 2,5E-02 | 3,2E-02 | 3,1E-02 | 4,8E-04 | 0,790 | 1653 | 26 | 2,0E-02 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 3,8E-04 | 0,693 | 1826 | 23 |
| 50 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 2,3E-04 | 0,403 | 1735 | 32 | 1,0E-02 | 1,8E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,403 | 1832 | 32 | 2,5E-02 | 2,7E-02 | 2,8E-02 | 4,4E-04 | 0,790 | 1806 | 27 | 2,1E-02 | 3,3E-02 | 2,1E-02 | 4,2E-04 | 0,790 | 1902 | 27 |
| 57 | 1,3E-02 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 2,4E-04 | 0,403 | 1710 | 31 | 9,2E-03 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-04 | 0,403 | 1964 | 33 | 2,5E-02 | 2,9E-02 | 2,7E-02 | 4,4E-04 | 0,791 | 1791 | 26 | 2,0E-02 | 2,9E-02 | 2,2E-02 | 3,9E-04 | 0,790 | 2016 | 27 |
| 64 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,404 | 1852 | 33 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,403 | 2080 | 34 | 2,5E-02 | 2,7E-02 | 2,6E-02 | 4,2E-04 | 0,790 | 1883 | 27 | 2,3E-02 | 2,4E-02 | 2,2E-02 | 3,8E-04 | 0,790 | 2080 | 28 |
| 72 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 1,7E-02 | 2,3E-04 | 0,403 | 1745 | 31 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 9,9E-03 | 1,9E-04 | 0,403 | 2108 | 33 | 2,4E-02 | 2,6E-02 | 3,0E-02 | 4,3E-04 | 0,790 | 1823 | 26 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 1,9E-02 | 3,7E-04 | 0,790 | 2153 | 27 |
| 78 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-04 | 0,403 | 1960 | 33 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,403 | 2102 | 33 | 2,5E-02 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 3,9E-04 | 0,790 | 2005 | 28 | 2,2E-02 | 2,0E-02 | 2,5E-02 | 3,7E-04 | 0,790 | 2134 | 28 |
| 84 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,403 | 1797 | 32 | 8,6E-03 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,403 | 1967 | 33 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 2,6E-02 | 4,2E-04 | 0,791 | 1889 | 27 | 1,7E-02 | 2,9E-02 | 2,4E-02 | 3,9E-04 | 0,790 | 2045 | 27 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 6,6E-02 | 5,6E-02 | 3,2E-02 | 8,3E-04 | 0,397 | 479 | 20 | 4,6E-02 | 3,5E-02 | 6,4E-02 | 7,8E-04 | 0,397 | 508 | 19 | 1,0E-01 | 8,1E-02 | 5,7E-02 | 1,3E-03 | 0,777 | 607 | 19 | 7,1E-02 | 6,2E-02 | 8,8E-02 | 1,2E-03 | 0,777 | 654 | 18 |
| 4 | 3,8E-02 | 3,0E-02 | 3,7E-02 | 5,6E-04 | 0,397 | 707 | 24 | 3,1E-02 | 2,7E-02 | 3,3E-02 | 4,9E-04 | 0,398 | 814 | 25 | 6,2E-02 | 4,8E-02 | 6,1E-02 | 9,3E-04 | 0,778 | 837 | 21 | 5,0E-02 | 4,7E-02 | 5,7E-02 | 8,3E-04 | 0,778 | 941 | 21 |
| 7 | 3,1E-02 | 2,7E-02 | 2,8E-02 | 4,6E-04 | 0,398 | 866 | 28 | 3,7E-02 | 3,4E-02 | 2,0E-02 | 4,9E-04 | 0,397 | 814 | 27 | 5,1E-02 | 4,0E-02 | 4,8E-02 | 7,9E-04 | 0,777 | 984 | 23 | 5,1E-02 | 5,2E-02 | 4,0E-02 | 7,6E-04 | 0,777 | 1016 | 24 |
| 9 | 3,1E-02 | 1,9E-02 | 2,9E-02 | 4,2E-04 | 0,398 | 944 | 31 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 3,6E-04 | 0,399 | 1105 | 32 | 4,9E-02 | 3,5E-02 | 4,9E-02 | 7,2E-04 | 0,778 | 1088 | 26 | 3,7E-02 | 3,9E-02 | 4,0E-02 | 6,2E-04 | 0,778 | 1250 | 27 |
| 11 | 2,5E-02 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 3,7E-04 | 0,398 | 1064 | 33 | 1,7E-02 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 3,8E-04 | 0,399 | 1037 | 32 | 4,1E-02 | 4,0E-02 | 3,9E-02 | 6,5E-04 | 0,778 | 1200 | 27 | 3,2E-02 | 4,2E-02 | 4,5E-02 | 6,4E-04 | 0,778 | 1211 | 27 |
| 14 | 2,8E-02 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 4,1E-04 | 0,397 | 970 | 32 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 2,4E-02 | 3,5E-04 | 0,398 | 1152 | 33 | 4,5E-02 | 4,2E-02 | 4,0E-02 | 6,9E-04 | 0,777 | 1133 | 27 | 3,4E-02 | 3,7E-02 | 4,1E-02 | 6,0E-04 | 0,777 | 1291 | 28 |
| 18 | 2,2E-02 | 1,7E-02 | 2,4E-02 | 3,4E-04 | 0,398 | 1157 | 35 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-02 | 3,3E-04 | 0,398 | 1207 | 35 | 3,3E-02 | 2,8E-02 | 3,5E-02 | 5,2E-04 | 0,746 | 1440 | 20 | 2,6E-02 | 3,4E-02 | 3,8E-02 | 5,4E-04 | 0,777 | 1434 | 29 |
| 21 | 2,5E-02 | 1,5E-02 | 2,3E-02 | 3,4E-04 | 0,398 | 1157 | 34 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 2,7E-04 | 0,398 | 1500 | 37 | 3,4E-02 | 3,1E-02 | 3,5E-02 | 5,5E-04 | 0,778 | 1414 | 29 | 2,8E-02 | 2,9E-02 | 3,1E-02 | 4,8E-04 | 0,776 | 1604 | 30 |
| 23 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 2,2E-02 | 3,3E-04 | 0,398 | 1225 | 35 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 2,9E-04 | 0,398 | 1376 | 35 | 3,6E-02 | 3,0E-02 | 3,7E-02 | 5,7E-04 | 0,776 | 1371 | 30 | 3,3E-02 | 3,6E-02 | 2,6E-02 | 5,2E-04 | 0,777 | 1493 | 30 |
| 36 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 2,2E-04 | 0,399 | 1841 | 36 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,398 | 2142 | 39 | 2,6E-02 | 2,2E-02 | 2,7E-02 | 4,1E-04 | 0,776 | 1872 | 31 | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 3,6E-04 | 0,776 | 2138 | 32 |
| 39 | 1,2E-02 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,398 | 1808 | 36 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,398 | 2185 | 38 | 2,2E-02 | 3,0E-02 | 2,3E-02 | 4,1E-04 | 0,777 | 1885 | 30 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 3,6E-04 | 0,777 | 2164 | 31 |
| 43 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 2,2E-04 | 0,398 | 1809 | 35 | 9,2E-03 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,398 | 2122 | 38 | 2,1E-02 | 2,8E-02 | 2,6E-02 | 4,1E-04 | 0,776 | 1901 | 30 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,0E-04 | 0,376 | 1863 | 39 |
| 50 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,398 | 2076 | 38 | 8,4E-03 | 1,5E-02 | 9,5E-03 | 1,8E-04 | 0,398 | 2183 | 37 | 2,2E-02 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 3,7E-04 | 0,777 | 2076 | 31 | 1,8E-02 | 2,8E-02 | 1,8E-02 | 3,6E-04 | 0,777 | 2180 | 31 |
| 57 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,398 | 2037 | 36 | 7,7E-03 | 1,3E-02 | 9,6E-03 | 1,7E-04 | 0,398 | 2353 | 38 | 2,2E-02 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 3,8E-04 | 0,777 | 2059 | 30 | 1,7E-02 | 2,5E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,777 | 2327 | 32 |
| 64 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,398 | 2210 | 38 | 9,7E-03 | 1,1E-02 | 8,6E-03 | 1,6E-04 | 0,398 | 2487 | 40 | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 3,6E-04 | 0,777 | 2172 | 32 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,777 | 2386 | 32 |
| 72 | 9,8E-03 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 1,9E-04 | 0,398 | 2083 | 36 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 8,2E-03 | 1,6E-04 | 0,398 | 2512 | 38 | 2,0E-02 | 2,2E-02 | 2,6E-02 | 3,7E-04 | 0,776 | 2097 | 30 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 3,1E-04 | 0,777 | 2472 | 31 |
| 78 | 1,2E-02 | 9,7E-03 | 9,7E-03 | 1,7E-04 | 0,398 | 2350 | 39 | 9,2E-03 | 9,0E-03 | 1,1E-02 | 1,6E-04 | 0,398 | 2502 | 39 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 1,9E-02 | 3,4E-04 | 0,777 | 2309 | 32 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 2,1E-02 | 3,2E-04 | 0,777 | 2450 | 32 |
| 84 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,400 | 2146 | 37 | 7,0E-03 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,398 | 2344 | 38 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 3,6E-04 | 0,777 | 2179 | 31 | 1,4E-02 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 3,3E-04 | 0,777 | 2355 | 31 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|-------|---------|---|---------|----------|----------|----------|-------|---------|---------|---|----------|----------|----------|-------|---------|---|---|----------|----------|----------|-------|---------|---|---|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 5,9E-02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Annexe 17 – Résultats d'essais à 15°C et 45% d'HR – Essais à 35 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------|-----|---------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------|---------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------|-----|--------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------|-----|--------|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | ϕ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | ϕ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | ϕ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | ϕ |
| 2 | 1,0E-01 | 9,4E-02 | 6,3E-02 | 1,4E-03 | 0,403 | 286 | 10 | 4,9E-02 | 7,6E-02 | 8,0E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 365 | 10 | 1,3E-01 | 1,4E-01 | 1,2E-01 | 2,1E-03 | 0,789 | 374 | 9 | 9,7E-02 | 1,2E-01 | 1,2E-01 | 1,8E-03 | 0,789 | 428 | 10 |
| 4 | 6,8E-02 | 5,6E-02 | 6,4E-02 | 1,0E-03 | 0,403 | 397 | 11 | 6,4E-02 | 7,9E-02 | 6,8E-02 | 1,1E-03 | 0,404 | 356 | 11 | 1,1E-01 | 9,4E-02 | 1,0E-01 | 1,6E-03 | 0,789 | 484 | 10 | 1,1E-01 | 1,3E-01 | 9,5E-02 | 1,8E-03 | 0,790 | 437 | 10 |
| 7 | 6,0E-02 | 5,1E-02 | 6,7E-02 | 9,6E-04 | 0,404 | 419 | 11 | 5,0E-02 | 7,8E-02 | 5,4E-02 | 9,8E-04 | 0,404 | 414 | 11 | 9,5E-02 | 8,2E-02 | 1,0E-01 | 1,5E-03 | 0,790 | 523 | 11 | 8,1E-02 | 1,0E-01 | 9,4E-02 | 1,5E-03 | 0,791 | 532 | 11 |
| 9 | 6,6E-02 | 5,1E-02 | 6,3E-02 | 9,7E-04 | 0,403 | 417 | 12 | 5,5E-02 | 6,1E-02 | 5,2E-02 | 9,0E-04 | 0,404 | 447 | 12 | 9,3E-02 | 8,2E-02 | 1,0E-01 | 1,5E-03 | 0,790 | 531 | 11 | 8,6E-02 | 9,0E-02 | 8,5E-02 | 1,4E-03 | 0,791 | 564 | 11 |
| 11 | 6,3E-02 | 5,2E-02 | 6,9E-02 | 9,3E-04 | 0,403 | 432 | 12 | 6,9E-02 | 4,5E-02 | 5,4E-02 | 9,1E-04 | 0,403 | 445 | 12 | 9,7E-02 | 8,1E-02 | 8,9E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 548 | 11 | 8,9E-02 | 7,7E-02 | 8,5E-02 | 1,3E-03 | 0,788 | 587 | 11 |
| 14 | 8,2E-02 | 4,9E-02 | 5,8E-02 | 1,0E-03 | 0,403 | 398 | 12 | 4,9E-02 | 6,5E-02 | 4,9E-02 | 8,7E-04 | 0,403 | 462 | 12 | 1,2E-01 | 7,4E-02 | 8,9E-02 | 1,5E-03 | 0,790 | 527 | 11 | 7,4E-02 | 9,4E-02 | 7,8E-02 | 1,3E-03 | 0,789 | 599 | 11 |
| 18 | 4,8E-02 | 4,8E-02 | 7,2E-02 | 9,2E-04 | 0,403 | 440 | 14 | 4,9E-02 | 4,3E-02 | 6,3E-02 | 8,5E-04 | 0,402 | 472 | 14 | 7,0E-02 | 7,6E-02 | 1,0E-01 | 1,4E-03 | 0,788 | 578 | 12 | 7,3E-02 | 6,8E-02 | 9,2E-02 | 1,3E-03 | 0,788 | 615 | 12 |
| 21 | 6,2E-02 | 4,2E-02 | 6,1E-02 | 9,0E-04 | 0,403 | 447 | 12 | 5,6E-02 | 4,6E-02 | 4,9E-02 | 8,3E-04 | 0,402 | 486 | 13 | 9,1E-02 | 7,1E-02 | 9,0E-02 | 1,4E-03 | 0,788 | 573 | 11 | 8,3E-02 | 7,1E-02 | 7,8E-02 | 1,3E-03 | 0,788 | 615 | 11 |
| 23 | 6,1E-02 | 4,5E-02 | 6,2E-02 | 9,1E-04 | 0,403 | 440 | 13 | 5,1E-02 | 4,3E-02 | 5,2E-02 | 8,1E-04 | 0,402 | 499 | 13 | 9,1E-02 | 7,5E-02 | 8,6E-02 | 1,4E-03 | 0,788 | 574 | 11 | 7,9E-02 | 6,9E-02 | 7,7E-02 | 1,2E-03 | 0,788 | 635 | 12 |
| 36 | 3,8E-02 | 3,8E-02 | 4,3E-02 | 6,5E-04 | 0,391 | 603 | 13 | 3,1E-02 | 3,7E-02 | 3,7E-02 | 5,8E-04 | 0,392 | 671 | 13 | 6,1E-02 | 6,5E-02 | 6,8E-02 | 1,1E-03 | 0,777 | 732 | 12 | 5,2E-02 | 6,5E-02 | 5,9E-02 | 9,7E-04 | 0,778 | 803 | 12 |
| 39 | 3,1E-02 | 4,5E-02 | 3,7E-02 | 6,2E-04 | 0,391 | 634 | 13 | 3,4E-02 | 4,0E-02 | 3,3E-02 | 5,9E-04 | 0,392 | 665 | 13 | 5,2E-02 | 7,2E-02 | 6,2E-02 | 1,0E-03 | 0,777 | 763 | 12 | 6,0E-02 | 6,1E-02 | 5,6E-02 | 9,7E-04 | 0,776 | 797 | 12 |
| 43 | 3,1E-02 | 4,1E-02 | 4,7E-02 | 6,5E-04 | 0,392 | 604 | 13 | 3,5E-02 | 3,4E-02 | 3,5E-02 | 5,7E-04 | 0,392 | 686 | 13 | 5,7E-02 | 6,2E-02 | 7,2E-02 | 1,0E-03 | 0,778 | 744 | 12 | 5,9E-02 | 5,6E-02 | 5,8E-02 | 9,5E-04 | 0,777 | 820 | 12 |
| 50 | 3,8E-02 | 4,1E-02 | 3,2E-02 | 6,1E-04 | 0,392 | 644 | 13 | 2,6E-02 | 4,9E-02 | 2,9E-02 | 5,7E-04 | 0,393 | 687 | 13 | 6,3E-02 | 6,6E-02 | 5,4E-02 | 1,0E-03 | 0,779 | 775 | 12 | 4,6E-02 | 7,4E-02 | 4,9E-02 | 9,3E-04 | 0,779 | 834 | 12 |
| 57 | 2,9E-02 | 4,3E-02 | 3,9E-02 | 6,1E-04 | 0,392 | 644 | 13 | 2,6E-02 | 3,6E-02 | 4,2E-02 | 5,7E-04 | 0,392 | 684 | 13 | 5,1E-02 | 6,6E-02 | 6,5E-02 | 1,0E-03 | 0,778 | 781 | 12 | 4,5E-02 | 6,0E-02 | 5,6E-02 | 9,4E-04 | 0,779 | 829 | 12 |
| 64 | 2,9E-02 | 4,0E-02 | 4,4E-02 | 6,1E-04 | 0,392 | 638 | 13 | 3,0E-02 | 3,0E-02 | 3,5E-02 | 5,3E-04 | 0,392 | 746 | 13 | 5,2E-02 | 6,2E-02 | 6,9E-02 | 9,9E-04 | 0,779 | 783 | 12 | 5,2E-02 | 5,0E-02 | 5,8E-02 | 8,8E-04 | 0,778 | 883 | 12 |
| 72 | 3,4E-02 | 3,6E-02 | 4,3E-02 | 6,2E-04 | 0,392 | 635 | 13 | 3,0E-02 | 3,4E-02 | 3,6E-02 | 5,5E-04 | 0,392 | 709 | 14 | 5,9E-02 | 5,6E-02 | 6,8E-02 | 1,0E-03 | 0,778 | 778 | 12 | 5,2E-02 | 5,7E-02 | 5,7E-02 | 9,1E-04 | 0,779 | 856 | 12 |
| 78 | 3,4E-02 | 3,5E-02 | 3,7E-02 | 5,7E-04 | 0,392 | 681 | 13 | 3,3E-02 | 3,6E-02 | 2,4E-02 | 5,2E-04 | 0,392 | 760 | 14 | 5,5E-02 | 5,7E-02 | 6,1E-02 | 9,4E-04 | 0,777 | 823 | 12 | 5,5E-02 | 5,8E-02 | 4,3E-02 | 8,6E-04 | 0,778 | 907 | 12 |
| 84 | 3,6E-02 | 3,5E-02 | 3,0E-02 | 5,5E-04 | 0,393 | 712 | 14 | 3,2E-02 | 3,0E-02 | 3,4E-02 | 5,3E-04 | 0,392 | 740 | 14 | 5,9E-02 | 5,6E-02 | 5,1E-02 | 9,0E-04 | 0,779 | 860 | 12 | 5,4E-02 | 4,9E-02 | 5,5E-02 | 8,7E-04 | 0,778 | 895 | 13 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------|-----|---------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------|---------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------|------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------|------|--------|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | ϕ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | ϕ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | ϕ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | ϕ |
| 2 | 8,8E-02 | 7,9E-02 | 5,6E-02 | 1,2E-03 | 0,403 | 338 | 12 | 4,4E-02 | 6,6E-02 | 7,1E-02 | 9,7E-04 | 0,402 | 414 | 13 | 1,1E-01 | 1,2E-01 | 1,0E-01 | 1,7E-03 | 0,792 | 453 | 12 | 8,4E-02 | 1,1E-01 | 1,0E-01 | 1,6E-03 | 0,792 | 500 | 12 |
| 4 | 5,9E-02 | 4,9E-02 | 5,6E-02 | 8,8E-04 | 0,403 | 456 | 14 | 5,7E-02 | 6,9E-02 | 5,4E-02 | 9,6E-04 | 0,403 | 417 | 14 | 9,7E-02 | 8,4E-02 | 8,9E-02 | 1,5E-03 | 0,792 | 546 | 13 | 1,0E-01 | 1,1E-01 | 8,1E-02 | 1,6E-03 | 0,792 | 499 | 12 |
| 7 | 5,1E-02 | 4,4E-02 | 5,8E-02 | 8,2E-04 | 0,402 | 489 | 15 | 4,2E-02 | 6,3E-02 | 4,8E-02 | 8,2E-04 | 0,403 | 488 | 15 | 8,6E-02 | 7,2E-02 | 9,2E-02 | 1,3E-03 | 0,792 | 587 | 14 | 7,1E-02 | 8,3E-02 | 8,2E-02 | 1,3E-03 | 0,792 | 623 | 14 |
| 9 | 5,4E-02 | 4,4E-02 | 5,2E-02 | 8,1E-04 | 0,402 | 498 | 15 | 4,6E-02 | 5,1E-02 | 4,5E-02 | 7,6E-04 | 0,403 | 528 | 15 | 7,9E-02 | 7,4E-02 | 8,9E-02 | 1,3E-03 | 0,792 | 610 | 14 | 7,4E-02 | 7,6E-02 | 7,4E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 658 | 14 |
| 11 | 5,2E-02 | 4,4E-02 | 4,9E-02 | 7,8E-04 | 0,403 | 516 | 16 | 5,7E-02 | 3,8E-02 | 4,4E-02 | 7,5E-04 | 0,402 | 537 | 16 | 8,3E-02 | 7,1E-02 | 7,7E-02 | 1,2E-03 | 0,791 | 636 | 14 | 7,7E-02 | 6,5E-02 | 7,2E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 688 | 14 |
| 14 | 6,8E-02 | 4,1E-02 | 4,8E-02 | 8,4E-04 | 0,402 | 478 | 16 | 4,0E-02 | 5,3E-02 | 4,1E-02 | 7,2E-04 | 0,402 | 556 | 17 | 9,8E-02 | 6,4E-02 | 7,8E-02 | 1,3E-03 | 0,792 | 615 | 14 | 6,4E-02 | 7,8E-02 | 6,8E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 703 | 15 |
| 18 | 3,8E-02 | 3,7E-02 | 5,9E-02 | 7,4E-04 | 0,403 | 548 | 19 | 3,8E-02 | 3,5E-02 | 5,0E-02 | 6,8E-04 | 0,403 | 593 | 19 | 6,0E-02 | 6,2E-02 | 8,7E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 696 | 17 | 6,0E-02 | 5,5E-02 | 7,7E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 745 | 16 |
| 21 | 5,1E-02 | 3,6E-02 | 5,0E-02 | 7,5E-04 | 0,404 | 536 | 17 | 4,6E-02 | 3,8E-02 | 4,1E-02 | 6,9E-04 | 0,403 | 583 | 17 | 7,7E-02 | 6,3E-02 | 7,9E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 665 | 15 | 7,0E-02 | 6,1E-02 | 6,8E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 723 | 15 |
| 23 | 5,0E-02 | 3,8E-02 | 5,0E-02 | 7,6E-04 | 0,403 | 532 | 17 | 4,2E-02 | 3,6E-02 | 4,3E-02 | 6,6E-04 | 0,404 | 609 | 18 | 7,6E-02 | 6,5E-02 | 7,4E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 674 | 15 | 6,5E-02 | 5,9E-02 | 6,6E-02 | 1,0E-03 | 0,792 | 756 | 16 |
| 36 | 3,3E-02 | 3,2E-02 | 3,7E-02 | 5,6E-04 | 0,403 | 719 | 17 | 2,7E-02 | 3,2E-02 | 3,2E-02 | 5,0E-04 | 0,403 | 807 | 18 | 5,4E-02 | 5,7E-02 | 6,0E-02 | 9,3E-04 | 0,792 | 849 | 16 | 4,4E-02 | 5,7E-02 | 5,1E-02 | 8,4E-04 | 0,792 | 941 | 16 |
| 39 | 2,7E-02 | 4,0E-02 | 3,1E-02 | 5,3E-04 | 0,403 | 757 | 17 | 2,9E-02 | 3,4E-02 | 2,9E-02 | 5,1E-04 | 0,403 | 798 | 17 | 4,7E-02 | 6,4E-02 | 5,3E-02 | 9,0E-04 | 0,792 | 881 | 16 | 5,2E-02 | 5,3E-02 | 4,9E-02 | 8,5E-04 | 0,792 | 937 | 16 |
| 43 | 2,7E-02 | 3,5E-02 | 4,0E-02 | 5,6E-04 | 0,403 | 723 | 17 | 3,0E-02 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 4,9E-04 | 0,403 | 829 | 17 | 5,1E-02 | 5,5E-02 | 6,2E-02 | 9,1E-04 | 0,792 | 867 | 16 | 5,1E-02 | 4,9E-02 | 4,9E-02 | 8,2E-04 | 0,792 | 965 | 16 |
| 50 | 3,2E-02 | 3,6E-02 | 2,8E-02 | 5,3E-04 | 0,403 | 766 | 17 | 2,2E-02 | 4,1E-02 | 2,5E-02 | 4,9E-04 | 0,403 | 831 | 18 | 5,6E-02 | 5,8E-02 | 4,8E-02 | 8,8E-04 | 0,792 | 895 | 16 | 4,3E-02 | 6,4E-02 | 4,3E-02 | 8,3E-04 | 0,792 | 960 | 16 |
| 57 | 2,5E-02 | 3,6E-02 | 3,3E-02 | 5,2E-04 | 0,404 | 775 | 18 | 2,3E-02 | 3,1E-02 | 3,4E-02 | 4,8E-04 | 0,403 | 837 | 18 | 4,6E-02 | 5,7E-02 | 5,5E-02 | 8,7E-04 | 0,792 | 910 | 16 | 4,0E-02 | 5,2E-02 | 5,5E-02 | 8,1E-04 | 0,792 | 976 | 16 |
| 64 | 2,7E-02 | 3,7E-02 | 3,9E-02 | 5,6E-04 | 0,415 | 739 | 18 | 2,6E-02 | 2,6E-02 | 2,9E-02 | 4,5E-04 | 0,404 | 903 | 18 | 4,6E-02 | 5,4E-02 | 5,8E-02 | 8,6E-04 | 0,792 | 917 | 16 | 4,5E-02 | 4,4E-02 | 4,9E-02 | 7,6E-04 | 0,792 | 1041 | 17 |
| 72 | 2,9E-02 | 3,0E-02 | 3,7E-02 | 5,3E-04 | 0,403 | 765 | 18 | 2,5E-02 | 2,9E-02 | 3,1E-02 | 4,7E-04 | 0,403 | 863 | 18 | 5,1E-02 | 5,0E-02 | 5,9E-02 | 8,7E-04 | 0,792 | 906 | 16 | 4,4E-02 | 4,9E-02 | 4,9E-02 | 7,8E-04 | 0,792 | 1015 | 17 |
| 78 | 2,9E-02 | 3,0E-02 | 3,1E-02 | 4,9E-04 | 0,404 | 829 | 18 | 2,7E-02 | 3,0E-02 | 2,1E-02 | 4,3E-04 | 0,403 | 934 | 19 | 4,8E-02 | 5,0E-02 | 5,2E-02 | 8,2E-04 | 0,791 | 968 | 16 | 4,6E-02 | 5,0E-02 | 3,7E-02 | 7,3E-04 | 0,792 | 1082 | 17 |
| 84 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 2,5E-02 | 4,6E-04 | 0,403 | 882 | 19 | 2,6E-02 | 2,6E-02 | 2,8E-02 | 4,4E-04 | 0,403 | 925 | 19 | 4,8E-02 | 4,8E-02 | 4,4E-02 | 7,7E-04 | 0,792 | 1035 | 17 | 4,5E-02 | 4,2E-02 | 4,6E-02 | 7,3E-04 | 0,792 | 1082 | 17 |



| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 7,8E-02 | 7,1E-02 | 5,2E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 373 | 15 | 4,1E-02 | 6,1E-02 | 6,5E-02 | 9,0E-04 | 0,403 | 446 | 15 | 9,1E-02 | 1,0E-01 | 9,4E-02 | 1,6E-03 | 0,790 | 508 | 14 | 7,5E-02 | 9,6E-02 | 9,1E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 559 | 14 |
| 4 | 5,4E-02 | 4,4E-02 | 5,2E-02 | 8,1E-04 | 0,402 | 496 | 17 | 5,4E-02 | 6,4E-02 | 4,8E-02 | 8,9E-04 | 0,403 | 453 | 17 | 8,9E-02 | 7,6E-02 | 8,1E-02 | 1,3E-03 | 0,790 | 599 | 15 | 9,1E-02 | 1,0E-01 | 7,2E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 554 | 15 |
| 7 | 4,5E-02 | 4,0E-02 | 5,3E-02 | 7,4E-04 | 0,402 | 541 | 18 | 3,8E-02 | 5,6E-02 | 4,4E-02 | 7,4E-04 | 0,402 | 544 | 18 | 7,8E-02 | 6,5E-02 | 8,4E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 647 | 17 | 6,5E-02 | 7,2E-02 | 7,4E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 697 | 17 |
| 9 | 4,7E-02 | 4,1E-02 | 4,7E-02 | 7,2E-04 | 0,402 | 555 | 19 | 4,1E-02 | 4,5E-02 | 4,1E-02 | 6,8E-04 | 0,403 | 589 | 19 | 7,0E-02 | 6,8E-02 | 8,0E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 673 | 17 | 6,6E-02 | 6,8E-02 | 6,6E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 736 | 17 |
| 11 | 4,6E-02 | 4,0E-02 | 4,4E-02 | 6,9E-04 | 0,402 | 579 | 20 | 5,1E-02 | 3,3E-02 | 3,9E-02 | 6,7E-04 | 0,402 | 605 | 20 | 7,5E-02 | 6,4E-02 | 7,0E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 705 | 18 | 6,8E-02 | 5,8E-02 | 6,5E-02 | 1,0E-03 | 0,790 | 769 | 18 |
| 14 | 6,0E-02 | 3,6E-02 | 4,3E-02 | 7,5E-04 | 0,402 | 539 | 20 | 3,5E-02 | 4,7E-02 | 3,7E-02 | 6,4E-04 | 0,402 | 629 | 21 | 8,7E-02 | 5,7E-02 | 7,0E-02 | 1,1E-03 | 0,789 | 687 | 18 | 5,6E-02 | 6,9E-02 | 6,1E-02 | 1,0E-03 | 0,789 | 790 | 18 |
| 18 | 3,2E-02 | 3,2E-02 | 5,0E-02 | 6,2E-04 | 0,403 | 648 | 24 | 3,3E-02 | 3,0E-02 | 4,3E-02 | 5,8E-04 | 0,403 | 692 | 23 | 5,3E-02 | 5,4E-02 | 7,5E-02 | 1,0E-03 | 0,790 | 792 | 20 | 5,3E-02 | 4,9E-02 | 6,7E-02 | 9,3E-04 | 0,790 | 853 | 20 |
| 21 | 4,4E-02 | 3,3E-02 | 4,4E-02 | 6,6E-04 | 0,403 | 609 | 21 | 4,0E-02 | 3,4E-02 | 3,6E-02 | 6,1E-04 | 0,403 | 661 | 21 | 6,7E-02 | 5,7E-02 | 7,0E-02 | 1,1E-03 | 0,789 | 744 | 19 | 6,2E-02 | 5,4E-02 | 6,0E-02 | 9,7E-04 | 0,790 | 814 | 19 |
| 23 | 4,3E-02 | 3,4E-02 | 4,3E-02 | 6,6E-04 | 0,403 | 610 | 21 | 3,6E-02 | 3,1E-02 | 3,7E-02 | 5,7E-04 | 0,403 | 701 | 23 | 6,7E-02 | 5,9E-02 | 6,5E-02 | 1,0E-03 | 0,790 | 759 | 19 | 5,7E-02 | 5,2E-02 | 5,8E-02 | 9,2E-04 | 0,790 | 855 | 20 |
| 36 | 2,9E-02 | 2,8E-02 | 3,3E-02 | 4,9E-04 | 0,404 | 817 | 22 | 2,4E-02 | 2,8E-02 | 2,8E-02 | 4,4E-04 | 0,403 | 916 | 22 | 4,3E-02 | 4,6E-02 | 4,8E-02 | 7,5E-04 | 0,750 | 1001 | 19 | 3,5E-02 | 4,6E-02 | 4,0E-02 | 6,7E-04 | 0,751 | 1122 | 20 |
| 39 | 2,4E-02 | 3,5E-02 | 2,7E-02 | 4,7E-04 | 0,403 | 853 | 21 | 2,5E-02 | 2,9E-02 | 2,6E-02 | 4,5E-04 | 0,403 | 906 | 22 | 3,9E-02 | 5,1E-02 | 4,2E-02 | 7,3E-04 | 0,752 | 1034 | 19 | 4,2E-02 | 4,2E-02 | 3,9E-02 | 6,7E-04 | 0,751 | 1114 | 19 |
| 43 | 2,4E-02 | 3,1E-02 | 3,4E-02 | 4,9E-04 | 0,403 | 821 | 22 | 2,7E-02 | 2,6E-02 | 2,5E-02 | 4,3E-04 | 0,403 | 942 | 22 | 4,6E-02 | 4,9E-02 | 5,4E-02 | 8,2E-04 | 0,789 | 967 | 19 | 4,5E-02 | 4,4E-02 | 4,3E-02 | 7,3E-04 | 0,790 | 1083 | 19 |
| 50 | 2,8E-02 | 3,1E-02 | 2,6E-02 | 4,7E-04 | 0,403 | 866 | 22 | 2,0E-02 | 3,6E-02 | 2,2E-02 | 4,3E-04 | 0,403 | 932 | 22 | 5,0E-02 | 5,2E-02 | 4,4E-02 | 7,9E-04 | 0,790 | 996 | 19 | 3,9E-02 | 5,6E-02 | 3,9E-02 | 7,3E-04 | 0,790 | 1078 | 20 |
| 57 | 2,3E-02 | 3,2E-02 | 2,9E-02 | 4,6E-04 | 0,403 | 886 | 22 | 2,0E-02 | 2,7E-02 | 2,9E-02 | 4,2E-04 | 0,404 | 960 | 23 | 4,2E-02 | 5,1E-02 | 4,9E-02 | 7,7E-04 | 0,790 | 1020 | 20 | 3,6E-02 | 4,6E-02 | 4,9E-02 | 7,2E-04 | 0,790 | 1097 | 20 |
| 64 | 2,2E-02 | 3,0E-02 | 3,1E-02 | 4,6E-04 | 0,403 | 878 | 22 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 2,5E-02 | 3,9E-04 | 0,403 | 1032 | 23 | 4,2E-02 | 4,8E-02 | 5,1E-02 | 7,7E-04 | 0,790 | 1028 | 20 | 4,0E-02 | 3,9E-02 | 4,3E-02 | 6,8E-04 | 0,790 | 1169 | 20 |
| 72 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 3,3E-02 | 4,6E-04 | 0,403 | 872 | 22 | 2,2E-02 | 2,5E-02 | 2,7E-02 | 4,1E-04 | 0,403 | 991 | 23 | 4,5E-02 | 4,5E-02 | 5,2E-02 | 7,8E-04 | 0,789 | 1018 | 20 | 3,9E-02 | 4,3E-02 | 4,3E-02 | 6,9E-04 | 0,790 | 1149 | 20 |
| 78 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 2,6E-02 | 4,2E-04 | 0,404 | 954 | 23 | 2,3E-02 | 2,6E-02 | 1,8E-02 | 3,7E-04 | 0,403 | 1077 | 24 | 4,3E-02 | 4,5E-02 | 4,5E-02 | 7,3E-04 | 0,790 | 1087 | 20 | 4,0E-02 | 4,4E-02 | 3,3E-02 | 6,5E-04 | 0,790 | 1224 | 21 |
| 84 | 2,4E-02 | 2,6E-02 | 2,2E-02 | 3,9E-04 | 0,403 | 1027 | 24 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 3,7E-04 | 0,403 | 1079 | 24 | 4,2E-02 | 4,2E-02 | 3,9E-02 | 6,7E-04 | 0,791 | 1179 | 21 | 3,9E-02 | 3,8E-02 | 4,0E-02 | 6,4E-04 | 0,790 | 1233 | 21 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 7,0E-02 | 6,5E-02 | 4,8E-02 | 9,9E-04 | 0,397 | 402 | 17 | 3,8E-02 | 5,7E-02 | 6,0E-02 | 8,4E-04 | 0,397 | 475 | 18 | 8,3E-02 | 9,6E-02 | 8,8E-02 | 1,4E-03 | 0,777 | 541 | 17 | 7,0E-02 | 8,9E-02 | 8,4E-02 | 1,3E-03 | 0,777 | 594 | 17 |
| 4 | 4,9E-02 | 4,0E-02 | 4,8E-02 | 7,4E-04 | 0,397 | 536 | 20 | 5,0E-02 | 5,9E-02 | 4,2E-02 | 8,1E-04 | 0,397 | 490 | 20 | 8,1E-02 | 7,0E-02 | 7,5E-02 | 1,2E-03 | 0,777 | 641 | 18 | 8,3E-02 | 9,2E-02 | 6,5E-02 | 1,3E-03 | 0,777 | 601 | 18 |
| 7 | 4,1E-02 | 3,6E-02 | 4,8E-02 | 6,7E-04 | 0,397 | 591 | 22 | 3,4E-02 | 5,0E-02 | 4,0E-02 | 6,7E-04 | 0,397 | 597 | 22 | 7,0E-02 | 6,0E-02 | 7,6E-02 | 1,1E-03 | 0,777 | 701 | 20 | 5,9E-02 | 6,4E-02 | 6,7E-02 | 1,0E-03 | 0,778 | 760 | 20 |
| 9 | 4,2E-02 | 3,7E-02 | 4,2E-02 | 6,5E-04 | 0,397 | 612 | 23 | 3,7E-02 | 4,0E-02 | 3,7E-02 | 6,1E-04 | 0,397 | 651 | 23 | 6,3E-02 | 6,2E-02 | 7,2E-02 | 1,1E-03 | 0,777 | 732 | 20 | 5,9E-02 | 6,1E-02 | 6,0E-02 | 9,7E-04 | 0,778 | 804 | 21 |
| 11 | 4,1E-02 | 3,6E-02 | 3,9E-02 | 6,2E-04 | 0,398 | 641 | 24 | 4,6E-02 | 3,0E-02 | 3,5E-02 | 5,9E-04 | 0,398 | 671 | 24 | 6,7E-02 | 5,8E-02 | 6,3E-02 | 1,0E-03 | 0,779 | 768 | 21 | 6,1E-02 | 5,3E-02 | 5,8E-02 | 9,3E-04 | 0,779 | 841 | 21 |
| 14 | 5,3E-02 | 3,2E-02 | 3,8E-02 | 6,6E-04 | 0,397 | 600 | 24 | 3,1E-02 | 4,1E-02 | 3,3E-02 | 5,7E-04 | 0,398 | 701 | 25 | 7,7E-02 | 5,2E-02 | 6,3E-02 | 1,0E-03 | 0,777 | 755 | 21 | 5,0E-02 | 6,1E-02 | 5,5E-02 | 8,9E-04 | 0,777 | 869 | 22 |
| 18 | 2,8E-02 | 2,7E-02 | 4,3E-02 | 5,4E-04 | 0,398 | 736 | 29 | 2,8E-02 | 2,6E-02 | 3,8E-02 | 5,1E-04 | 0,398 | 787 | 28 | 4,7E-02 | 4,8E-02 | 6,6E-02 | 8,8E-04 | 0,776 | 880 | 24 | 4,6E-02 | 4,3E-02 | 5,5E-02 | 8,1E-04 | 0,776 | 952 | 24 |
| 21 | 3,8E-02 | 2,9E-02 | 3,9E-02 | 5,8E-04 | 0,397 | 682 | 25 | 3,5E-02 | 3,0E-02 | 3,2E-02 | 5,4E-04 | 0,398 | 740 | 26 | 5,9E-02 | 5,2E-02 | 6,3E-02 | 9,5E-04 | 0,777 | 817 | 22 | 5,5E-02 | 4,8E-02 | 5,4E-02 | 8,7E-04 | 0,776 | 897 | 23 |
| 23 | 3,7E-02 | 3,1E-02 | 3,8E-02 | 5,8E-04 | 0,397 | 684 | 26 | 3,1E-02 | 2,8E-02 | 3,2E-02 | 5,0E-04 | 0,398 | 793 | 27 | 5,9E-02 | 5,3E-02 | 5,8E-02 | 9,3E-04 | 0,776 | 837 | 23 | 5,0E-02 | 4,7E-02 | 5,2E-02 | 8,2E-04 | 0,776 | 947 | 23 |
| 36 | 2,6E-02 | 2,5E-02 | 2,9E-02 | 4,3E-04 | 0,398 | 915 | 26 | 2,1E-02 | 2,5E-02 | 2,5E-02 | 3,9E-04 | 0,398 | 1028 | 27 | 4,3E-02 | 4,5E-02 | 4,8E-02 | 7,4E-04 | 0,774 | 1039 | 23 | 3,5E-02 | 4,6E-02 | 4,0E-02 | 6,7E-04 | 0,775 | 1164 | 24 |
| 39 | 2,2E-02 | 3,1E-02 | 2,4E-02 | 4,2E-04 | 0,398 | 949 | 26 | 2,2E-02 | 2,6E-02 | 2,3E-02 | 3,9E-04 | 0,398 | 1016 | 26 | 4,0E-02 | 5,1E-02 | 4,2E-02 | 7,2E-04 | 0,775 | 1071 | 23 | 4,2E-02 | 4,2E-02 | 3,9E-02 | 6,7E-04 | 0,776 | 1153 | 23 |
| 43 | 2,2E-02 | 2,7E-02 | 3,0E-02 | 4,3E-04 | 0,398 | 921 | 26 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 3,8E-04 | 0,398 | 1055 | 27 | 4,1E-02 | 4,4E-02 | 4,8E-02 | 7,3E-04 | 0,774 | 1061 | 23 | 4,0E-02 | 3,9E-02 | 3,9E-02 | 6,5E-04 | 0,775 | 1187 | 23 |
| 50 | 2,5E-02 | 2,7E-02 | 2,3E-02 | 4,1E-04 | 0,397 | 968 | 26 | 1,8E-02 | 3,1E-02 | 2,0E-02 | 3,8E-04 | 0,397 | 1048 | 27 | 4,5E-02 | 4,6E-02 | 4,0E-02 | 7,1E-04 | 0,776 | 1090 | 23 | 3,5E-02 | 4,9E-02 | 3,4E-02 | 6,5E-04 | 0,775 | 1186 | 24 |
| 57 | 2,0E-02 | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 4,0E-04 | 0,398 | 1000 | 27 | 1,8E-02 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 3,7E-04 | 0,397 | 1082 | 27 | 3,9E-02 | 4,5E-02 | 4,3E-02 | 6,9E-04 | 0,775 | 1120 | 24 | 3,2E-02 | 4,1E-02 | 4,3E-02 | 6,4E-04 | 0,776 | 1206 | 24 |
| 64 | 2,0E-02 | 2,7E-02 | 2,7E-02 | 4,0E-04 | 0,397 | 991 | 27 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 3,5E-04 | 0,398 | 1163 | 28 | 3,8E-02 | 4,3E-02 | 4,5E-02 | 6,8E-04 | 0,775 | 1132 | 24 | 3,5E-02 | 3,5E-02 | 3,9E-02 | 6,0E-04 | 0,775 | 1286 | 24 |
| 72 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 2,9E-02 | 4,0E-04 | 0,397 | 984 | 27 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 2,4E-02 | 3,4E-04 | 0,398 | 1122 | 28 | 4,0E-02 | 4,0E-02 | 4,6E-02 | 6,9E-04 | 0,775 | 1121 | 24 | 3,5E-02 | 3,8E-02 | 3,8E-02 | 6,1E-04 | 0,775 | 1271 | 24 |
| 78 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 3,7E-04 | 0,398 | 1078 | 28 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 1,6E-02 | 3,2E-04 | 0,398 | 1225 | 29 | 3,8E-02 | 4,0E-02 | 4,0E-02 | 6,5E-04 | 0,776 | 1196 | 24 | 3,5E-02 | 3,9E-02 | 2,9E-02 | 5,7E-04 | 0,775 | 1354 | 25 |
| 84 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 1,9E-02 | 3,4E-04 | 0,399 | 1174 | 29 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 3,2E-04 | 0,398 | 1232 | 29 | 3,6E-02 | 3,7E-02 | 3,4E-02 | 5,9E-04 | 0,775 | 1315 | 25 | 3,4E-02 | 3,4E-02 | 3,5E-02 | 5,7E-04 | 0,775 | 1369 | 25 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|-----|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|---|---|----------|----------|----------|-------|---------|---|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E |
| 2 | 6,3E-02 | 6,0E-02 | 4,5E-02 | 9,0E-04 | 0,385 | 428 | 21 | 3,5E-02 | 5,2E-02 | 5,5E-02 | 7,6E-04 | 0,383 | 502 | 21 | 7,4E-02 | 8,8E-02 | 8,1E-02 | 1,3E-03 | | | | | | | | | |

Annexe 18 – Résultats d'essais à 20°C et 45% d'HR – Essais à 15 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,3E-01 | 6,8E-02 | 6,9E-02 | 1,4E-03 | 0,403 | 279 | 11 | 7,5E-02 | 7,6E-02 | 4,8E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 381 | 12 | 1,9E-01 | 1,0E-01 | 1,0E-01 | 2,1E-03 | 0,790 | 372 | 10 | 1,2E-01 | 1,3E-01 | 7,0E-02 | 1,7E-03 | 0,789 | 463 | 10 |
| 4 | 1,5E-01 | 4,3E-02 | 1,4E-01 | 1,8E-03 | 0,404 | 220 | 11 | 4,3E-02 | 7,7E-02 | 6,5E-02 | 9,9E-04 | 0,403 | 408 | 13 | 1,9E-01 | 7,6E-02 | 1,3E-01 | 2,2E-03 | 0,789 | 367 | 11 | 6,9E-02 | 1,1E-01 | 9,0E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 557 | 12 |
| 7 | 8,6E-02 | 4,6E-02 | 4,6E-02 | 9,7E-04 | 0,403 | 417 | 16 | 4,8E-02 | 4,6E-02 | 6,0E-02 | 8,2E-04 | 0,404 | 492 | 16 | 1,2E-01 | 6,2E-02 | 7,4E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 572 | 13 | 7,4E-02 | 6,8E-02 | 8,7E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 649 | 13 |
| 9 | 7,0E-02 | 5,6E-02 | 3,6E-02 | 8,8E-04 | 0,404 | 458 | 17 | 3,6E-02 | 4,4E-02 | 5,0E-02 | 6,9E-04 | 0,403 | 581 | 18 | 8,6E-02 | 8,1E-02 | 6,0E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 645 | 14 | 5,5E-02 | 6,8E-02 | 7,5E-02 | 1,1E-03 | 0,791 | 748 | 15 |
| 11 | 7,7E-02 | 5,7E-02 | 3,3E-02 | 9,1E-04 | 0,403 | 445 | 17 | 4,3E-02 | 4,7E-02 | 4,5E-02 | 7,3E-04 | 0,404 | 556 | 18 | 9,9E-02 | 5,7E-02 | 6,6E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 658 | 15 | 6,5E-02 | 7,1E-02 | 6,7E-02 | 1,1E-03 | 0,788 | 727 | 15 |
| 14 | 5,3E-02 | 2,9E-02 | 7,2E-02 | 8,3E-04 | 0,403 | 484 | 18 | 4,4E-02 | 4,1E-02 | 3,8E-02 | 6,6E-04 | 0,404 | 616 | 19 | 7,0E-02 | 4,8E-02 | 9,8E-02 | 1,2E-03 | 0,789 | 674 | 15 | 6,7E-02 | 6,2E-02 | 5,8E-02 | 1,0E-03 | 0,790 | 793 | 16 |
| 18 | 3,3E-02 | 4,6E-02 | 4,5E-02 | 6,9E-04 | 0,403 | 585 | 20 | 4,2E-02 | 3,2E-02 | 5,1E-02 | 6,9E-04 | 0,402 | 580 | 20 | 5,0E-02 | 6,7E-02 | 6,9E-02 | 1,0E-03 | 0,788 | 764 | 16 | 6,3E-02 | 5,2E-02 | 7,6E-02 | 1,1E-03 | 0,788 | 745 | 16 |
| 21 | 5,4E-02 | 3,0E-02 | 3,6E-02 | 6,7E-04 | 0,403 | 601 | 21 | 3,4E-02 | 3,4E-02 | 4,2E-02 | 6,1E-04 | 0,403 | 658 | 21 | 7,8E-02 | 4,8E-02 | 5,5E-02 | 1,0E-03 | 0,789 | 788 | 17 | 5,4E-02 | 5,4E-02 | 6,2E-02 | 9,4E-04 | 0,788 | 835 | 17 |
| 23 | 4,1E-02 | 3,9E-02 | 3,2E-02 | 6,2E-04 | 0,402 | 650 | 22 | 3,6E-02 | 3,1E-02 | 4,6E-02 | 6,2E-04 | 0,402 | 644 | 21 | 6,1E-02 | 5,9E-02 | 4,9E-02 | 9,4E-04 | 0,789 | 836 | 17 | 5,5E-02 | 5,1E-02 | 6,9E-02 | 9,7E-04 | 0,788 | 812 | 17 |
| 36 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 3,9E-04 | 0,392 | 994 | 23 | 2,4E-02 | 2,2E-02 | 3,2E-02 | 4,3E-04 | 0,392 | 904 | 22 | 4,4E-02 | 3,6E-02 | 4,0E-02 | 6,7E-04 | 0,778 | 1164 | 19 | 4,1E-02 | 3,9E-02 | 5,3E-02 | 7,4E-04 | 0,778 | 1055 | 18 |
| 39 | 2,1E-02 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 3,8E-04 | 0,392 | 1045 | 24 | 3,3E-02 | 2,6E-02 | 2,2E-02 | 4,5E-04 | 0,391 | 870 | 22 | 3,7E-02 | 4,4E-02 | 3,5E-02 | 6,5E-04 | 0,777 | 1204 | 19 | 5,3E-02 | 4,3E-02 | 3,9E-02 | 7,5E-04 | 0,777 | 1038 | 18 |
| 43 | 2,2E-02 | 2,5E-02 | 1,8E-02 | 3,6E-04 | 0,392 | 1083 | 24 | 2,7E-02 | 2,3E-02 | 2,5E-02 | 4,2E-04 | 0,391 | 927 | 22 | 3,5E-02 | 4,5E-02 | 3,3E-02 | 6,3E-04 | 0,777 | 1237 | 19 | 4,5E-02 | 3,9E-02 | 4,3E-02 | 7,1E-04 | 0,778 | 1098 | 18 |
| 50 | 1,7E-02 | 2,9E-02 | 1,6E-02 | 3,5E-04 | 0,393 | 1128 | 24 | 1,7E-02 | 3,1E-02 | 2,3E-02 | 3,9E-04 | 0,393 | 998 | 23 | 3,1E-02 | 4,8E-02 | 2,9E-02 | 6,0E-04 | 0,777 | 1301 | 19 | 3,1E-02 | 5,0E-02 | 4,0E-02 | 6,7E-04 | 0,778 | 1163 | 19 |
| 57 | 1,5E-02 | 3,1E-02 | 1,8E-02 | 3,5E-04 | 0,392 | 1111 | 24 | 2,3E-02 | 2,6E-02 | 1,9E-02 | 3,8E-04 | 0,392 | 1032 | 23 | 2,8E-02 | 5,0E-02 | 3,2E-02 | 6,1E-04 | 0,778 | 1282 | 19 | 3,9E-02 | 4,4E-02 | 3,3E-02 | 6,5E-04 | 0,778 | 1199 | 19 |
| 64 | 2,4E-02 | 1,8E-02 | 2,4E-02 | 3,6E-04 | 0,393 | 1078 | 24 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 3,8E-04 | 0,392 | 1022 | 23 | 4,2E-02 | 3,1E-02 | 4,1E-02 | 6,3E-04 | 0,778 | 1227 | 19 | 4,0E-02 | 4,0E-02 | 3,9E-02 | 6,6E-04 | 0,778 | 1183 | 18 |
| 72 | 1,4E-02 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 3,3E-04 | 0,408 | 1222 | 25 | 2,2E-02 | 2,0E-02 | 2,7E-02 | 3,8E-04 | 0,392 | 1019 | 23 | 2,5E-02 | 3,7E-02 | 3,7E-02 | 5,5E-04 | 0,778 | 1412 | 21 | 3,9E-02 | 3,5E-02 | 4,4E-02 | 6,5E-04 | 0,778 | 1191 | 19 |
| 78 | 1,3E-02 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 3,2E-04 | 0,393 | 1214 | 25 | 1,8E-02 | 2,4E-02 | 2,2E-02 | 3,5E-04 | 0,392 | 1117 | 24 | 2,5E-02 | 3,7E-02 | 3,8E-02 | 5,6E-04 | 0,778 | 1401 | 20 | 3,2E-02 | 4,2E-02 | 3,6E-02 | 6,0E-04 | 0,779 | 1287 | 19 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,1E-01 | 5,3E-02 | 5,7E-02 | 1,2E-03 | 0,403 | 336 | 14 | 6,5E-02 | 6,4E-02 | 3,9E-02 | 9,0E-04 | 0,403 | 447 | 14 | 1,6E-01 | 8,0E-02 | 8,8E-02 | 1,8E-03 | 0,792 | 450 | 13 | 1,1E-01 | 1,1E-01 | 6,1E-02 | 1,5E-03 | 0,792 | 526 | 13 |
| 4 | 1,3E-01 | 3,2E-02 | 1,2E-01 | 1,5E-03 | 0,403 | 264 | 15 | 3,5E-02 | 6,1E-02 | 5,2E-02 | 7,9E-04 | 0,403 | 509 | 16 | 1,5E-01 | 6,1E-02 | 1,0E-01 | 1,7E-03 | 0,792 | 461 | 14 | 6,0E-02 | 8,9E-02 | 7,6E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 661 | 14 |
| 7 | 6,8E-02 | 3,4E-02 | 3,5E-02 | 7,4E-04 | 0,402 | 544 | 20 | 3,5E-02 | 3,4E-02 | 4,5E-02 | 6,1E-04 | 0,403 | 660 | 21 | 9,4E-02 | 4,8E-02 | 5,9E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 727 | 17 | 6,0E-02 | 5,2E-02 | 7,0E-02 | 9,7E-04 | 0,792 | 813 | 17 |
| 9 | 5,2E-02 | 4,0E-02 | 2,7E-02 | 6,5E-04 | 0,403 | 624 | 22 | 2,5E-02 | 3,2E-02 | 3,5E-02 | 4,9E-04 | 0,402 | 817 | 24 | 6,6E-02 | 6,0E-02 | 4,7E-02 | 9,4E-04 | 0,792 | 846 | 18 | 4,1E-02 | 5,5E-02 | 5,6E-02 | 8,1E-04 | 0,792 | 976 | 19 |
| 11 | 5,5E-02 | 3,9E-02 | 2,5E-02 | 6,4E-04 | 0,402 | 623 | 22 | 3,1E-02 | 3,3E-02 | 3,2E-02 | 5,1E-04 | 0,403 | 788 | 24 | 7,5E-02 | 4,2E-02 | 5,3E-02 | 9,2E-04 | 0,792 | 861 | 19 | 5,0E-02 | 5,3E-02 | 5,0E-02 | 8,2E-04 | 0,791 | 964 | 20 |
| 14 | 3,7E-02 | 2,0E-02 | 5,2E-02 | 5,9E-04 | 0,410 | 695 | 24 | 3,1E-02 | 2,7E-02 | 2,7E-02 | 4,5E-04 | 0,403 | 897 | 26 | 5,1E-02 | 3,7E-02 | 7,4E-02 | 8,8E-04 | 0,791 | 904 | 20 | 5,1E-02 | 4,5E-02 | 4,4E-02 | 7,4E-04 | 0,792 | 1066 | 21 |
| 18 | 2,2E-02 | 3,2E-02 | 3,1E-02 | 4,7E-04 | 0,403 | 852 | 26 | 3,0E-02 | 2,2E-02 | 3,6E-02 | 4,8E-04 | 0,403 | 835 | 26 | 3,7E-02 | 4,9E-02 | 5,0E-02 | 7,6E-04 | 0,792 | 1040 | 22 | 4,9E-02 | 3,7E-02 | 5,8E-02 | 8,0E-04 | 0,792 | 985 | 21 |
| 21 | 3,8E-02 | 2,0E-02 | 2,5E-02 | 4,6E-04 | 0,403 | 877 | 26 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 2,8E-02 | 4,1E-04 | 0,403 | 995 | 28 | 5,7E-02 | 3,3E-02 | 4,2E-02 | 7,3E-04 | 0,792 | 1079 | 22 | 4,0E-02 | 3,9E-02 | 4,5E-02 | 6,9E-04 | 0,792 | 1153 | 22 |
| 23 | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 4,1E-04 | 0,403 | 981 | 28 | 2,4E-02 | 2,1E-02 | 3,1E-02 | 4,2E-04 | 0,404 | 961 | 28 | 4,5E-02 | 4,1E-02 | 3,7E-02 | 6,8E-04 | 0,792 | 1163 | 23 | 4,1E-02 | 3,7E-02 | 5,1E-02 | 7,1E-04 | 0,792 | 1108 | 22 |
| 36 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,7E-04 | 0,403 | 1513 | 29 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 2,2E-02 | 2,9E-04 | 0,403 | 1368 | 28 | 3,1E-02 | 2,6E-02 | 3,0E-02 | 4,8E-04 | 0,792 | 1643 | 24 | 3,0E-02 | 2,9E-02 | 3,8E-02 | 5,4E-04 | 0,792 | 1470 | 23 |
| 39 | 1,4E-02 | 1,7E-02 | 1,3E-02 | 2,5E-04 | 0,403 | 1617 | 31 | 2,3E-02 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 3,1E-04 | 0,404 | 1315 | 27 | 2,7E-02 | 3,2E-02 | 2,4E-02 | 4,6E-04 | 0,792 | 1713 | 25 | 4,0E-02 | 3,2E-02 | 2,8E-02 | 5,5E-04 | 0,792 | 1436 | 23 |
| 43 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-04 | 0,403 | 1662 | 30 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 2,9E-04 | 0,403 | 1404 | 27 | 2,6E-02 | 3,2E-02 | 2,3E-02 | 4,5E-04 | 0,791 | 1754 | 25 | 3,2E-02 | 2,9E-02 | 3,1E-02 | 5,1E-04 | 0,791 | 1538 | 23 |
| 50 | 1,1E-02 | 2,0E-02 | 1,0E-02 | 2,3E-04 | 0,403 | 1743 | 31 | 1,1E-02 | 2,1E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,403 | 1537 | 29 | 2,2E-02 | 3,5E-02 | 2,0E-02 | 4,3E-04 | 0,792 | 1851 | 25 | 2,3E-02 | 3,6E-02 | 2,8E-02 | 4,8E-04 | 0,792 | 1647 | 24 |
| 57 | 9,4E-03 | 2,1E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-04 | 0,403 | 1707 | 30 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 1,2E-02 | 2,5E-04 | 0,404 | 1595 | 28 | 2,0E-02 | 3,7E-02 | 2,2E-02 | 4,4E-04 | 0,792 | 1817 | 25 | 2,8E-02 | 3,3E-02 | 2,4E-02 | 4,7E-04 | 0,791 | 1687 | 23 |
| 64 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 1,6E-02 | 2,4E-04 | 0,403 | 1651 | 30 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,404 | 1574 | 28 | 3,0E-02 | 2,2E-02 | 3,0E-02 | 4,5E-04 | 0,792 | 1742 | 24 | 2,8E-02 | 2,9E-02 | 2,8E-02 | 4,7E-04 | 0,792 | 1672 | 23 |
| 72 | 8,0E-03 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 2,0E-04 | 0,403 | 1976 | 33 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,403 | 1562 | 27 | 1,6E-02 | 2,7E-02 | 2,6E-02 | 3,9E-04 | 0,792 | 2052 | 26 | 2,8E-02 | 2,6E-02 | 3,2E-02 | 4,7E-04 | 0,792 | 1679 | 23 |
| 78 | 7,9E-03 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 2,1E-04 | 0,403 | 1929 | 31 | 1,1E-02 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 2,3E-04 | 0,404 | 1751 | 29 | 1,7E-02 | 2,6E-02 | 2,7E-02 | 3,9E-04 | 0,792 | 2045 | 26 | 2,2E-02 | 2,9E-02 | 2,6E-02 | 4,3E-04 | 0,791 | 1842 | 24 |



| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 9,6E-02 | 4,6E-02 | 5,2E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 383 | 17 | 6,1E-02 | 5,9E-02 | 3,5E-02 | 8,3E-04 | 0,403 | 488 | 16 | 1,3E-01 | 6,9E-02 | 8,0E-02 | 1,5E-03 | 0,790 | 513 | 15 | 9,9E-02 | 1,0E-01 | 5,6E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 575 | 15 |
| 4 | 1,1E-01 | 2,7E-02 | 1,0E-01 | 1,3E-03 | 0,403 | 303 | 18 | 3,1E-02 | 5,4E-02 | 4,6E-02 | 7,0E-04 | 0,403 | 575 | 19 | 1,4E-01 | 5,5E-02 | 8,7E-02 | 1,5E-03 | 0,790 | 519 | 16 | 5,5E-02 | 1,0E-02 | 6,7E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 733 | 17 |
| 7 | 5,8E-02 | 2,8E-02 | 3,0E-02 | 6,3E-04 | 0,402 | 638 | 24 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 3,9E-02 | 5,1E-04 | 0,402 | 788 | 25 | 8,1E-02 | 4,1E-02 | 5,2E-02 | 9,5E-04 | 0,790 | 836 | 20 | 5,2E-02 | 4,5E-02 | 6,1E-02 | 8,4E-04 | 0,790 | 938 | 20 |
| 9 | 4,2E-02 | 3,3E-02 | 2,3E-02 | 5,3E-04 | 0,402 | 758 | 26 | 2,0E-02 | 2,7E-02 | 2,8E-02 | 4,0E-04 | 0,402 | 1008 | 29 | 5,6E-02 | 5,0E-02 | 4,0E-02 | 7,9E-04 | 0,790 | 996 | 22 | 3,5E-02 | 4,8E-02 | 4,6E-02 | 6,9E-04 | 0,791 | 1145 | 23 |
| 11 | 4,6E-02 | 3,2E-02 | 2,0E-02 | 5,3E-04 | 0,402 | 764 | 27 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 2,6E-02 | 4,1E-04 | 0,402 | 976 | 29 | 6,2E-02 | 3,5E-02 | 4,5E-02 | 7,7E-04 | 0,790 | 1027 | 23 | 4,3E-02 | 4,5E-02 | 4,2E-02 | 6,9E-04 | 0,790 | 1142 | 24 |
| 14 | 2,9E-02 | 1,5E-02 | 4,2E-02 | 4,7E-04 | 0,402 | 851 | 28 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 2,1E-02 | 3,6E-04 | 0,402 | 1128 | 31 | 4,1E-02 | 3,1E-02 | 6,3E-02 | 7,3E-04 | 0,791 | 1082 | 24 | 4,3E-02 | 3,7E-02 | 3,7E-02 | 6,2E-04 | 0,790 | 1277 | 25 |
| 18 | 1,7E-02 | 2,5E-02 | 2,5E-02 | 3,7E-04 | 0,403 | 1076 | 31 | 2,4E-02 | 1,7E-02 | 2,9E-02 | 3,9E-04 | 0,403 | 1043 | 30 | 3,1E-02 | 4,1E-02 | 4,1E-02 | 6,3E-04 | 0,790 | 1261 | 26 | 4,1E-02 | 3,1E-02 | 4,8E-02 | 6,7E-04 | 0,790 | 1181 | 25 |
| 21 | 3,0E-02 | 1,5E-02 | 2,0E-02 | 3,6E-04 | 0,403 | 1104 | 31 | 1,8E-02 | 1,7E-02 | 2,2E-02 | 3,1E-04 | 0,403 | 1281 | 33 | 4,7E-02 | 2,7E-02 | 3,5E-02 | 6,0E-04 | 0,790 | 1311 | 27 | 3,3E-02 | 3,1E-02 | 3,7E-02 | 5,6E-04 | 0,789 | 1404 | 27 |
| 23 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 1,6E-02 | 3,2E-04 | 0,403 | 1267 | 33 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 2,4E-02 | 3,3E-04 | 0,403 | 1229 | 33 | 3,6E-02 | 3,3E-02 | 3,0E-02 | 5,5E-04 | 0,790 | 1429 | 27 | 3,3E-02 | 3,0E-02 | 4,2E-02 | 5,9E-04 | 0,790 | 1348 | 27 |
| 36 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-04 | 0,404 | 1957 | 35 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 2,3E-04 | 0,403 | 1759 | 33 | 2,3E-02 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 3,5E-04 | 0,749 | 2141 | 28 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 2,7E-02 | 3,9E-04 | 0,748 | 1910 | 27 |
| 39 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 1,0E-02 | 1,9E-04 | 0,403 | 2106 | 36 | 1,8E-02 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 2,4E-04 | 0,404 | 1681 | 31 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 1,7E-02 | 3,3E-04 | 0,749 | 2241 | 29 | 2,9E-02 | 2,4E-02 | 2,0E-02 | 4,0E-04 | 0,749 | 1856 | 26 |
| 43 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 9,0E-03 | 1,9E-04 | 0,404 | 2165 | 36 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,403 | 1793 | 31 | 2,0E-02 | 2,6E-02 | 1,9E-02 | 3,6E-04 | 0,790 | 2174 | 29 | 2,6E-02 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 4,2E-04 | 0,790 | 1877 | 26 |
| 50 | 8,3E-03 | 1,6E-02 | 7,8E-03 | 1,8E-04 | 0,404 | 2259 | 36 | 8,8E-03 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,403 | 1973 | 33 | 1,8E-02 | 2,9E-02 | 1,6E-02 | 3,5E-04 | 0,790 | 2289 | 29 | 1,9E-02 | 2,9E-02 | 2,3E-02 | 3,9E-04 | 0,790 | 2018 | 27 |
| 57 | 7,2E-03 | 1,7E-02 | 8,8E-03 | 1,8E-04 | 0,404 | 2186 | 35 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 9,5E-03 | 2,0E-04 | 0,403 | 2041 | 32 | 1,6E-02 | 3,1E-02 | 1,7E-02 | 3,5E-04 | 0,790 | 2234 | 29 | 2,3E-02 | 2,7E-02 | 2,0E-02 | 3,8E-04 | 0,790 | 2063 | 27 |
| 64 | 1,3E-02 | 8,7E-03 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,403 | 2114 | 35 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,403 | 2019 | 33 | 2,4E-02 | 1,8E-02 | 2,5E-02 | 3,7E-04 | 0,790 | 2139 | 28 | 2,2E-02 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 3,9E-04 | 0,791 | 2051 | 27 |
| 72 | 5,8E-03 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,6E-04 | 0,404 | 2595 | 39 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 2,0E-04 | 0,403 | 1984 | 31 | 1,3E-02 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 3,1E-04 | 0,790 | 2554 | 31 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 2,6E-02 | 3,9E-04 | 0,790 | 2046 | 27 |
| 78 | 5,8E-03 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,404 | 2504 | 37 | 8,4E-03 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,404 | 2258 | 34 | 1,3E-02 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 3,1E-04 | 0,791 | 2533 | 30 | 1,8E-02 | 2,4E-02 | 2,1E-02 | 3,5E-04 | 0,790 | 2263 | 28 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 8,6E-02 | 4,0E-02 | 4,8E-02 | 9,4E-04 | 0,397 | 421 | 19 | 5,6E-02 | 5,4E-02 | 3,2E-02 | 7,6E-04 | 0,397 | 525 | 19 | 1,2E-01 | 6,2E-02 | 7,3E-02 | 1,4E-03 | 0,777 | 565 | 18 | 9,1E-02 | 9,5E-02 | 5,2E-02 | 1,3E-03 | 0,777 | 614 | 17 |
| 4 | 1,0E-01 | 2,3E-02 | 9,7E-02 | 1,2E-03 | 0,397 | 327 | 20 | 2,8E-02 | 4,8E-02 | 4,0E-02 | 6,2E-04 | 0,397 | 639 | 22 | 1,3E-01 | 5,0E-02 | 7,5E-02 | 1,4E-03 | 0,777 | 571 | 19 | 5,1E-02 | 7,1E-02 | 6,1E-02 | 9,8E-04 | 0,778 | 798 | 19 |
| 7 | 5,0E-02 | 2,4E-02 | 2,6E-02 | 5,4E-04 | 0,398 | 736 | 28 | 2,5E-02 | 2,4E-02 | 3,4E-02 | 4,4E-04 | 0,398 | 905 | 29 | 7,0E-02 | 3,6E-02 | 4,6E-02 | 8,3E-04 | 0,778 | 942 | 24 | 4,5E-02 | 3,9E-02 | 5,4E-02 | 7,4E-04 | 0,778 | 1049 | 24 |
| 9 | 3,6E-02 | 2,8E-02 | 1,9E-02 | 4,5E-04 | 0,398 | 890 | 30 | 1,7E-02 | 2,3E-02 | 2,4E-02 | 3,4E-04 | 0,399 | 1183 | 33 | 4,8E-02 | 4,3E-02 | 3,5E-02 | 6,9E-04 | 0,779 | 1135 | 26 | 3,1E-02 | 4,3E-02 | 4,0E-02 | 6,0E-04 | 0,778 | 1292 | 27 |
| 11 | 3,8E-02 | 2,6E-02 | 1,7E-02 | 4,4E-04 | 0,397 | 901 | 31 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 3,5E-04 | 0,398 | 1145 | 33 | 5,1E-02 | 3,0E-02 | 3,9E-02 | 6,5E-04 | 0,778 | 1189 | 27 | 3,8E-02 | 3,8E-02 | 3,7E-02 | 6,0E-04 | 0,779 | 1297 | 28 |
| 14 | 2,4E-02 | 1,3E-02 | 3,6E-02 | 4,0E-04 | 0,398 | 1004 | 33 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 3,0E-04 | 0,398 | 1343 | 35 | 3,5E-02 | 2,7E-02 | 5,3E-02 | 6,2E-04 | 0,777 | 1249 | 29 | 3,7E-02 | 3,1E-02 | 3,2E-02 | 5,3E-04 | 0,778 | 1461 | 29 |
| 18 | 1,4E-02 | 2,1E-02 | 2,1E-02 | 3,1E-04 | 0,398 | 1294 | 36 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 2,4E-02 | 3,2E-04 | 0,398 | 1238 | 35 | 2,6E-02 | 3,4E-02 | 3,5E-02 | 5,3E-04 | 0,777 | 1463 | 30 | 3,5E-02 | 2,7E-02 | 4,1E-02 | 5,7E-04 | 0,777 | 1373 | 29 |
| 21 | 2,5E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 3,0E-04 | 0,398 | 1325 | 36 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,398 | 1541 | 38 | 3,9E-02 | 2,3E-02 | 3,0E-02 | 5,1E-04 | 0,776 | 1521 | 31 | 2,8E-02 | 2,7E-02 | 3,1E-02 | 4,8E-04 | 0,777 | 1622 | 31 |
| 23 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 2,6E-04 | 0,399 | 1543 | 39 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,0E-02 | 2,7E-04 | 0,398 | 1479 | 38 | 3,1E-02 | 2,8E-02 | 2,5E-02 | 4,7E-04 | 0,777 | 1663 | 32 | 2,8E-02 | 2,6E-02 | 3,6E-02 | 5,0E-04 | 0,777 | 1559 | 31 |
| 36 | 1,1E-02 | 9,2E-03 | 1,0E-02 | 1,7E-04 | 0,400 | 2363 | 40 | 1,1E-02 | 9,7E-03 | 1,4E-02 | 1,9E-04 | 0,398 | 2113 | 38 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 3,3E-04 | 0,776 | 2365 | 33 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 2,5E-02 | 3,7E-04 | 0,776 | 2081 | 31 |
| 39 | 9,0E-03 | 1,1E-02 | 8,1E-03 | 1,6E-04 | 0,400 | 2553 | 43 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 9,1E-03 | 2,0E-04 | 0,398 | 2002 | 36 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 1,6E-02 | 3,1E-04 | 0,777 | 2474 | 33 | 2,8E-02 | 2,2E-02 | 1,9E-02 | 3,9E-04 | 0,777 | 2014 | 30 |
| 43 | 8,9E-03 | 1,1E-02 | 7,4E-03 | 1,5E-04 | 0,400 | 2628 | 42 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,398 | 2137 | 36 | 1,7E-02 | 2,2E-02 | 1,6E-02 | 3,1E-04 | 0,777 | 2523 | 33 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 3,6E-04 | 0,776 | 2158 | 30 |
| 50 | 6,8E-03 | 1,4E-02 | 6,2E-03 | 1,5E-04 | 0,399 | 2701 | 43 | 7,4E-03 | 1,4E-02 | 9,4E-03 | 1,7E-04 | 0,398 | 2360 | 38 | 1,5E-02 | 2,4E-02 | 1,3E-02 | 2,9E-04 | 0,777 | 2659 | 34 | 1,6E-02 | 2,4E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,776 | 2326 | 32 |
| 57 | 5,8E-03 | 1,5E-02 | 7,1E-03 | 1,5E-04 | 0,400 | 2612 | 41 | 9,7E-03 | 1,2E-02 | 7,8E-03 | 1,6E-04 | 0,398 | 2437 | 38 | 1,4E-02 | 2,6E-02 | 1,4E-02 | 3,0E-04 | 0,777 | 2590 | 33 | 1,9E-02 | 2,3E-02 | 1,7E-02 | 3,3E-04 | 0,778 | 2366 | 31 |
| 64 | 1,1E-02 | 7,1E-03 | 1,1E-02 | 1,6E-04 | 0,399 | 2520 | 40 | 9,3E-03 | 1,1E-02 | 9,8E-03 | 1,6E-04 | 0,398 | 2415 | 38 | 2,1E-02 | 1,5E-02 | 2,1E-02 | 3,1E-04 | 0,777 | 2478 | 33 | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,776 | 2366 | 31 |
| 72 | 4,7E-03 | 9,1E-03 | 9,1E-03 | 1,3E-04 | 0,400 | 3133 | 47 | 9,4E-03 | 9,1E-03 | 1,2E-02 | 1,7E-04 | 0,398 | 2366 | 36 | 1,1E-02 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,777 | 2973 | 35 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 2,2E-02 | 3,3E-04 | 0,777 | 2350 | 30 |
| 78 | 4,6E-03 | 9,1E-03 | 1,0E-02 | 1,3E-04 | 0,399 | 3003 | 43 | 6,9E-03 | 1,1E-02 | 9,2E-03 | 1,5E-04 | 0,398 | 2694 | 40 | 1,1E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,778 | 2942 | 34 | 1,5E-02 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 3,0E-04 | 0,777 | 2603 | 32 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 7,7E-02 | 3,6E-02 | 4,3E-02 | 8,5E-04 | 0,385 | 453 | 23 | 5,1E-02 | 5,0E-02 | 2,9E-02 | 7,0E-04 | 0,386 | 555 | 22 | 1,1E-01 | 5,7E-02 | 6,8E-02 | 1,2E-03 | 0,755 | 605 | 21 | 8,2E-02 | 8,6E-02 | 4,8E-02 | 1,2E-03 | 0,757 | 658 | 20 |
| 4 | 9,6E-02 | 2,1E-02 | 8,6E-02 | 1,1E-03 | 0,385 | 351 | 25 | 2,6E-02 | 4,3E-02 | 3,6E-02 | 5,6E-04 | 0,385 | 689 | 27 | 1,2E-01 | 4,7E-02 | 6,7E-02 | 1,2E-03 | 0,756 | 606 | 22 | 4,7E-02 | 6,4E-02 | 5,4E-02 | 8,8E-04 | 0,752 | 851 | 23 |
| 7 | 4,3E-02 | 2,0E-02 | 2,2E-02 | 4,6E | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Annexe 19 – Résultats d’essais à 20°C et 45% d’HR – Essais à 20 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | Moule 6 | | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 8,3E-02 | 9,1E-02 | 9,1E-02 | 1,4E-03 | 0,403 | 280 | 11 | 1,0E-01 | 5,7E-02 | 1,1E-01 | 1,4E-03 | 0,403 | 282 | 11 | 1,4E-01 | 1,1E-01 | 1,6E-01 | 2,2E-03 | 0,790 | 355 | 9 | 1,7E-01 | 9,2E-02 | 1,7E-01 | 2,3E-03 | 0,790 | 349 | 9 |
| 4 | 7,2E-02 | 6,5E-02 | 4,9E-02 | 1,0E-03 | 0,403 | 400 | 12 | 6,0E-02 | 5,2E-02 | 9,3E-02 | 1,1E-03 | 0,404 | 370 | 13 | 1,1E-01 | 9,6E-02 | 8,1E-02 | 1,6E-03 | 0,790 | 509 | 11 | 7,5E-02 | 8,8E-02 | 1,4E-01 | 1,6E-03 | 0,791 | 494 | 11 |
| 7 | 8,2E-02 | 6,2E-02 | 4,1E-02 | 1,0E-03 | 0,403 | 402 | 14 | 4,7E-02 | 5,0E-02 | 6,1E-02 | 8,4E-04 | 0,403 | 477 | 15 | 1,2E-01 | 8,1E-02 | 6,6E-02 | 1,5E-03 | 0,789 | 543 | 12 | 7,1E-02 | 7,7E-02 | 9,5E-02 | 1,3E-03 | 0,789 | 609 | 13 |
| 9 | 3,7E-02 | 6,3E-02 | 5,5E-02 | 8,4E-04 | 0,403 | 479 | 16 | 5,4E-02 | 4,2E-02 | 5,1E-02 | 7,8E-04 | 0,403 | 516 | 16 | 5,6E-02 | 9,5E-02 | 7,9E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 633 | 13 | 8,1E-02 | 6,3E-02 | 7,7E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 673 | 13 |
| 11 | 7,4E-02 | 6,0E-02 | 3,5E-02 | 9,2E-04 | 0,403 | 440 | 15 | 5,0E-02 | 4,6E-02 | 5,2E-02 | 8,0E-04 | 0,403 | 505 | 16 | 1,0E-01 | 8,4E-02 | 5,7E-02 | 1,3E-03 | 0,790 | 606 | 13 | 7,4E-02 | 6,7E-02 | 8,2E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 664 | 13 |
| 14 | 7,5E-02 | 2,7E-02 | 7,4E-02 | 9,6E-04 | 0,404 | 422 | 16 | 4,5E-02 | 4,8E-02 | 4,4E-02 | 7,3E-04 | 0,403 | 551 | 17 | 9,1E-02 | 4,7E-02 | 9,9E-02 | 1,3E-03 | 0,789 | 614 | 14 | 6,8E-02 | 7,4E-02 | 6,7E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 710 | 14 |
| 18 | 6,3E-02 | 6,9E-02 | 2,5E-02 | 8,8E-04 | 0,402 | 460 | 17 | 4,4E-02 | 3,9E-02 | 4,9E-02 | 7,3E-04 | 0,402 | 550 | 18 | 8,9E-02 | 9,7E-02 | 4,2E-02 | 1,3E-03 | 0,789 | 625 | 15 | 6,5E-02 | 6,2E-02 | 7,4E-02 | 1,1E-03 | 0,789 | 707 | 15 |
| 21 | 6,2E-02 | 3,9E-02 | 4,6E-02 | 8,2E-04 | 0,402 | 493 | 19 | 4,3E-02 | 3,4E-02 | 4,7E-02 | 6,8E-04 | 0,403 | 589 | 19 | 8,3E-02 | 6,4E-02 | 6,4E-02 | 1,2E-03 | 0,789 | 675 | 16 | 6,7E-02 | 5,4E-02 | 7,1E-02 | 1,1E-03 | 0,789 | 743 | 16 |
| 23 | 5,4E-02 | 3,1E-02 | 5,1E-02 | 7,5E-04 | 0,402 | 533 | 19 | 4,4E-02 | 3,3E-02 | 4,8E-02 | 7,0E-04 | 0,403 | 579 | 19 | 8,2E-02 | 4,8E-02 | 7,3E-02 | 1,1E-03 | 0,789 | 700 | 15 | 6,7E-02 | 5,3E-02 | 7,3E-02 | 1,1E-03 | 0,788 | 736 | 16 |
| 36 | 3,4E-02 | 1,7E-02 | 3,3E-02 | 4,7E-04 | 0,391 | 836 | 21 | 2,6E-02 | 2,9E-02 | 2,5E-02 | 4,4E-04 | 0,391 | 881 | 21 | 5,6E-02 | 3,2E-02 | 5,5E-02 | 7,9E-04 | 0,778 | 980 | 17 | 4,5E-02 | 4,8E-02 | 4,6E-02 | 7,7E-04 | 0,777 | 1006 | 17 |
| 39 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 4,0E-02 | 4,6E-04 | 0,391 | 854 | 21 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 3,4E-02 | 4,7E-04 | 0,391 | 830 | 20 | 3,7E-02 | 3,9E-02 | 6,3E-02 | 7,7E-04 | 0,777 | 1007 | 17 | 4,3E-02 | 4,5E-02 | 5,5E-02 | 8,0E-04 | 0,777 | 977 | 17 |
| 43 | 2,2E-02 | 3,0E-02 | 3,3E-02 | 4,7E-04 | 0,392 | 825 | 21 | 3,4E-02 | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 4,7E-04 | 0,392 | 831 | 20 | 4,1E-02 | 4,8E-02 | 5,6E-02 | 8,1E-04 | 0,778 | 963 | 17 | 5,4E-02 | 4,4E-02 | 4,4E-02 | 7,9E-04 | 0,777 | 981 | 16 |
| 50 | 2,5E-02 | 2,7E-02 | 3,4E-02 | 4,7E-04 | 0,392 | 828 | 19 | 2,5E-02 | 3,3E-02 | 2,5E-02 | 4,6E-04 | 0,392 | 860 | 19 | 4,2E-02 | 4,3E-02 | 5,5E-02 | 7,7E-04 | 0,778 | 1003 | 16 | 4,1E-02 | 5,1E-02 | 4,4E-02 | 7,6E-04 | 0,778 | 1023 | 16 |
| 57 | 2,7E-02 | 2,7E-02 | 1,7E-02 | 4,0E-04 | 0,392 | 984 | 22 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 2,5E-02 | 4,2E-04 | 0,392 | 923 | 21 | 4,7E-02 | 4,6E-02 | 3,1E-02 | 6,8E-04 | 0,778 | 1136 | 18 | 4,4E-02 | 4,3E-02 | 4,3E-02 | 7,2E-04 | 0,778 | 1075 | 17 |
| 64 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 3,1E-02 | 4,1E-04 | 0,393 | 959 | 21 | 2,6E-02 | 2,7E-02 | 2,8E-02 | 4,5E-04 | 0,393 | 871 | 20 | 3,6E-02 | 4,0E-02 | 5,0E-02 | 7,0E-04 | 0,778 | 1115 | 17 | 4,5E-02 | 4,6E-02 | 4,6E-02 | 7,6E-04 | 0,779 | 1027 | 17 |
| 72 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 2,7E-02 | 3,7E-04 | 0,393 | 1053 | 23 | 2,7E-02 | 2,2E-02 | 2,5E-02 | 4,1E-04 | 0,393 | 953 | 21 | 3,7E-02 | 3,4E-02 | 4,6E-02 | 6,5E-04 | 0,778 | 1192 | 18 | 4,6E-02 | 3,8E-02 | 4,3E-02 | 7,0E-04 | 0,779 | 1106 | 17 |
| 78 | 2,2E-02 | 2,6E-02 | 1,9E-02 | 3,7E-04 | 0,392 | 1061 | 22 | 2,7E-02 | 2,4E-02 | 2,2E-02 | 4,1E-04 | 0,392 | 967 | 21 | 3,8E-02 | 4,3E-02 | 3,5E-02 | 6,4E-04 | 0,779 | 1215 | 18 | 4,6E-02 | 4,1E-02 | 3,9E-02 | 7,0E-04 | 0,777 | 1114 | 17 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | Moule 6 | | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 7,0E-02 | 7,0E-02 | 7,6E-02 | 1,2E-03 | 0,403 | 344 | 13 | 8,5E-02 | 4,5E-02 | 8,6E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 351 | 13 | 1,1E-01 | 8,7E-02 | 1,3E-01 | 1,8E-03 | 0,792 | 452 | 12 | 1,3E-01 | 7,4E-02 | 1,3E-01 | 1,8E-03 | 0,792 | 445 | 12 |
| 4 | 6,0E-02 | 5,6E-02 | 4,3E-02 | 8,6E-04 | 0,403 | 470 | 14 | 4,3E-02 | 4,4E-02 | 7,8E-02 | 8,8E-04 | 0,403 | 459 | 15 | 9,4E-02 | 8,0E-02 | 7,4E-02 | 1,3E-03 | 0,792 | 588 | 13 | 6,1E-02 | 7,7E-02 | 1,2E-01 | 1,4E-03 | 0,792 | 581 | 13 |
| 7 | 6,5E-02 | 4,8E-02 | 3,2E-02 | 7,9E-04 | 0,403 | 511 | 18 | 3,6E-02 | 3,9E-02 | 4,8E-02 | 6,5E-04 | 0,403 | 617 | 19 | 1,0E-01 | 6,2E-02 | 6,0E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 658 | 16 | 5,6E-02 | 6,4E-02 | 8,0E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 744 | 16 |
| 9 | 2,8E-02 | 4,9E-02 | 4,1E-02 | 6,3E-04 | 0,403 | 635 | 21 | 4,0E-02 | 3,0E-02 | 3,9E-02 | 5,8E-04 | 0,402 | 690 | 21 | 4,5E-02 | 7,8E-02 | 6,2E-02 | 1,0E-03 | 0,793 | 791 | 17 | 6,4E-02 | 4,9E-02 | 6,2E-02 | 9,4E-04 | 0,792 | 846 | 17 |
| 11 | 5,6E-02 | 4,5E-02 | 2,7E-02 | 6,9E-04 | 0,402 | 583 | 20 | 3,7E-02 | 3,5E-02 | 3,9E-02 | 5,9E-04 | 0,403 | 682 | 21 | 8,0E-02 | 6,5E-02 | 4,7E-02 | 1,0E-03 | 0,792 | 764 | 17 | 5,8E-02 | 5,3E-02 | 6,6E-02 | 9,4E-04 | 0,792 | 843 | 18 |
| 14 | 5,6E-02 | 1,9E-02 | 5,5E-02 | 7,1E-04 | 0,402 | 570 | 22 | 3,4E-02 | 3,4E-02 | 3,2E-02 | 5,3E-04 | 0,402 | 764 | 23 | 7,0E-02 | 3,7E-02 | 7,8E-02 | 1,0E-03 | 0,792 | 789 | 18 | 5,4E-02 | 5,6E-02 | 5,1E-02 | 8,6E-04 | 0,792 | 918 | 19 |
| 18 | 4,7E-02 | 5,2E-02 | 1,7E-02 | 6,4E-04 | 0,403 | 630 | 23 | 3,1E-02 | 2,8E-02 | 3,5E-02 | 5,2E-04 | 0,403 | 772 | 24 | 7,1E-02 | 7,4E-02 | 3,1E-02 | 9,8E-04 | 0,792 | 811 | 19 | 4,9E-02 | 4,7E-02 | 5,7E-02 | 8,5E-04 | 0,791 | 928 | 20 |
| 21 | 4,6E-02 | 2,7E-02 | 3,3E-02 | 5,9E-04 | 0,404 | 685 | 24 | 2,9E-02 | 2,2E-02 | 3,4E-02 | 4,8E-04 | 0,403 | 843 | 25 | 6,4E-02 | 4,7E-02 | 5,0E-02 | 9,0E-04 | 0,792 | 883 | 21 | 5,0E-02 | 3,9E-02 | 5,6E-02 | 8,0E-04 | 0,792 | 984 | 21 |
| 23 | 3,8E-02 | 2,1E-02 | 3,6E-02 | 5,3E-04 | 0,403 | 763 | 25 | 3,0E-02 | 2,3E-02 | 3,5E-02 | 4,8E-04 | 0,403 | 832 | 25 | 6,0E-02 | 3,6E-02 | 5,5E-02 | 8,4E-04 | 0,792 | 940 | 21 | 4,9E-02 | 3,9E-02 | 5,8E-02 | 8,1E-04 | 0,791 | 976 | 21 |
| 36 | 2,4E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-02 | 3,3E-04 | 0,404 | 1219 | 26 | 1,8E-02 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 3,1E-04 | 0,404 | 1298 | 27 | 4,1E-02 | 2,4E-02 | 4,2E-02 | 6,0E-04 | 0,792 | 1325 | 22 | 3,4E-02 | 3,6E-02 | 3,4E-02 | 5,8E-04 | 0,792 | 1363 | 22 |
| 39 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 2,8E-02 | 3,2E-04 | 0,403 | 1262 | 26 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 2,3E-02 | 3,3E-04 | 0,403 | 1212 | 26 | 2,7E-02 | 3,0E-02 | 4,7E-02 | 5,8E-04 | 0,792 | 1373 | 22 | 3,3E-02 | 3,4E-02 | 4,1E-02 | 6,0E-04 | 0,792 | 1323 | 22 |
| 43 | 1,6E-02 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 3,3E-04 | 0,403 | 1207 | 26 | 2,4E-02 | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 3,3E-04 | 0,403 | 1206 | 26 | 3,1E-02 | 3,7E-02 | 4,0E-02 | 6,0E-04 | 0,792 | 1325 | 22 | 4,1E-02 | 3,4E-02 | 3,2E-02 | 6,0E-04 | 0,792 | 1327 | 21 |
| 50 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 2,4E-02 | 3,5E-04 | 0,403 | 1153 | 23 | 1,8E-02 | 2,5E-02 | 1,6E-02 | 3,3E-04 | 0,403 | 1227 | 24 | 3,3E-02 | 3,3E-02 | 4,1E-02 | 5,9E-04 | 0,792 | 1340 | 20 | 3,2E-02 | 4,0E-02 | 3,2E-02 | 5,8E-04 | 0,792 | 1369 | 21 |
| 57 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 1,1E-02 | 2,7E-04 | 0,404 | 1469 | 28 | 1,6E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,404 | 1373 | 27 | 3,5E-02 | 3,3E-02 | 2,3E-02 | 5,1E-04 | 0,792 | 1565 | 23 | 3,1E-02 | 3,2E-02 | 3,3E-02 | 5,4E-04 | 0,791 | 1475 | 22 |
| 64 | 1,4E-02 | 1,6E-02 | 2,2E-02 | 2,9E-04 | 0,403 | 1398 | 27 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 3,2E-04 | 0,403 | 1262 | 26 | 2,8E-02 | 3,2E-02 | 4,1E-02 | 5,6E-04 | 0,825 | 1478 | 22 | 3,4E-02 | 3,5E-02 | 3,5E-02 | 5,7E-04 | 0,791 | 1382 | 22 |
| 72 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 1,9E-02 | 2,5E-04 | 0,403 | 1589 | 29 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,8E-04 | 0,404 | 1421 | 27 | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 3,5E-02 | 4,8E-04 | 0,791 | 1651 | 24 | 3,3E-02 | 2,9E-02 | 3,2E-02 | 5,2E-04 | 0,792 | 1520 | 23 |
| 78 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 2,5E-04 | 0,403 | 1618 | 29 | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 2,8E-04 | 0,403 | 1429 | 26 | 2,8E-02 | 3,1E-02 | 2,5E-02 | 4,7E-04 | 0,792 | 1695 | 24 | 3,3E-02 | 3,0E-02 | 3,0E-02 | 5,2E-04 | 0,792 | 1527 | 22 |



| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------|----------|---------|---------|-------|------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | | | | |
| Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | |
| 2 | 6,2E-02 | 6,1E-02 | 6,9E-02 | 1,0E-03 | 0,403 | 388 | 15 | 7,5E-02 | 3,9E-02 | 7,6E-02 | 1,0E-03 | 0,403 | 396 | 16 | 9,7E-02 | 7,5E-02 | 1,1E-01 | 1,5E-03 | 0,790 | 519 | 15 | 1,1E-01 | 6,5E-02 | 1,1E-01 | 1,5E-03 | 0,790 | 517 | 15 |
| 4 | 5,3E-02 | 5,0E-02 | 3,9E-02 | 7,7E-04 | 0,403 | 521 | 17 | 3,7E-02 | 4,0E-02 | 7,1E-02 | 7,9E-04 | 0,403 | 511 | 18 | 8,4E-02 | 7,2E-02 | 6,9E-02 | 1,2E-03 | 0,791 | 648 | 16 | 5,5E-02 | 6,9E-02 | 1,0E-01 | 1,2E-03 | 0,790 | 658 | 16 |
| 7 | 5,6E-02 | 4,1E-02 | 2,8E-02 | 6,8E-04 | 0,402 | 594 | 22 | 3,0E-02 | 3,4E-02 | 4,1E-02 | 5,6E-04 | 0,402 | 721 | 23 | 8,8E-02 | 5,3E-02 | 5,4E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 746 | 19 | 4,8E-02 | 5,7E-02 | 7,1E-02 | 9,4E-04 | 0,791 | 838 | 19 |
| 9 | 2,3E-02 | 4,1E-02 | 3,4E-02 | 5,3E-04 | 0,402 | 754 | 25 | 3,4E-02 | 2,5E-02 | 3,3E-02 | 4,9E-04 | 0,402 | 825 | 26 | 3,9E-02 | 6,8E-02 | 5,3E-02 | 8,7E-04 | 0,790 | 910 | 21 | 5,7E-02 | 4,2E-02 | 5,5E-02 | 8,2E-04 | 0,791 | 962 | 21 |
| 11 | 4,7E-02 | 3,7E-02 | 2,2E-02 | 5,8E-04 | 0,402 | 695 | 25 | 3,0E-02 | 2,9E-02 | 3,3E-02 | 4,9E-04 | 0,402 | 816 | 25 | 6,9E-02 | 5,5E-02 | 4,1E-02 | 8,9E-04 | 0,790 | 884 | 21 | 4,9E-02 | 4,6E-02 | 5,7E-02 | 8,1E-04 | 0,791 | 974 | 21 |
| 14 | 4,7E-02 | 1,5E-02 | 4,6E-02 | 5,9E-04 | 0,402 | 686 | 26 | 2,8E-02 | 2,7E-02 | 2,6E-02 | 4,3E-04 | 0,402 | 936 | 28 | 5,9E-02 | 3,2E-02 | 6,7E-02 | 8,5E-04 | 0,790 | 929 | 22 | 4,7E-02 | 4,8E-02 | 4,4E-02 | 7,4E-04 | 0,791 | 1075 | 23 |
| 18 | 3,8E-02 | 4,3E-02 | 1,3E-02 | 5,2E-04 | 0,403 | 769 | 27 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 2,8E-02 | 4,2E-04 | 0,403 | 954 | 29 | 6,0E-02 | 6,3E-02 | 2,5E-02 | 8,3E-04 | 0,789 | 955 | 23 | 4,2E-02 | 4,0E-02 | 4,8E-02 | 7,3E-04 | 0,790 | 1086 | 24 |
| 21 | 3,8E-02 | 2,1E-02 | 2,8E-02 | 4,8E-04 | 0,403 | 838 | 28 | 2,3E-02 | 1,7E-02 | 2,9E-02 | 3,8E-04 | 0,403 | 1054 | 30 | 5,4E-02 | 3,9E-02 | 4,3E-02 | 7,5E-04 | 0,789 | 1046 | 25 | 4,1E-02 | 3,2E-02 | 4,8E-02 | 6,8E-04 | 0,790 | 1170 | 25 |
| 23 | 3,1E-02 | 1,6E-02 | 2,9E-02 | 4,2E-04 | 0,403 | 949 | 30 | 2,3E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-02 | 3,9E-04 | 0,403 | 1044 | 30 | 5,0E-02 | 3,0E-02 | 4,6E-02 | 7,0E-04 | 0,789 | 1128 | 25 | 4,0E-02 | 3,2E-02 | 5,0E-02 | 6,8E-04 | 0,790 | 1161 | 25 |
| 36 | 1,9E-02 | 9,1E-03 | 1,9E-02 | 2,6E-04 | 0,403 | 1537 | 30 | 1,4E-02 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 2,4E-04 | 0,403 | 1649 | 32 | 3,0E-02 | 1,8E-02 | 3,1E-02 | 4,4E-04 | 0,752 | 1692 | 26 | 2,5E-02 | 2,7E-02 | 2,6E-02 | 4,3E-04 | 0,748 | 1731 | 26 |
| 39 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-02 | 2,5E-04 | 0,404 | 1604 | 31 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,403 | 1537 | 31 | 2,0E-02 | 2,2E-02 | 3,4E-02 | 4,2E-04 | 0,751 | 1776 | 26 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 3,0E-02 | 4,4E-04 | 0,747 | 1684 | 26 |
| 43 | 1,2E-02 | 1,8E-02 | 1,7E-02 | 2,6E-04 | 0,403 | 1534 | 30 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,6E-04 | 0,403 | 1522 | 30 | 2,3E-02 | 2,8E-02 | 3,0E-02 | 4,5E-04 | 0,752 | 1668 | 26 | 3,0E-02 | 2,6E-02 | 2,4E-02 | 4,4E-04 | 0,748 | 1684 | 25 |
| 50 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 2,0E-02 | 2,9E-04 | 0,403 | 1403 | 25 | 1,5E-02 | 2,0E-02 | 1,3E-02 | 2,6E-04 | 0,404 | 1527 | 28 | 2,8E-02 | 2,7E-02 | 3,4E-02 | 4,9E-04 | 0,789 | 1595 | 24 | 2,7E-02 | 3,4E-02 | 2,6E-02 | 4,8E-04 | 0,790 | 1635 | 25 |
| 57 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 8,5E-03 | 2,2E-04 | 0,403 | 1868 | 33 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 2,3E-04 | 0,403 | 1737 | 31 | 2,9E-02 | 2,7E-02 | 1,8E-02 | 4,2E-04 | 0,790 | 1898 | 27 | 2,6E-02 | 2,6E-02 | 2,8E-02 | 4,4E-04 | 0,791 | 1782 | 26 |
| 64 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 2,3E-04 | 0,404 | 1765 | 32 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 2,6E-04 | 0,404 | 1582 | 31 | 2,1E-02 | 2,5E-02 | 3,2E-02 | 4,3E-04 | 0,790 | 1824 | 27 | 2,8E-02 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 4,8E-04 | 0,790 | 1658 | 26 |
| 72 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,5E-02 | 2,0E-04 | 0,403 | 2043 | 35 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 2,2E-04 | 0,403 | 1807 | 32 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 2,8E-02 | 3,9E-04 | 0,790 | 2007 | 28 | 2,7E-02 | 2,4E-02 | 2,7E-02 | 4,3E-04 | 0,790 | 1843 | 27 |
| 78 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 9,5E-03 | 1,9E-04 | 0,403 | 2076 | 34 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,403 | 1798 | 31 | 2,3E-02 | 2,6E-02 | 2,0E-02 | 3,8E-04 | 0,791 | 2067 | 28 | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 2,5E-02 | 4,3E-04 | 0,790 | 1840 | 26 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------|----------|---------|---------|-------|------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | | | | |
| Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | |
| 2 | 5,6E-02 | 5,5E-02 | 6,4E-02 | 9,5E-04 | 0,397 | 419 | 18 | 6,9E-02 | 3,6E-02 | 6,9E-02 | 9,3E-04 | 0,397 | 428 | 18 | 8,9E-02 | 6,7E-02 | 1,0E-01 | 1,4E-03 | 0,778 | 561 | 17 | 1,0E-01 | 6,0E-02 | 9,8E-02 | 1,4E-03 | 0,778 | 558 | 17 |
| 4 | 4,7E-02 | 4,5E-02 | 3,6E-02 | 7,0E-04 | 0,397 | 568 | 20 | 3,2E-02 | 3,7E-02 | 6,4E-02 | 7,1E-04 | 0,397 | 558 | 21 | 7,6E-02 | 6,5E-02 | 6,4E-02 | 1,1E-03 | 0,778 | 703 | 18 | 5,1E-02 | 6,3E-02 | 8,8E-02 | 1,1E-03 | 0,778 | 722 | 18 |
| 7 | 4,9E-02 | 3,6E-02 | 2,5E-02 | 5,9E-04 | 0,398 | 670 | 25 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 3,6E-02 | 4,9E-04 | 0,399 | 817 | 27 | 7,8E-02 | 4,6E-02 | 4,9E-02 | 9,4E-04 | 0,777 | 825 | 22 | 4,3E-02 | 5,2E-02 | 6,4E-02 | 8,4E-04 | 0,777 | 921 | 22 |
| 9 | 1,9E-02 | 3,6E-02 | 3,0E-02 | 4,6E-04 | 0,398 | 869 | 30 | 2,9E-02 | 2,1E-02 | 2,9E-02 | 4,2E-04 | 0,397 | 950 | 30 | 3,5E-02 | 6,0E-02 | 4,6E-02 | 7,6E-04 | 0,778 | 1019 | 25 | 5,0E-02 | 3,7E-02 | 4,9E-02 | 7,3E-04 | 0,778 | 1072 | 25 |
| 11 | 4,0E-02 | 3,2E-02 | 1,9E-02 | 5,0E-04 | 0,398 | 802 | 29 | 2,6E-02 | 2,5E-02 | 2,8E-02 | 4,2E-04 | 0,398 | 942 | 30 | 6,0E-02 | 4,8E-02 | 3,7E-02 | 7,8E-04 | 0,778 | 993 | 25 | 4,4E-02 | 4,1E-02 | 5,0E-02 | 7,2E-04 | 0,778 | 1087 | 25 |
| 14 | 4,0E-02 | 1,3E-02 | 3,9E-02 | 5,0E-04 | 0,397 | 799 | 30 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 3,6E-04 | 0,398 | 1093 | 33 | 5,0E-02 | 2,8E-02 | 5,8E-02 | 7,4E-04 | 0,778 | 1056 | 26 | 4,1E-02 | 4,1E-02 | 3,8E-02 | 6,4E-04 | 0,779 | 1214 | 27 |
| 18 | 3,3E-02 | 3,6E-02 | 1,1E-02 | 4,4E-04 | 0,398 | 900 | 32 | 2,1E-02 | 1,9E-02 | 2,4E-02 | 3,5E-04 | 0,398 | 1124 | 34 | 5,2E-02 | 5,4E-02 | 2,2E-02 | 7,1E-04 | 0,777 | 1090 | 27 | 3,6E-02 | 3,5E-02 | 4,1E-02 | 6,3E-04 | 0,776 | 1236 | 28 |
| 21 | 3,2E-02 | 1,8E-02 | 2,3E-02 | 4,0E-04 | 0,397 | 980 | 32 | 1,9E-02 | 1,4E-02 | 2,4E-02 | 3,2E-04 | 0,398 | 1249 | 35 | 4,6E-02 | 3,4E-02 | 3,6E-02 | 6,4E-04 | 0,776 | 1204 | 29 | 3,5E-02 | 2,8E-02 | 4,2E-02 | 5,8E-04 | 0,777 | 1339 | 29 |
| 23 | 2,6E-02 | 1,4E-02 | 2,4E-02 | 3,5E-04 | 0,398 | 1122 | 35 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 2,4E-02 | 3,2E-04 | 0,398 | 1239 | 35 | 4,3E-02 | 2,6E-02 | 3,9E-02 | 6,0E-04 | 0,776 | 1292 | 29 | 3,4E-02 | 2,8E-02 | 4,4E-02 | 5,9E-04 | 0,777 | 1320 | 29 |
| 36 | 1,6E-02 | 7,5E-03 | 1,6E-02 | 2,2E-04 | 0,397 | 1819 | 35 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 2,0E-04 | 0,399 | 1971 | 38 | 2,9E-02 | 1,7E-02 | 3,0E-02 | 4,2E-04 | 0,775 | 1827 | 30 | 2,3E-02 | 2,6E-02 | 2,4E-02 | 4,1E-04 | 0,777 | 1888 | 31 |
| 39 | 8,9E-03 | 9,7E-03 | 1,9E-02 | 2,1E-04 | 0,397 | 1919 | 36 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 2,2E-04 | 0,398 | 1829 | 36 | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 3,3E-02 | 4,1E-04 | 0,775 | 1904 | 30 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 2,8E-02 | 4,2E-04 | 0,776 | 1829 | 30 |
| 43 | 1,0E-02 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 2,2E-04 | 0,396 | 1811 | 34 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 2,2E-04 | 0,398 | 1796 | 35 | 2,2E-02 | 2,7E-02 | 2,7E-02 | 4,2E-04 | 0,774 | 1841 | 30 | 2,9E-02 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 4,2E-04 | 0,776 | 1826 | 29 |
| 50 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 2,5E-04 | 0,397 | 1621 | 29 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 1,0E-02 | 2,2E-04 | 0,398 | 1794 | 32 | 2,4E-02 | 2,4E-02 | 2,9E-02 | 4,3E-04 | 0,777 | 1814 | 27 | 2,4E-02 | 2,9E-02 | 2,2E-02 | 4,2E-04 | 0,777 | 1859 | 28 |
| 57 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 6,8E-03 | 1,8E-04 | 0,397 | 2217 | 38 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,398 | 2066 | 36 | 2,5E-02 | 2,4E-02 | 1,6E-02 | 3,6E-04 | 0,776 | 2176 | 31 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 2,4E-02 | 3,8E-04 | 0,777 | 2033 | 30 |
| 64 | 8,7E-03 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 1,9E-04 | 0,398 | 2102 | 38 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,397 | 1877 | 36 | 1,8E-02 | 2,1E-02 | 2,7E-02 | 3,7E-04 | 0,776 | 2088 | 31 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 2,5E-02 | 4,1E-04 | 0,777 | 1893 | 30 |
| 72 | 8,7E-03 | 8,1E-03 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,398 | 2458 | 41 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,398 | 2157 | 38 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 2,4E-02 | 3,4E-04 | 0,777 | 2306 | 33 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 3,7E-04 | 0,777 | 2105 | 31 |
| 78 | 9,3E-03 | 1,2E-02 | 7,7E-03 | 1,6E-04 | 0,398 | 2488 | 40 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,9E-04 | 0,399 | 2127 | 36 | 2,0E-02 | 2,2E-02 | 1,7E-02 | 3,3E-04 | 0,777 | 2373 | 33 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 3,7E-04 | 0,776 | 2097 | 29 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---------------|----------|---------|---------|-------|-----|----------|----------|----------|---------|---------|-------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|-----|----------|----------|----------|---------|---------|-------|-----|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | | | | |
| Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | |
| 2 | 5,0E-02 | 5,0E-02 | 5,8E-02 | 8,5E-04 | 0,381 | 449 | 21 | 6,1E-02 | 3,3E-02 | 6,3E-02 | 8,4E-04 | 0,387 | 463 | 22 | 8,1E-02 | 6,1E-02 | 9,2E-02 | 1,3E-03 | 0,754 | 594 | 20 | 9,4E-02 | 5,5E-02 | 9,0E-02 | 1,3E-03 | 0,755 | 592 | 20 |
| 4 | 4,2E-02 | 4,0E-02 | 3,3E-02 | 6,3E-04 | 0,383 | 613 | 24 | 2,8E-02 | 3,4E-02 | 5,8E-02 | 6,4E-04 | 0,384 | 600 | 25 | 6,9E-02 | 5,9E-02 | 5,9E-02 | 1,0E-03 | 0,754 | 742 | 21 | 4,7E-02 | 5,7E-02 | 7,7E-02 | 9,7E-04 | 0,751 | 777 | 22 |
| 7 | 4,3E-02 | 3,1E-02 | 2,2E-02 | 5,2E-04 | 0,384 | 743 | 30 | 2,2E-02 | 2,6E-02 | 3,1E-02 | 4,2E-04 | 0,383 | 907 | 31 | 7,0E-02 | 4,2E-02 | 4,5E- | | | | | | | | | | | |

Annexe 20 – Résultats d’essais à 20°C et 45% d’HR – Essais à 35 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 6,7E-02 | 9,3E-02 | 5,2E-02 | 1,2E-03 | 0,402 | 349 | 10 | 7,7E-02 | 6,4E-02 | 7,4E-02 | 1,1E-03 | 0,402 | 350 | 9 | 1,1E-01 | 1,6E-01 | 8,2E-02 | 1,9E-03 | 0,790 | 408 | 9 | 1,3E-01 | 1,3E-01 | 8,4E-02 | 1,8E-03 | 0,789 | 431 | 9 |
| 4 | 9,3E-02 | 7,1E-02 | 5,3E-02 | 1,2E-03 | 0,403 | 343 | 11 | 4,7E-02 | 6,9E-02 | 8,5E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 377 | 11 | 1,4E-01 | 8,6E-02 | 9,2E-02 | 1,7E-03 | 0,790 | 452 | 10 | 8,0E-02 | 9,3E-02 | 1,4E-01 | 1,7E-03 | 0,790 | 473 | 10 |
| 7 | 8,1E-02 | 9,4E-02 | 4,1E-02 | 1,2E-03 | 0,403 | 346 | 11 | 5,1E-02 | 7,1E-02 | 5,4E-02 | 9,4E-04 | 0,404 | 430 | 11 | 1,2E-01 | 1,1E-01 | 6,2E-02 | 1,6E-03 | 0,789 | 499 | 11 | 8,5E-02 | 1,0E-01 | 8,3E-02 | 1,5E-03 | 0,790 | 544 | 10 |
| 9 | 8,0E-02 | 6,6E-02 | 4,4E-02 | 1,0E-03 | 0,403 | 391 | 12 | 4,6E-02 | 5,8E-02 | 5,7E-02 | 8,6E-04 | 0,403 | 470 | 12 | 1,1E-01 | 8,0E-02 | 7,5E-02 | 1,5E-03 | 0,790 | 540 | 11 | 6,8E-02 | 8,7E-02 | 9,0E-02 | 1,3E-03 | 0,790 | 605 | 11 |
| 11 | 6,5E-02 | 7,5E-02 | 3,6E-02 | 9,6E-04 | 0,402 | 420 | 13 | 7,3E-02 | 5,1E-02 | 5,1E-02 | 9,3E-04 | 0,403 | 431 | 12 | 9,7E-02 | 1,1E-01 | 5,4E-02 | 1,4E-03 | 0,789 | 566 | 12 | 1,0E-01 | 7,6E-02 | 8,1E-02 | 1,4E-03 | 0,789 | 568 | 11 |
| 14 | 7,7E-02 | 6,8E-02 | 3,8E-02 | 9,9E-04 | 0,403 | 407 | 13 | 5,5E-02 | 4,8E-02 | 6,6E-02 | 9,0E-04 | 0,403 | 447 | 12 | 1,1E-01 | 9,4E-02 | 6,1E-02 | 1,4E-03 | 0,789 | 554 | 11 | 8,1E-02 | 7,3E-02 | 1,0E-01 | 1,4E-03 | 0,789 | 579 | 11 |
| 18 | 6,7E-02 | 3,7E-02 | 5,4E-02 | 8,7E-04 | 0,403 | 461 | 15 | 5,3E-02 | 4,0E-02 | 6,9E-02 | 9,0E-04 | 0,402 | 449 | 14 | 9,3E-02 | 5,9E-02 | 8,1E-02 | 1,3E-03 | 0,790 | 609 | 13 | 7,5E-02 | 6,6E-02 | 9,3E-02 | 1,3E-03 | 0,788 | 607 | 12 |
| 21 | 6,4E-02 | 4,3E-02 | 5,4E-02 | 9,0E-04 | 0,403 | 448 | 14 | 5,1E-02 | 4,2E-02 | 6,4E-02 | 8,7E-04 | 0,402 | 464 | 13 | 9,4E-02 | 6,6E-02 | 7,8E-02 | 1,3E-03 | 0,788 | 596 | 12 | 7,7E-02 | 6,8E-02 | 9,5E-02 | 1,3E-03 | 0,787 | 591 | 11 |
| 23 | 4,5E-02 | 5,8E-02 | 5,4E-02 | 8,8E-04 | 0,403 | 460 | 14 | 5,6E-02 | 4,6E-02 | 5,6E-02 | 8,8E-04 | 0,402 | 456 | 13 | 6,6E-02 | 8,6E-02 | 7,8E-02 | 1,3E-03 | 0,788 | 617 | 12 | 8,5E-02 | 7,4E-02 | 7,9E-02 | 1,3E-03 | 0,787 | 595 | 11 |
| 36 | 3,7E-02 | 2,9E-02 | 3,9E-02 | 5,8E-04 | 0,391 | 670 | 15 | 3,4E-02 | 3,3E-02 | 4,1E-02 | 6,0E-04 | 0,391 | 650 | 13 | 6,2E-02 | 5,0E-02 | 6,0E-02 | 9,6E-04 | 0,777 | 811 | 13 | 5,5E-02 | 5,6E-02 | 6,8E-02 | 1,0E-03 | 0,779 | 778 | 12 |
| 39 | 2,9E-02 | 3,2E-02 | 4,2E-02 | 5,7E-04 | 0,392 | 683 | 14 | 3,5E-02 | 4,4E-02 | 3,8E-02 | 6,5E-04 | 0,392 | 602 | 13 | 4,8E-02 | 5,1E-02 | 6,7E-02 | 9,2E-04 | 0,777 | 840 | 13 | 5,9E-02 | 6,9E-02 | 6,0E-02 | 1,0E-03 | 0,777 | 744 | 12 |
| 43 | 2,3E-02 | 4,3E-02 | 3,5E-02 | 5,7E-04 | 0,392 | 693 | 14 | 3,3E-02 | 4,2E-02 | 3,0E-02 | 5,8E-04 | 0,392 | 677 | 13 | 4,0E-02 | 6,9E-02 | 5,5E-02 | 9,1E-04 | 0,778 | 853 | 13 | 5,3E-02 | 6,7E-02 | 5,1E-02 | 9,5E-04 | 0,778 | 816 | 12 |
| 50 | 2,4E-02 | 4,5E-02 | 2,7E-02 | 5,4E-04 | 0,392 | 731 | 15 | 3,2E-02 | 4,3E-02 | 3,0E-02 | 5,9E-04 | 0,392 | 668 | 13 | 4,3E-02 | 6,9E-02 | 4,5E-02 | 8,8E-04 | 0,778 | 888 | 13 | 5,5E-02 | 6,9E-02 | 5,0E-02 | 9,7E-04 | 0,777 | 803 | 12 |
| 57 | 2,4E-02 | 3,3E-02 | 4,1E-02 | 5,4E-04 | 0,393 | 729 | 15 | 3,3E-02 | 4,0E-02 | 3,0E-02 | 5,8E-04 | 0,393 | 681 | 13 | 4,1E-02 | 5,2E-02 | 6,5E-02 | 8,8E-04 | 0,777 | 885 | 13 | 5,3E-02 | 6,6E-02 | 5,1E-02 | 9,4E-04 | 0,778 | 826 | 12 |
| 64 | 2,6E-02 | 4,0E-02 | 2,7E-02 | 5,1E-04 | 0,392 | 764 | 15 | 2,6E-02 | 4,4E-02 | 3,4E-02 | 5,8E-04 | 0,393 | 676 | 13 | 4,4E-02 | 6,3E-02 | 4,3E-02 | 8,4E-04 | 0,778 | 930 | 13 | 4,5E-02 | 6,9E-02 | 5,5E-02 | 9,4E-04 | 0,778 | 828 | 12 |
| 72 | 2,5E-02 | 3,9E-02 | 3,6E-02 | 5,6E-04 | 0,392 | 700 | 15 | 3,7E-02 | 3,1E-02 | 3,4E-02 | 5,6E-04 | 0,392 | 694 | 14 | 4,4E-02 | 6,2E-02 | 5,5E-02 | 8,9E-04 | 0,777 | 870 | 13 | 6,0E-02 | 5,2E-02 | 5,6E-02 | 9,3E-04 | 0,778 | 836 | 12 |
| 78 | 1,8E-02 | 3,9E-02 | 3,4E-02 | 5,1E-04 | 0,392 | 776 | 15 | 2,4E-02 | 3,9E-02 | 3,2E-02 | 5,3E-04 | 0,392 | 740 | 14 | 3,3E-02 | 6,0E-02 | 5,3E-02 | 8,1E-04 | 0,778 | 957 | 14 | 4,0E-02 | 6,3E-02 | 5,3E-02 | 8,7E-04 | 0,778 | 894 | 12 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 6,1E-02 | 8,4E-02 | 4,7E-02 | 1,0E-03 | 0,403 | 386 | 12 | 6,9E-02 | 6,0E-02 | 6,2E-02 | 1,0E-03 | 0,402 | 394 | 11 | 1,1E-01 | 1,4E-01 | 7,4E-02 | 1,8E-03 | 0,792 | 446 | 11 | 1,1E-01 | 1,2E-01 | 6,7E-02 | 1,6E-03 | 0,792 | 497 | 11 |
| 4 | 7,9E-02 | 5,9E-02 | 4,8E-02 | 1,0E-03 | 0,403 | 400 | 13 | 4,0E-02 | 5,8E-02 | 7,6E-02 | 9,3E-04 | 0,403 | 434 | 13 | 1,3E-01 | 7,2E-02 | 8,6E-02 | 1,5E-03 | 0,792 | 511 | 12 | 7,3E-02 | 7,9E-02 | 1,3E-01 | 1,5E-03 | 0,793 | 534 | 12 |
| 7 | 6,6E-02 | 7,5E-02 | 3,4E-02 | 9,5E-04 | 0,403 | 423 | 15 | 4,4E-02 | 5,9E-02 | 4,6E-02 | 8,0E-04 | 0,403 | 505 | 15 | 1,0E-01 | 9,1E-02 | 5,7E-02 | 1,4E-03 | 0,792 | 584 | 14 | 7,6E-02 | 9,1E-02 | 7,2E-02 | 1,3E-03 | 0,792 | 622 | 13 |
| 9 | 6,6E-02 | 5,2E-02 | 3,7E-02 | 8,4E-04 | 0,403 | 481 | 16 | 3,8E-02 | 4,9E-02 | 4,7E-02 | 7,1E-04 | 0,403 | 563 | 16 | 9,6E-02 | 6,4E-02 | 6,7E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 642 | 15 | 5,9E-02 | 7,7E-02 | 7,8E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 690 | 14 |
| 11 | 5,3E-02 | 6,0E-02 | 2,9E-02 | 7,7E-04 | 0,403 | 524 | 17 | 5,8E-02 | 4,2E-02 | 4,3E-02 | 7,6E-04 | 0,403 | 528 | 16 | 8,3E-02 | 8,7E-02 | 4,6E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 678 | 15 | 8,5E-02 | 6,4E-02 | 7,2E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 671 | 14 |
| 14 | 6,2E-02 | 5,4E-02 | 3,2E-02 | 8,0E-04 | 0,403 | 503 | 17 | 4,6E-02 | 4,0E-02 | 5,5E-02 | 7,5E-04 | 0,402 | 537 | 16 | 9,0E-02 | 7,6E-02 | 5,3E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 668 | 15 | 6,8E-02 | 6,4E-02 | 8,7E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 677 | 14 |
| 18 | 5,1E-02 | 2,8E-02 | 4,6E-02 | 7,0E-04 | 0,403 | 580 | 20 | 4,1E-02 | 3,2E-02 | 5,6E-02 | 7,1E-04 | 0,403 | 568 | 19 | 7,5E-02 | 4,7E-02 | 6,8E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 754 | 18 | 6,1E-02 | 5,3E-02 | 7,9E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 737 | 17 |
| 21 | 5,1E-02 | 3,4E-02 | 4,4E-02 | 7,2E-04 | 0,403 | 561 | 19 | 4,1E-02 | 3,5E-02 | 5,3E-02 | 7,1E-04 | 0,403 | 566 | 17 | 7,7E-02 | 5,4E-02 | 6,7E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 721 | 17 | 6,3E-02 | 5,9E-02 | 8,3E-02 | 1,1E-03 | 0,791 | 695 | 15 |
| 23 | 3,6E-02 | 4,7E-02 | 4,2E-02 | 7,0E-04 | 0,404 | 580 | 19 | 4,7E-02 | 3,8E-02 | 4,6E-02 | 7,3E-04 | 0,403 | 555 | 17 | 5,6E-02 | 7,1E-02 | 6,3E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 752 | 17 | 7,3E-02 | 6,2E-02 | 6,9E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 700 | 15 |
| 36 | 3,1E-02 | 2,4E-02 | 3,3E-02 | 4,8E-04 | 0,404 | 835 | 20 | 2,8E-02 | 2,9E-02 | 3,5E-02 | 5,1E-04 | 0,404 | 787 | 18 | 5,2E-02 | 4,2E-02 | 5,2E-02 | 8,1E-04 | 0,792 | 977 | 18 | 4,7E-02 | 5,0E-02 | 5,9E-02 | 8,6E-04 | 0,792 | 915 | 16 |
| 39 | 2,4E-02 | 2,7E-02 | 3,5E-02 | 4,7E-04 | 0,403 | 850 | 20 | 2,9E-02 | 3,8E-02 | 3,3E-02 | 5,5E-04 | 0,403 | 730 | 18 | 4,1E-02 | 4,4E-02 | 5,6E-02 | 7,8E-04 | 0,791 | 1013 | 18 | 5,1E-02 | 6,0E-02 | 5,1E-02 | 9,0E-04 | 0,792 | 879 | 16 |
| 43 | 1,9E-02 | 3,6E-02 | 2,8E-02 | 4,7E-04 | 0,403 | 867 | 20 | 2,8E-02 | 3,5E-02 | 2,5E-02 | 4,9E-04 | 0,404 | 823 | 18 | 3,4E-02 | 5,9E-02 | 4,6E-02 | 7,7E-04 | 0,792 | 1024 | 18 | 4,6E-02 | 5,8E-02 | 4,4E-02 | 8,2E-04 | 0,792 | 963 | 16 |
| 50 | 2,0E-02 | 3,7E-02 | 2,2E-02 | 4,4E-04 | 0,404 | 915 | 20 | 2,7E-02 | 3,6E-02 | 2,6E-02 | 5,0E-04 | 0,403 | 812 | 18 | 3,7E-02 | 5,8E-02 | 3,8E-02 | 7,4E-04 | 0,792 | 1074 | 18 | 4,8E-02 | 6,0E-02 | 4,3E-02 | 8,4E-04 | 0,793 | 949 | 16 |
| 57 | 1,9E-02 | 2,7E-02 | 3,3E-02 | 4,4E-04 | 0,404 | 917 | 20 | 2,8E-02 | 3,4E-02 | 2,6E-02 | 4,9E-04 | 0,404 | 831 | 18 | 3,5E-02 | 4,4E-02 | 5,4E-02 | 7,4E-04 | 0,792 | 1076 | 18 | 4,5E-02 | 5,7E-02 | 4,4E-02 | 8,1E-04 | 0,792 | 977 | 16 |
| 64 | 2,1E-02 | 3,2E-02 | 2,1E-02 | 4,1E-04 | 0,403 | 979 | 21 | 2,2E-02 | 3,6E-02 | 2,9E-02 | 4,8E-04 | 0,404 | 834 | 19 | 3,8E-02 | 5,3E-02 | 3,5E-02 | 7,0E-04 | 0,792 | 1139 | 18 | 3,9E-02 | 5,9E-02 | 4,7E-02 | 8,0E-04 | 0,792 | 987 | 17 |
| 72 | 2,1E-02 | 3,2E-02 | 2,9E-02 | 4,5E-04 | 0,403 | 887 | 20 | 3,0E-02 | 2,6E-02 | 2,8E-02 | 4,7E-04 | 0,404 | 854 | 19 | 3,8E-02 | 5,1E-02 | 4,5E-02 | 7,4E-04 | 0,792 | 1068 | 18 | 5,1E-02 | 4,5E-02 | 4,8E-02 | 8,0E-04 | 0,791 | 995 | 17 |
| 78 | 1,4E-02 | 3,1E-02 | 2,7E-02 | 4,0E-04 | 0,403 | 1010 | 21 | 1,9E-02 | 3,3E-02 | 2,6E-02 | 4,4E-04 | 0,403 | 921 | 19 | 2,7E-02 | 4,9E-02 | 4,3E-02 | 6,7E-04 | 0,792 | 1190 | 18 | 3,4E-02 | 5,4E-02 | 4,4E-02 | 7,4E-04 | 0,792 | 1076 | 17 |



| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 5,8E-02 | 7,9E-02 | 4,4E-02 | 9,8E-04 | 0,402 | 411 | 14 | 6,5E-02 | 5,8E-02 | 5,6E-02 | 9,5E-04 | 0,403 | 423 | 14 | 9,8E-02 | 1,3E-01 | 6,7E-02 | 1,6E-03 | 0,790 | 493 | 14 | 9,9E-02 | 1,1E-01 | 5,8E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 547 | 13 |
| 4 | 7,2E-02 | 5,3E-02 | 4,4E-02 | 9,1E-04 | 0,402 | 441 | 16 | 3,7E-02 | 5,3E-02 | 7,2E-02 | 8,6E-04 | 0,402 | 467 | 16 | 1,2E-01 | 6,5E-02 | 8,0E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 560 | 15 | 6,9E-02 | 7,3E-02 | 1,1E-01 | 1,3E-03 | 0,790 | 587 | 15 |
| 7 | 5,9E-02 | 6,6E-02 | 3,1E-02 | 8,4E-04 | 0,402 | 477 | 19 | 4,0E-02 | 5,3E-02 | 4,1E-02 | 7,2E-04 | 0,403 | 561 | 18 | 9,1E-02 | 8,0E-02 | 5,3E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 649 | 17 | 6,9E-02 | 8,3E-02 | 6,5E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 684 | 16 |
| 9 | 5,8E-02 | 4,5E-02 | 3,2E-02 | 7,3E-04 | 0,402 | 549 | 21 | 3,4E-02 | 4,3E-02 | 4,2E-02 | 6,4E-04 | 0,403 | 633 | 20 | 8,5E-02 | 5,6E-02 | 6,1E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 720 | 18 | 5,4E-02 | 7,1E-02 | 7,1E-02 | 1,0E-03 | 0,790 | 757 | 17 |
| 11 | 4,6E-02 | 5,2E-02 | 2,5E-02 | 6,7E-04 | 0,403 | 601 | 22 | 5,1E-02 | 3,7E-02 | 3,8E-02 | 6,7E-04 | 0,402 | 599 | 20 | 7,3E-02 | 7,6E-02 | 4,2E-02 | 1,0E-03 | 0,790 | 765 | 19 | 7,3E-02 | 5,8E-02 | 6,6E-02 | 1,0E-03 | 0,790 | 753 | 18 |
| 14 | 5,4E-02 | 4,6E-02 | 2,8E-02 | 6,9E-04 | 0,402 | 579 | 22 | 4,0E-02 | 3,5E-02 | 5,0E-02 | 6,7E-04 | 0,402 | 602 | 20 | 7,8E-02 | 6,6E-02 | 4,7E-02 | 1,0E-03 | 0,790 | 759 | 19 | 6,1E-02 | 5,8E-02 | 7,8E-02 | 1,0E-03 | 0,790 | 754 | 18 |
| 18 | 4,3E-02 | 2,4E-02 | 3,9E-02 | 5,9E-04 | 0,403 | 686 | 25 | 3,4E-02 | 2,7E-02 | 4,8E-02 | 6,0E-04 | 0,403 | 666 | 24 | 6,4E-02 | 4,0E-02 | 5,9E-02 | 9,0E-04 | 0,790 | 875 | 22 | 5,2E-02 | 4,7E-02 | 7,0E-02 | 9,4E-04 | 0,789 | 842 | 21 |
| 21 | 4,4E-02 | 2,8E-02 | 3,9E-02 | 6,1E-04 | 0,403 | 656 | 23 | 3,7E-02 | 3,1E-02 | 4,6E-02 | 6,3E-04 | 0,403 | 636 | 22 | 6,6E-02 | 4,7E-02 | 5,9E-02 | 9,6E-04 | 0,790 | 824 | 20 | 5,6E-02 | 5,3E-02 | 7,3E-02 | 1,0E-03 | 0,790 | 781 | 19 |
| 23 | 3,1E-02 | 4,0E-02 | 3,6E-02 | 5,9E-04 | 0,403 | 679 | 24 | 4,0E-02 | 3,3E-02 | 4,0E-02 | 6,3E-04 | 0,403 | 639 | 22 | 4,9E-02 | 6,2E-02 | 5,4E-02 | 9,2E-04 | 0,790 | 862 | 21 | 6,5E-02 | 5,5E-02 | 6,1E-02 | 1,0E-03 | 0,790 | 786 | 19 |
| 36 | 2,6E-02 | 2,0E-02 | 2,8E-02 | 4,1E-04 | 0,403 | 977 | 25 | 2,5E-02 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 4,5E-04 | 0,404 | 904 | 23 | 4,0E-02 | 3,3E-02 | 4,0E-02 | 6,3E-04 | 0,751 | 1187 | 21 | 3,8E-02 | 4,0E-02 | 4,6E-02 | 6,9E-04 | 0,750 | 1088 | 20 |
| 39 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 3,0E-02 | 4,1E-04 | 0,403 | 992 | 24 | 2,6E-02 | 3,3E-02 | 2,9E-02 | 4,8E-04 | 0,403 | 835 | 22 | 3,2E-02 | 3,4E-02 | 4,4E-02 | 6,1E-04 | 0,750 | 1228 | 21 | 4,1E-02 | 4,7E-02 | 4,1E-02 | 7,2E-04 | 0,750 | 1049 | 19 |
| 43 | 1,6E-02 | 3,1E-02 | 2,4E-02 | 4,0E-04 | 0,403 | 1015 | 25 | 2,5E-02 | 3,1E-02 | 2,2E-02 | 4,3E-04 | 0,404 | 942 | 22 | 3,0E-02 | 5,2E-02 | 3,9E-02 | 6,8E-04 | 0,790 | 1170 | 22 | 4,1E-02 | 5,1E-02 | 3,9E-02 | 7,3E-04 | 0,790 | 1086 | 20 |
| 50 | 1,7E-02 | 3,2E-02 | 1,9E-02 | 3,8E-04 | 0,403 | 1070 | 24 | 2,4E-02 | 3,2E-02 | 2,2E-02 | 4,3E-04 | 0,403 | 927 | 22 | 3,3E-02 | 5,0E-02 | 3,3E-02 | 6,5E-04 | 0,789 | 1223 | 21 | 4,2E-02 | 5,2E-02 | 3,8E-02 | 7,4E-04 | 0,790 | 1065 | 20 |
| 57 | 1,6E-02 | 2,3E-02 | 2,9E-02 | 3,8E-04 | 0,404 | 1077 | 25 | 2,4E-02 | 2,9E-02 | 2,2E-02 | 4,2E-04 | 0,404 | 955 | 23 | 3,0E-02 | 3,8E-02 | 4,7E-02 | 6,4E-04 | 0,790 | 1235 | 22 | 4,0E-02 | 5,0E-02 | 3,9E-02 | 7,2E-04 | 0,790 | 1101 | 20 |
| 64 | 1,8E-02 | 2,8E-02 | 1,7E-02 | 3,5E-04 | 0,403 | 1158 | 26 | 1,9E-02 | 3,1E-02 | 2,5E-02 | 4,2E-04 | 0,404 | 965 | 23 | 3,3E-02 | 4,6E-02 | 3,0E-02 | 6,0E-04 | 0,790 | 1307 | 22 | 3,4E-02 | 5,2E-02 | 4,1E-02 | 7,1E-04 | 0,790 | 1116 | 20 |
| 72 | 1,8E-02 | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 3,9E-04 | 0,404 | 1041 | 25 | 2,6E-02 | 2,3E-02 | 2,4E-02 | 4,1E-04 | 0,403 | 987 | 23 | 3,3E-02 | 4,5E-02 | 3,8E-02 | 6,4E-04 | 0,790 | 1230 | 22 | 4,5E-02 | 4,0E-02 | 4,2E-02 | 7,0E-04 | 0,789 | 1124 | 20 |
| 78 | 1,2E-02 | 2,6E-02 | 2,2E-02 | 3,4E-04 | 0,403 | 1204 | 26 | 1,7E-02 | 2,9E-02 | 2,2E-02 | 3,8E-04 | 0,403 | 1069 | 24 | 2,4E-02 | 4,3E-02 | 3,7E-02 | 5,8E-04 | 0,790 | 1367 | 23 | 3,0E-02 | 4,8E-02 | 3,8E-02 | 6,5E-04 | 0,790 | 1218 | 21 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 5,5E-02 | 7,3E-02 | 4,1E-02 | 9,1E-04 | 0,397 | 436 | 17 | 6,0E-02 | 5,4E-02 | 5,0E-02 | 8,8E-04 | 0,396 | 451 | 16 | 9,1E-02 | 1,2E-01 | 6,2E-02 | 1,5E-03 | 0,777 | 528 | 16 | 9,8E-02 | 1,1E-01 | 5,5E-02 | 1,4E-03 | 0,779 | 562 | 16 |
| 4 | 6,5E-02 | 4,8E-02 | 4,1E-02 | 8,3E-04 | 0,397 | 478 | 19 | 3,4E-02 | 4,8E-02 | 6,7E-02 | 7,9E-04 | 0,397 | 501 | 19 | 1,1E-01 | 5,9E-02 | 7,3E-02 | 1,3E-03 | 0,777 | 604 | 18 | 6,4E-02 | 6,7E-02 | 9,9E-02 | 1,2E-03 | 0,776 | 633 | 17 |
| 7 | 5,2E-02 | 5,8E-02 | 2,8E-02 | 7,5E-04 | 0,397 | 529 | 23 | 3,7E-02 | 4,7E-02 | 3,7E-02 | 6,5E-04 | 0,398 | 615 | 22 | 8,1E-02 | 7,2E-02 | 4,8E-02 | 1,1E-03 | 0,778 | 711 | 20 | 6,3E-02 | 7,5E-02 | 5,9E-02 | 1,0E-03 | 0,777 | 741 | 19 |
| 9 | 5,1E-02 | 3,9E-02 | 2,9E-02 | 6,4E-04 | 0,397 | 618 | 24 | 3,0E-02 | 3,9E-02 | 3,8E-02 | 5,7E-04 | 0,398 | 699 | 24 | 7,6E-02 | 5,0E-02 | 5,5E-02 | 9,8E-04 | 0,777 | 795 | 22 | 4,8E-02 | 6,4E-02 | 6,4E-02 | 9,4E-04 | 0,778 | 829 | 21 |
| 11 | 4,0E-02 | 4,6E-02 | 2,2E-02 | 5,9E-04 | 0,398 | 677 | 26 | 4,7E-02 | 3,5E-02 | 3,7E-02 | 6,4E-04 | 0,410 | 644 | 25 | 6,5E-02 | 6,7E-02 | 3,8E-02 | 9,2E-04 | 0,778 | 846 | 22 | 6,4E-02 | 5,2E-02 | 6,1E-02 | 9,5E-04 | 0,779 | 824 | 21 |
| 14 | 4,7E-02 | 4,0E-02 | 2,5E-02 | 6,1E-04 | 0,397 | 655 | 26 | 3,6E-02 | 3,1E-02 | 4,5E-02 | 6,0E-04 | 0,397 | 662 | 24 | 6,9E-02 | 5,8E-02 | 4,3E-02 | 9,2E-04 | 0,776 | 844 | 23 | 5,4E-02 | 5,2E-02 | 6,9E-02 | 9,4E-04 | 0,777 | 827 | 21 |
| 18 | 3,7E-02 | 2,0E-02 | 3,4E-02 | 5,0E-04 | 0,399 | 794 | 30 | 2,9E-02 | 2,4E-02 | 4,2E-02 | 5,2E-04 | 0,397 | 759 | 28 | 5,5E-02 | 3,5E-02 | 5,1E-02 | 7,8E-04 | 0,776 | 990 | 26 | 4,6E-02 | 4,2E-02 | 6,1E-02 | 8,3E-04 | 0,776 | 938 | 25 |
| 21 | 3,8E-02 | 2,4E-02 | 3,4E-02 | 5,3E-04 | 0,398 | 750 | 28 | 3,2E-02 | 2,7E-02 | 4,0E-02 | 5,5E-04 | 0,398 | 719 | 26 | 5,8E-02 | 4,1E-02 | 5,2E-02 | 8,4E-04 | 0,776 | 924 | 24 | 4,9E-02 | 4,8E-02 | 6,5E-02 | 9,0E-04 | 0,776 | 861 | 23 |
| 23 | 2,7E-02 | 3,4E-02 | 3,1E-02 | 5,1E-04 | 0,397 | 778 | 28 | 3,5E-02 | 2,9E-02 | 3,5E-02 | 5,5E-04 | 0,398 | 719 | 26 | 4,4E-02 | 5,4E-02 | 4,7E-02 | 8,0E-04 | 0,776 | 964 | 25 | 5,8E-02 | 4,9E-02 | 5,5E-02 | 8,9E-04 | 0,775 | 867 | 23 |
| 36 | 2,2E-02 | 1,8E-02 | 2,4E-02 | 3,6E-04 | 0,398 | 1117 | 30 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 2,6E-02 | 3,9E-04 | 0,398 | 1023 | 28 | 3,9E-02 | 3,2E-02 | 4,0E-02 | 6,2E-04 | 0,775 | 1249 | 26 | 3,7E-02 | 4,0E-02 | 4,5E-02 | 6,8E-04 | 0,775 | 1142 | 24 |
| 39 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,6E-02 | 3,5E-04 | 0,397 | 1135 | 29 | 2,2E-02 | 2,8E-02 | 2,5E-02 | 4,2E-04 | 0,397 | 941 | 27 | 3,1E-02 | 3,4E-02 | 4,3E-02 | 6,0E-04 | 0,775 | 1294 | 26 | 4,1E-02 | 4,6E-02 | 4,1E-02 | 7,1E-04 | 0,775 | 1094 | 23 |
| 43 | 1,4E-02 | 2,7E-02 | 2,0E-02 | 3,4E-04 | 0,397 | 1165 | 30 | 2,2E-02 | 2,6E-02 | 1,9E-02 | 3,7E-04 | 0,398 | 1061 | 27 | 2,7E-02 | 4,6E-02 | 3,4E-02 | 5,9E-04 | 0,776 | 1307 | 26 | 3,7E-02 | 4,5E-02 | 3,5E-02 | 6,5E-04 | 0,776 | 1196 | 24 |
| 50 | 1,5E-02 | 2,8E-02 | 1,6E-02 | 3,2E-04 | 0,398 | 1225 | 29 | 2,2E-02 | 2,7E-02 | 2,0E-02 | 3,8E-04 | 0,398 | 1042 | 27 | 2,9E-02 | 4,4E-02 | 2,9E-02 | 5,7E-04 | 0,775 | 1362 | 26 | 3,8E-02 | 4,6E-02 | 3,4E-02 | 6,6E-04 | 0,776 | 1173 | 24 |
| 57 | 1,4E-02 | 1,9E-02 | 2,4E-02 | 3,2E-04 | 0,397 | 1236 | 30 | 2,1E-02 | 2,6E-02 | 2,0E-02 | 3,7E-04 | 0,397 | 1076 | 27 | 2,7E-02 | 3,4E-02 | 4,1E-02 | 5,6E-04 | 0,776 | 1380 | 26 | 3,6E-02 | 4,4E-02 | 3,5E-02 | 6,4E-04 | 0,776 | 1216 | 24 |
| 64 | 1,5E-02 | 2,4E-02 | 1,4E-02 | 3,0E-04 | 0,398 | 1336 | 31 | 1,7E-02 | 2,7E-02 | 2,2E-02 | 3,6E-04 | 0,397 | 1093 | 28 | 2,9E-02 | 4,0E-02 | 2,6E-02 | 5,3E-04 | 0,775 | 1465 | 27 | 3,1E-02 | 4,6E-02 | 3,7E-02 | 6,3E-04 | 0,775 | 1237 | 24 |
| 72 | 1,5E-02 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 3,3E-04 | 0,398 | 1204 | 29 | 2,3E-02 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 3,6E-04 | 0,397 | 1117 | 28 | 2,9E-02 | 3,9E-02 | 3,3E-02 | 5,6E-04 | 0,775 | 1380 | 26 | 4,0E-02 | 3,6E-02 | 3,8E-02 | 6,3E-04 | 0,776 | 1236 | 24 |
| 78 | 1,0E-02 | 2,3E-02 | 1,9E-02 | 2,9E-04 | 0,398 | 1390 | 31 | 1,5E-02 | 2,5E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,398 | 1213 | 28 | 2,1E-02 | 3,8E-02 | 3,2E-02 | 5,1E-04 | 0,776 | 1524 | 27 | 2,7E-02 | 4,3E-02 | 3,3E-02 | 5,8E-04 | 0,775 | 1346 | 25 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 5,0E-02 | 6,7E-02 | 3,7E-02 | 8,3E-04 | 0,385 | 462 | 20 | 5,6E-02 | 5,1E-02 | 4,5E-02 | 8,1E-04 | 0,383 | 473 | 20 | 8,2E-02 | 1,1E-01 | 5,8E-02 | 1,3E-03 | 0,757 | 567 | 20 | 9,1E-02 | 9,8E-02 | 5,1E-02 | 1,3E-03 | 0,754 | 590 | 19 |
| 4 | 5,8E-02 | 4,3E-02 | 3,7E-02 | 7,5E-04 | 0,384 | 515 | 23 | 3,0E-02 | 4,4E-02 | 6,1E-02 | 7,2E-04 | 0,384 | 533 | 23 | 9,8E-02 | 5,4E-02 | 6,8E-02 | 1,2E-03 | 0,753 | 631 | 21 | 6,0E-02 | 6,2E-02 | 8,8E-02 | 1,1E-03 | 0,753 | 674 | 21 |
| 7 | 4,6E-02 | 5,1E-02 | 2,5E-02 | 6,6E-04 | 0,383 | 579 | 27 | 3,3E-02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Annexe 21 – Résultats d'essais à 35°C et 45% d'HR – Essais à 15 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 8,1E-02 | 6,8E-02 | 4,3E-02 | 1,0E-03 | 0,404 | 393 | 14 | 7,1E-02 | 6,1E-02 | 4,3E-02 | 9,3E-04 | 0,404 | 435 | 14 | 1,1E-01 | 9,3E-02 | 7,7E-02 | 1,5E-03 | 0,791 | 518 | 13 | 1,0E-01 | 9,4E-02 | 7,5E-02 | 1,4E-03 | 0,789 | 546 | 12 |
| 4 | 4,0E-02 | 4,7E-02 | 5,4E-02 | 7,6E-04 | 0,404 | 532 | 19 | 4,0E-02 | 5,4E-02 | 4,8E-02 | 7,5E-04 | 0,404 | 538 | 19 | 6,5E-02 | 7,1E-02 | 8,2E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 671 | 16 | 6,6E-02 | 8,3E-02 | 7,6E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 667 | 15 |
| 7 | 3,5E-02 | 3,7E-02 | 4,2E-02 | 6,1E-04 | 0,404 | 661 | 22 | 3,4E-02 | 4,6E-02 | 5,1E-02 | 6,9E-04 | 0,403 | 584 | 21 | 5,5E-02 | 6,0E-02 | 6,6E-02 | 9,7E-04 | 0,790 | 811 | 18 | 5,8E-02 | 7,2E-02 | 8,0E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 711 | 17 |
| 9 | 3,0E-02 | 3,0E-02 | 4,2E-02 | 5,5E-04 | 0,403 | 733 | 24 | 3,3E-02 | 3,9E-02 | 3,5E-02 | 5,7E-04 | 0,403 | 705 | 23 | 4,7E-02 | 5,0E-02 | 6,7E-02 | 8,8E-04 | 0,789 | 897 | 19 | 5,4E-02 | 6,2E-02 | 5,7E-02 | 9,1E-04 | 0,790 | 863 | 19 |
| 11 | 2,9E-02 | 3,1E-02 | 3,1E-02 | 4,9E-04 | 0,403 | 825 | 25 | 3,0E-02 | 3,7E-02 | 3,5E-02 | 5,4E-04 | 0,403 | 744 | 24 | 4,7E-02 | 5,0E-02 | 5,1E-02 | 7,9E-04 | 0,790 | 995 | 20 | 5,0E-02 | 5,8E-02 | 5,7E-02 | 8,8E-04 | 0,790 | 902 | 20 |
| 14 | 2,2E-02 | 2,7E-02 | 2,7E-02 | 4,1E-04 | 0,403 | 989 | 27 | 3,1E-02 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 4,5E-04 | 0,403 | 891 | 26 | 3,7E-02 | 4,4E-02 | 4,5E-02 | 6,8E-04 | 0,789 | 1166 | 21 | 5,0E-02 | 4,2E-02 | 5,0E-02 | 7,5E-04 | 0,789 | 1052 | 21 |
| 18 | | | | | | | | 3,1E-02 | 2,3E-02 | 2,6E-02 | 4,4E-04 | 0,403 | 906 | 25 | | | | | | | | 5,0E-02 | 4,0E-02 | 4,4E-02 | 7,4E-04 | 0,788 | 1060 | 20 |
| 21 | | | | | | | | 2,6E-02 | 3,0E-02 | 2,2E-02 | 4,3E-04 | 0,403 | 928 | 25 | | | | | | | | 4,3E-02 | 4,8E-02 | 3,7E-02 | 7,2E-04 | 0,789 | 1102 | 20 |
| 23 | | | | | | | | 2,0E-02 | 3,0E-02 | 2,6E-02 | 4,2E-04 | 0,402 | 949 | 26 | | | | | | | | 3,5E-02 | 5,0E-02 | 4,4E-02 | 7,1E-04 | 0,788 | 1107 | 21 |
| 36 | | | | | | | | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 3,0E-04 | 0,391 | 1296 | 27 | | | | | | | | 3,3E-02 | 3,5E-02 | 3,1E-02 | 5,5E-04 | 0,777 | 1420 | 22 |
| 39 | | | | | | | | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 3,1E-04 | 0,392 | 1269 | 27 | | | | | | | | 3,4E-02 | 3,4E-02 | 3,1E-02 | 5,5E-04 | 0,777 | 1412 | 22 |
| 43 | | | | | | | | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 3,1E-04 | 0,391 | 1273 | 26 | | | | | | | | 3,3E-02 | 3,0E-02 | 3,5E-02 | 5,5E-04 | 0,777 | 1423 | 23 |
| 50 | | | | | | | | 1,6E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 2,8E-04 | 0,392 | 1392 | 28 | | | | | | | | 2,9E-02 | 3,4E-02 | 3,0E-02 | 5,2E-04 | 0,778 | 1499 | 23 |
| 57 | | | | | | | | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 2,9E-04 | 0,393 | 1332 | 26 | | | | | | | | 3,2E-02 | 3,4E-02 | 2,8E-02 | 5,2E-04 | 0,778 | 1498 | 22 |
| 64 | | | | | | | | 1,2E-02 | 2,1E-02 | 1,5E-02 | 2,7E-04 | 0,392 | 1467 | 29 | | | | | | | | 2,3E-02 | 3,7E-02 | 2,9E-02 | 4,9E-04 | 0,779 | 1585 | 23 |
| 72 | | | | | | | | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 2,8E-04 | 0,392 | 1420 | 27 | | | | | | | | 3,1E-02 | 3,0E-02 | 2,9E-02 | 5,0E-04 | 0,779 | 1549 | 22 |
| 78 | | | | | | | | 1,1E-02 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 2,3E-04 | 0,392 | 1684 | 31 | | | | | | | | 2,1E-02 | 3,1E-02 | 2,7E-02 | 4,4E-04 | 0,779 | 1782 | 25 |
| 84 | | | | | | | | 1,3E-02 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 2,4E-04 | 0,392 | 1603 | 30 | | | | | | | | 2,4E-02 | 3,0E-02 | 2,8E-02 | 4,6E-04 | 0,779 | 1706 | 24 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 6,3E-02 | 5,3E-02 | 3,5E-02 | 8,1E-04 | 0,403 | 498 | 18 | 5,5E-02 | 4,8E-02 | 3,6E-02 | 7,3E-04 | 0,403 | 549 | 18 | 9,2E-02 | 7,3E-02 | 6,6E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 639 | 15 | 8,4E-02 | 7,6E-02 | 6,7E-02 | 1,2E-03 | 0,791 | 660 | 15 |
| 4 | 2,8E-02 | 3,3E-02 | 3,9E-02 | 5,3E-04 | 0,403 | 753 | 24 | 2,9E-02 | 3,7E-02 | 3,5E-02 | 5,3E-04 | 0,403 | 758 | 24 | 4,9E-02 | 5,3E-02 | 6,2E-02 | 8,8E-04 | 0,792 | 896 | 20 | 5,2E-02 | 6,0E-02 | 5,9E-02 | 9,0E-04 | 0,792 | 878 | 20 |
| 7 | 2,3E-02 | 2,4E-02 | 2,7E-02 | 4,0E-04 | 0,403 | 1018 | 28 | 2,3E-02 | 3,0E-02 | 2,3E-02 | 4,6E-04 | 0,402 | 884 | 26 | 4,0E-02 | 4,3E-02 | 4,6E-02 | 6,9E-04 | 0,792 | 1144 | 23 | 4,3E-02 | 5,1E-02 | 5,6E-02 | 7,9E-04 | 0,792 | 997 | 22 |
| 9 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,6E-02 | 3,4E-04 | 0,402 | 1184 | 30 | 2,2E-02 | 2,4E-02 | 2,2E-02 | 3,5E-04 | 0,402 | 1133 | 30 | 3,2E-02 | 3,5E-02 | 4,5E-02 | 6,0E-04 | 0,792 | 1315 | 25 | 3,9E-02 | 4,1E-02 | 3,9E-02 | 6,3E-04 | 0,792 | 1255 | 25 |
| 11 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,402 | 1379 | 32 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 3,3E-04 | 0,402 | 1211 | 31 | 3,2E-02 | 3,3E-02 | 3,4E-02 | 5,3E-04 | 0,792 | 1485 | 26 | 3,6E-02 | 3,7E-02 | 4,0E-02 | 6,0E-04 | 0,792 | 1329 | 25 |
| 14 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,3E-04 | 0,402 | 1715 | 35 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,7E-04 | 0,402 | 1512 | 33 | 2,5E-02 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 4,5E-04 | 0,792 | 1772 | 27 | 3,1E-02 | 2,9E-02 | 3,4E-02 | 5,0E-04 | 0,792 | 1577 | 27 |
| 18 | | | | | | | | 2,1E-02 | 1,3E-02 | 1,6E-02 | 2,7E-04 | 0,403 | 1478 | 31 | | | | | | | | 3,6E-02 | 2,4E-02 | 3,2E-02 | 5,1E-04 | 0,791 | 1539 | 25 |
| 21 | | | | | | | | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 1,2E-02 | 2,7E-04 | 0,403 | 1510 | 29 | | | | | | | | 3,1E-02 | 3,3E-02 | 2,4E-02 | 4,9E-04 | 0,792 | 1615 | 25 |
| 23 | | | | | | | | 1,1E-02 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,403 | 1574 | 31 | | | | | | | | 2,3E-02 | 3,6E-02 | 3,0E-02 | 4,9E-04 | 0,792 | 1619 | 25 |
| 36 | | | | | | | | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 9,5E-03 | 1,8E-04 | 0,404 | 2189 | 32 | | | | | | | | 2,3E-02 | 2,4E-02 | 1,9E-02 | 3,7E-04 | 0,792 | 2157 | 27 |
| 39 | | | | | | | | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,403 | 2147 | 32 | | | | | | | | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 3,7E-04 | 0,792 | 2138 | 26 |
| 43 | | | | | | | | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,404 | 2100 | 30 | | | | | | | | 2,2E-02 | 2,0E-02 | 2,6E-02 | 3,7E-04 | 0,792 | 2123 | 25 |
| 50 | | | | | | | | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 9,0E-03 | 1,7E-04 | 0,403 | 2411 | 34 | | | | | | | | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 1,9E-02 | 3,4E-04 | 0,792 | 2299 | 27 |
| 57 | | | | | | | | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 8,8E-03 | 1,9E-04 | 0,403 | 2169 | 29 | | | | | | | | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 1,7E-02 | 3,5E-04 | 0,792 | 2255 | 26 |
| 64 | | | | | | | | 5,9E-03 | 1,4E-02 | 9,1E-03 | 1,6E-04 | 0,403 | 2493 | 35 | | | | | | | | 1,4E-02 | 2,6E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,792 | 2432 | 28 |
| 72 | | | | | | | | 1,2E-02 | 9,8E-03 | 9,3E-03 | 1,7E-04 | 0,403 | 2352 | 30 | | | | | | | | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 3,4E-04 | 0,792 | 2319 | 25 |
| 78 | | | | | | | | 5,9E-03 | 1,0E-02 | 7,9E-03 | 1,3E-04 | 0,403 | 3012 | 38 | | | | | | | | 1,3E-02 | 2,2E-02 | 1,7E-02 | 2,8E-04 | 0,792 | 2790 | 29 |
| 84 | | | | | | | | 7,4E-03 | 9,3E-03 | 8,5E-03 | 1,4E-04 | 0,404 | 3833 | 46 | | | | | | | | 1,5E-02 | 3,0E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,793 | 3600 | 30 |

| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 5,5E-02 | 4,6E-02 | 3,1E-02 | 7,1E-04 | 0,403 | 571 | 21 | 4,7E-02 | 4,1E-02 | 3,2E-02 | 6,4E-04 | 0,402 | 631 | 21 | 8,0E-02 | 6,2E-02 | 5,9E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 729 | 18 | 7,2E-02 | 6,7E-02 | 6,1E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 746 | 18 |
| 4 | 2,2E-02 | 2,6E-02 | 3,3E-02 | 4,3E-04 | 0,403 | 927 | 28 | 2,3E-02 | 3,0E-02 | 2,8E-02 | 4,3E-04 | 0,403 | 936 | 28 | 4,2E-02 | 4,4E-02 | 5,2E-02 | 7,4E-04 | 0,790 | 1066 | 24 | 4,4E-02 | 5,0E-02 | 5,0E-02 | 7,6E-04 | 0,790 | 1037 | 23 |
| 7 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 3,1E-04 | 0,402 | 1310 | 33 | 1,9E-02 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 3,6E-04 | 0,402 | 1124 | 31 | 3,3E-02 | 3,5E-02 | 3,8E-02 | 5,7E-04 | 0,790 | 1395 | 27 | 3,7E-02 | 4,2E-02 | 4,2E-02 | 6,4E-04 | 0,790 | 1234 | 26 |
| 9 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 2,0E-02 | 2,6E-04 | 0,402 | 1553 | 36 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 2,7E-04 | 0,402 | 1482 | 35 | 2,6E-02 | 2,9E-02 | 3,4E-02 | 4,8E-04 | 0,790 | 1647 | 29 | 3,2E-02 | 3,2E-02 | 3,1E-02 | 5,1E-04 | 0,790 | 1555 | 29 |
| 11 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,402 | 1837 | 38 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 2,5E-04 | 0,402 | 1590 | 36 | 2,5E-02 | 2,7E-02 | 2,7E-02 | 4,3E-04 | 0,790 | 1857 | 31 | 3,0E-02 | 2,8E-02 | 3,2E-02 | 4,8E-04 | 0,790 | 1656 | 30 |
| 14 | 9,5E-03 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-04 | 0,402 | 2329 | 41 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,0E-04 | 0,402 | 2027 | 39 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 3,5E-04 | 0,790 | 2237 | 32 | 2,4E-02 | 2,4E-02 | 2,7E-02 | 4,0E-04 | 0,790 | 1985 | 31 |
| 18 | | | | | | | | 1,6E-02 | 9,1E-03 | 1,2E-02 | 2,1E-04 | 0,403 | 1925 | 36 | | | | | | | | 2,9E-02 | 1,9E-02 | 2,6E-02 | 4,1E-04 | 0,790 | 1917 | 29 |
| 21 | | | | | | | | 1,4E-02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Annexe 22 – Résultats d'essais à 35°C et 45% d'HR – Essais à 20 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 6,3E-02 | 5,9E-02 | 5,0E-02 | 9,2E-04 | 0,404 | 437 | 13 | 6,3E-02 | 6,0E-02 | 5,5E-02 | 9,5E-04 | 0,403 | 426 | 13 | 9,4E-02 | 8,5E-02 | 8,5E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 556 | 12 | 9,8E-02 | 9,3E-02 | 8,5E-02 | 1,5E-03 | 0,789 | 539 | 12 |
| 4 | 4,2E-02 | 5,2E-02 | 5,8E-02 | 8,2E-04 | 0,403 | 492 | 17 | 5,7E-02 | 5,0E-02 | 4,6E-02 | 8,1E-04 | 0,403 | 498 | 16 | 6,7E-02 | 7,9E-02 | 8,3E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 643 | 14 | 8,3E-02 | 7,6E-02 | 7,4E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 641 | 14 |
| 7 | 4,4E-02 | 5,8E-02 | 3,8E-02 | 7,6E-04 | 0,404 | 533 | 18 | 4,5E-02 | 3,5E-02 | 5,7E-02 | 7,2E-04 | 0,403 | 557 | 18 | 6,9E-02 | 8,2E-02 | 5,8E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 702 | 16 | 7,4E-02 | 6,1E-02 | 7,3E-02 | 1,1E-03 | 0,791 | 720 | 16 |
| 9 | 3,7E-02 | 4,3E-02 | 3,2E-02 | 6,0E-04 | 0,404 | 669 | 20 | 4,0E-02 | 4,9E-02 | 4,1E-02 | 6,9E-04 | 0,403 | 586 | 20 | 5,7E-02 | 6,6E-02 | 5,2E-02 | 9,4E-04 | 0,790 | 840 | 17 | 6,1E-02 | 7,3E-02 | 6,4E-02 | 1,0E-03 | 0,789 | 755 | 17 |
| 11 | 4,5E-02 | 3,4E-02 | 3,1E-02 | 5,9E-04 | 0,404 | 685 | 21 | 4,2E-02 | 3,9E-02 | 3,7E-02 | 6,2E-04 | 0,403 | 648 | 21 | 6,9E-02 | 5,2E-02 | 4,7E-02 | 9,0E-04 | 0,790 | 875 | 18 | 6,2E-02 | 6,3E-02 | 5,7E-02 | 9,7E-04 | 0,789 | 818 | 18 |
| 14 | 3,1E-02 | 3,3E-02 | 3,2E-02 | 5,2E-04 | 0,403 | 778 | 23 | 3,3E-02 | 3,0E-02 | 4,3E-02 | 5,6E-04 | 0,403 | 719 | 23 | 5,1E-02 | 5,0E-02 | 5,0E-02 | 8,1E-04 | 0,790 | 978 | 19 | 5,2E-02 | 4,9E-02 | 6,5E-02 | 8,7E-04 | 0,789 | 902 | 19 |
| 18 | | | | | | | | 3,7E-02 | 3,2E-02 | 3,1E-02 | 5,6E-04 | 0,403 | 724 | 21 | | | | | | | | 5,7E-02 | 5,2E-02 | 5,0E-02 | 8,9E-04 | 0,788 | 889 | 17 |
| 21 | | | | | | | | 2,3E-02 | 3,1E-02 | 3,3E-02 | 4,8E-04 | 0,403 | 832 | 23 | | | | | | | | 3,8E-02 | 5,0E-02 | 5,0E-02 | 7,7E-04 | 0,789 | 1028 | 19 |
| 23 | | | | | | | | 3,4E-02 | 2,5E-02 | 3,8E-02 | 5,3E-04 | 0,403 | 757 | 23 | | | | | | | | 4,9E-02 | 4,0E-02 | 5,8E-02 | 8,1E-04 | 0,787 | 967 | 19 |
| 36 | | | | | | | | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 2,9E-02 | 3,6E-04 | 0,392 | 1094 | 24 | | | | | | | | 3,4E-02 | 3,0E-02 | 4,8E-02 | 6,2E-04 | 0,778 | 1248 | 20 |
| 39 | | | | | | | | 2,1E-02 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 3,8E-04 | 0,392 | 1036 | 23 | | | | | | | | 3,6E-02 | 4,0E-02 | 3,8E-02 | 6,4E-04 | 0,779 | 1225 | 19 |
| 43 | | | | | | | | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 2,0E-02 | 3,5E-04 | 0,392 | 1119 | 24 | | | | | | | | 3,6E-02 | 3,7E-02 | 3,5E-02 | 6,0E-04 | 0,778 | 1297 | 20 |
| 50 | | | | | | | | 2,1E-02 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 3,4E-04 | 0,393 | 1148 | 24 | | | | | | | | 3,5E-02 | 3,7E-02 | 3,4E-02 | 5,9E-04 | 0,778 | 1309 | 20 |
| 57 | | | | | | | | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 3,3E-04 | 0,393 | 1204 | 25 | | | | | | | | 3,5E-02 | 3,7E-02 | 3,1E-02 | 5,7E-04 | 0,779 | 1375 | 21 |
| 64 | | | | | | | | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 3,3E-04 | 0,392 | 1199 | 25 | | | | | | | | 3,5E-02 | 3,6E-02 | 3,2E-02 | 5,7E-04 | 0,778 | 1368 | 21 |
| 72 | | | | | | | | 2,2E-02 | 2,0E-02 | 1,9E-02 | 3,4E-04 | 0,392 | 1153 | 24 | | | | | | | | 3,7E-02 | 3,4E-02 | 3,2E-02 | 5,7E-04 | 0,778 | 1358 | 20 |
| 78 | | | | | | | | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 2,0E-02 | 2,9E-04 | 0,392 | 1333 | 27 | | | | | | | | 2,8E-02 | 3,0E-02 | 3,5E-02 | 5,2E-04 | 0,778 | 1509 | 22 |
| 84 | | | | | | | | 1,6E-02 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 3,0E-04 | 0,392 | 1325 | 26 | | | | | | | | 2,9E-02 | 3,3E-02 | 3,2E-02 | 5,2E-04 | 0,778 | 1496 | 22 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 5,2E-02 | 4,7E-02 | 4,1E-02 | 7,5E-04 | 0,402 | 534 | 17 | 5,2E-02 | 4,8E-02 | 4,6E-02 | 7,8E-04 | 0,402 | 519 | 16 | 8,0E-02 | 7,0E-02 | 7,5E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 657 | 15 | 8,6E-02 | 7,7E-02 | 7,4E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 634 | 14 |
| 4 | 3,1E-02 | 3,9E-02 | 4,3E-02 | 6,1E-04 | 0,402 | 665 | 22 | 4,1E-02 | 3,6E-02 | 3,6E-02 | 6,0E-04 | 0,402 | 670 | 22 | 5,3E-02 | 6,2E-02 | 6,4E-02 | 9,6E-04 | 0,792 | 825 | 18 | 6,4E-02 | 5,9E-02 | 6,2E-02 | 9,7E-04 | 0,792 | 812 | 18 |
| 7 | 3,1E-02 | 4,1E-02 | 2,6E-02 | 5,3E-04 | 0,402 | 758 | 24 | 3,1E-02 | 2,5E-02 | 4,1E-02 | 5,1E-04 | 0,403 | 785 | 24 | 5,3E-02 | 6,1E-02 | 4,2E-02 | 8,4E-04 | 0,792 | 942 | 21 | 5,5E-02 | 4,5E-02 | 5,8E-02 | 8,4E-04 | 0,792 | 947 | 21 |
| 9 | 2,5E-02 | 2,9E-02 | 2,2E-02 | 4,0E-04 | 0,402 | 997 | 28 | 2,8E-02 | 3,2E-02 | 2,7E-02 | 4,6E-04 | 0,402 | 876 | 26 | 4,1E-02 | 4,7E-02 | 3,8E-02 | 6,8E-04 | 0,792 | 1167 | 23 | 4,6E-02 | 5,1E-02 | 4,6E-02 | 7,6E-04 | 0,792 | 1045 | 22 |
| 11 | 3,0E-02 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 3,8E-04 | 0,402 | 1046 | 28 | 2,9E-02 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 4,1E-04 | 0,402 | 985 | 28 | 4,9E-02 | 3,7E-02 | 3,6E-02 | 6,6E-04 | 0,794 | 1211 | 24 | 4,6E-02 | 4,5E-02 | 3,9E-02 | 6,8E-04 | 0,793 | 1159 | 23 |
| 14 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 3,3E-04 | 0,402 | 1218 | 30 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 2,7E-02 | 3,6E-04 | 0,402 | 1128 | 29 | 3,6E-02 | 3,4E-02 | 3,5E-02 | 5,7E-04 | 0,791 | 1395 | 24 | 3,5E-02 | 3,7E-02 | 4,4E-02 | 6,1E-04 | 0,791 | 1293 | 24 |
| 18 | | | | | | | | 2,5E-02 | 2,0E-02 | 2,2E-02 | 3,7E-04 | 0,403 | 1099 | 28 | | | | | | | | 4,2E-02 | 3,5E-02 | 3,9E-02 | 6,4E-04 | 0,792 | 1231 | 23 |
| 21 | | | | | | | | 1,4E-02 | 2,2E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-04 | 0,403 | 1306 | 30 | | | | | | | | 2,6E-02 | 3,7E-02 | 3,5E-02 | 5,4E-04 | 0,792 | 1458 | 24 |
| 23 | | | | | | | | 2,0E-02 | 1,6E-02 | 2,6E-02 | 3,4E-04 | 0,404 | 1174 | 28 | | | | | | | | 3,3E-02 | 2,8E-02 | 4,2E-02 | 5,8E-04 | 0,792 | 1372 | 24 |
| 36 | | | | | | | | 1,2E-02 | 9,9E-03 | 2,1E-02 | 2,4E-04 | 0,403 | 1679 | 29 | | | | | | | | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 3,6E-02 | 4,5E-04 | 0,791 | 1774 | 25 |
| 39 | | | | | | | | 1,4E-02 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 2,5E-04 | 0,403 | 1590 | 28 | | | | | | | | 2,6E-02 | 2,8E-02 | 2,7E-02 | 4,5E-04 | 0,792 | 1746 | 24 |
| 43 | | | | | | | | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,403 | 1745 | 30 | | | | | | | | 2,6E-02 | 2,5E-02 | 2,5E-02 | 4,2E-04 | 0,791 | 1875 | 25 |
| 50 | | | | | | | | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,403 | 1797 | 30 | | | | | | | | 2,6E-02 | 2,7E-02 | 2,3E-02 | 4,2E-04 | 0,792 | 1884 | 25 |
| 57 | | | | | | | | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 1,0E-02 | 2,1E-04 | 0,403 | 1910 | 31 | | | | | | | | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 2,0E-02 | 4,0E-04 | 0,792 | 2002 | 26 |
| 64 | | | | | | | | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 2,1E-04 | 0,404 | 1899 | 31 | | | | | | | | 2,6E-02 | 2,6E-02 | 2,0E-02 | 4,0E-04 | 0,792 | 1990 | 26 |
| 72 | | | | | | | | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,3E-04 | 0,403 | 1773 | 28 | | | | | | | | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 2,2E-02 | 4,1E-04 | 0,792 | 1951 | 24 |
| 78 | | | | | | | | 9,2E-03 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 1,9E-04 | 0,403 | 2158 | 33 | | | | | | | | 1,8E-02 | 2,1E-02 | 2,5E-02 | 3,5E-04 | 0,792 | 2246 | 27 |
| 84 | | | | | | | | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,403 | 2157 | 32 | | | | | | | | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 3,6E-04 | 0,792 | 2217 | 26 |



Annexe 23 – Résultats d'essais à 35°C et 45% d'HR – Essais à 35 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 7,1E-02 | 6,7E-02 | 7,7E-02 | 1,2E-03 | 0,404 | 349 | 11 | 8,7E-02 | 8,3E-02 | 7,5E-02 | 1,3E-03 | 0,403 | 312 | 11 | 1,1E-01 | 1,2E-01 | 1,3E-01 | 1,9E-03 | 0,789 | 414 | 10 | 1,4E-01 | 1,4E-01 | 1,3E-01 | 2,2E-03 | 0,790 | 362 | 10 |
| 4 | 4,8E-02 | 6,6E-02 | 5,2E-02 | 8,9E-04 | 0,403 | 451 | 14 | 6,3E-02 | 4,9E-02 | 7,2E-02 | 9,7E-04 | 0,403 | 415 | 13 | 7,5E-02 | 1,1E-01 | 9,0E-02 | 1,5E-03 | 0,790 | 544 | 12 | 1,0E-01 | 8,6E-02 | 1,1E-01 | 1,6E-03 | 0,789 | 494 | 12 |
| 7 | 5,2E-02 | 5,8E-02 | 5,7E-02 | 9,0E-04 | 0,403 | 448 | 14 | 5,5E-02 | 4,8E-02 | 6,0E-02 | 8,6E-04 | 0,403 | 467 | 14 | 8,3E-02 | 9,2E-02 | 9,5E-02 | 1,5E-03 | 0,790 | 544 | 12 | 8,9E-02 | 8,1E-02 | 9,8E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 556 | 12 |
| 9 | 5,1E-02 | 4,3E-02 | 6,0E-02 | 8,3E-04 | 0,403 | 487 | 15 | 4,5E-02 | 5,8E-02 | 5,2E-02 | 8,2E-04 | 0,403 | 489 | 15 | 8,5E-02 | 6,6E-02 | 8,8E-02 | 1,3E-03 | 0,791 | 618 | 14 | 7,5E-02 | 9,1E-02 | 8,3E-02 | 1,3E-03 | 0,789 | 598 | 13 |
| 11 | 4,6E-02 | 4,5E-02 | 4,4E-02 | 7,2E-04 | 0,403 | 558 | 16 | 5,0E-02 | 5,6E-02 | 5,2E-02 | 8,4E-04 | 0,404 | 483 | 14 | 7,3E-02 | 7,3E-02 | 6,8E-02 | 1,1E-03 | 0,789 | 688 | 14 | 7,9E-02 | 8,6E-02 | 8,3E-02 | 1,3E-03 | 0,790 | 600 | 13 |
| 14 | 3,9E-02 | 4,0E-02 | 4,7E-02 | 6,8E-04 | 0,403 | 596 | 18 | 4,6E-02 | 5,3E-02 | 4,1E-02 | 7,4E-04 | 0,403 | 545 | 16 | 5,6E-02 | 5,6E-02 | 6,9E-02 | 9,7E-04 | 0,790 | 812 | 15 | 7,3E-02 | 7,8E-02 | 6,9E-02 | 1,2E-03 | 0,789 | 678 | 14 |
| 16 | 3,8E-02 | 3,6E-02 | 4,3E-02 | 6,3E-04 | 0,403 | 638 | 17 | | | | | | | | 6,0E-02 | 5,6E-02 | 6,6E-02 | 9,8E-04 | 0,789 | 808 | 15 | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | 4,9E-02 | 4,1E-02 | 3,4E-02 | 6,9E-04 | 0,402 | 583 | 17 | | | | | | | | 7,1E-02 | 5,5E-02 | 6,6E-02 | 1,1E-03 | 0,788 | 740 | 15 |
| 21 | | | | | | | | 3,2E-02 | 3,9E-02 | 5,9E-02 | 7,2E-04 | 0,402 | 559 | 17 | | | | | | | | 5,3E-02 | 6,7E-02 | 7,3E-02 | 1,1E-03 | 0,788 | 734 | 15 |
| 23 | | | | | | | | 2,8E-02 | 3,2E-02 | 3,8E-02 | 5,4E-04 | 0,391 | 726 | 16 | | | | | | | | 4,8E-02 | 5,1E-02 | 5,8E-02 | 8,8E-04 | 0,777 | 888 | 15 |
| 36 | | | | | | | | 2,9E-02 | 2,7E-02 | 2,9E-02 | 4,7E-04 | 0,391 | 831 | 18 | | | | | | | | 4,8E-02 | 4,8E-02 | 4,9E-02 | 8,0E-04 | 0,776 | 966 | 16 |
| 39 | | | | | | | | 3,2E-02 | 2,7E-02 | 2,6E-02 | 4,7E-04 | 0,391 | 838 | 18 | | | | | | | | 5,2E-02 | 4,6E-02 | 4,6E-02 | 7,9E-04 | 0,776 | 977 | 16 |
| 43 | | | | | | | | 2,4E-02 | 3,0E-02 | 2,7E-02 | 4,5E-04 | 0,391 | 867 | 18 | | | | | | | | 4,5E-02 | 4,9E-02 | 4,5E-02 | 7,7E-04 | 0,777 | 1009 | 16 |
| 50 | | | | | | | | 2,6E-02 | 2,8E-02 | 2,5E-02 | 4,4E-04 | 0,392 | 896 | 19 | | | | | | | | 4,4E-02 | 4,9E-02 | 4,2E-02 | 7,5E-04 | 0,778 | 1034 | 16 |
| 57 | | | | | | | | 2,5E-02 | 2,9E-02 | 2,8E-02 | 4,5E-04 | 0,391 | 866 | 19 | | | | | | | | 4,4E-02 | 4,9E-02 | 4,7E-02 | 7,8E-04 | 0,779 | 1000 | 16 |
| 64 | | | | | | | | 2,2E-02 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 4,3E-04 | 0,392 | 903 | 19 | | | | | | | | 3,9E-02 | 4,5E-02 | 5,0E-02 | 7,4E-04 | 0,777 | 1048 | 17 |
| 72 | | | | | | | | 2,3E-02 | 2,6E-02 | 2,7E-02 | 4,2E-04 | 0,392 | 932 | 19 | | | | | | | | 4,0E-02 | 4,5E-02 | 4,5E-02 | 7,2E-04 | 0,778 | 1083 | 17 |
| 78 | | | | | | | | 2,3E-02 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 4,1E-04 | 0,391 | 959 | 20 | | | | | | | | 3,8E-02 | 4,3E-02 | 4,4E-02 | 7,0E-04 | 0,777 | 1118 | 17 |
| 84 | | | | | | | | 2,3E-02 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 4,1E-04 | 0,394 | 959 | 20 | | | | | | | | 3,9E-02 | 4,4E-02 | 4,4E-02 | 7,0E-04 | 0,785 | 1120 | 17 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 6,0E-02 | 5,5E-02 | 6,4E-02 | 9,6E-04 | 0,403 | 419 | 14 | 7,3E-02 | 6,7E-02 | 6,0E-02 | 1,1E-03 | 0,404 | 382 | 14 | 9,0E-02 | 9,0E-02 | 1,0E-01 | 1,5E-03 | 0,793 | 520 | 13 | 1,2E-01 | 1,0E-01 | 9,5E-02 | 1,7E-03 | 0,792 | 472 | 13 |
| 4 | 3,8E-02 | 5,3E-02 | 4,3E-02 | 7,2E-04 | 0,403 | 558 | 18 | 5,1E-02 | 4,1E-02 | 6,1E-02 | 8,1E-04 | 0,403 | 498 | 17 | 6,1E-02 | 8,8E-02 | 7,5E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 658 | 16 | 8,4E-02 | 7,4E-02 | 9,5E-02 | 1,3E-03 | 0,792 | 592 | 15 |
| 7 | 4,1E-02 | 4,5E-02 | 4,7E-02 | 7,2E-04 | 0,403 | 562 | 18 | 4,4E-02 | 4,0E-02 | 4,8E-02 | 7,0E-04 | 0,403 | 576 | 18 | 6,8E-02 | 7,4E-02 | 7,9E-02 | 1,2E-03 | 0,793 | 666 | 16 | 7,3E-02 | 6,8E-02 | 8,1E-02 | 1,2E-03 | 0,793 | 674 | 16 |
| 9 | 3,9E-02 | 3,2E-02 | 4,6E-02 | 6,3E-04 | 0,403 | 639 | 21 | 3,7E-02 | 4,5E-02 | 4,1E-02 | 6,5E-04 | 0,402 | 620 | 20 | 6,8E-02 | 5,1E-02 | 6,8E-02 | 1,0E-03 | 0,792 | 791 | 18 | 6,3E-02 | 7,2E-02 | 6,9E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 736 | 17 |
| 11 | 3,5E-02 | 3,4E-02 | 3,3E-02 | 5,5E-04 | 0,403 | 739 | 21 | 4,0E-02 | 4,3E-02 | 4,1E-02 | 6,6E-04 | 0,403 | 612 | 19 | 5,8E-02 | 5,7E-02 | 5,3E-02 | 9,0E-04 | 0,792 | 876 | 19 | 6,5E-02 | 6,9E-02 | 6,8E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 739 | 17 |
| 14 | 2,7E-02 | 2,8E-02 | 3,4E-02 | 4,7E-04 | 0,403 | 848 | 25 | 3,3E-02 | 4,0E-02 | 3,2E-02 | 5,6E-04 | 0,403 | 720 | 22 | 4,2E-02 | 4,2E-02 | 5,4E-02 | 7,4E-04 | 0,792 | 1073 | 21 | 5,6E-02 | 6,2E-02 | 5,6E-02 | 9,2E-04 | 0,792 | 857 | 19 |
| 16 | 2,7E-02 | 2,6E-02 | 3,2E-02 | 4,6E-04 | 0,403 | 870 | 22 | | | | | | | | 4,7E-02 | 4,2E-02 | 5,1E-02 | 7,5E-04 | 0,792 | 1053 | 19 | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | 3,5E-02 | 3,1E-02 | 2,5E-02 | 5,1E-04 | 0,403 | 796 | 23 | | | | | | | | 5,4E-02 | 4,4E-02 | 5,0E-02 | 8,2E-04 | 0,792 | 965 | 20 |
| 21 | | | | | | | | 2,2E-02 | 3,1E-02 | 4,3E-02 | 5,3E-04 | 0,403 | 758 | 22 | | | | | | | | 4,1E-02 | 5,4E-02 | 5,5E-02 | 8,4E-04 | 0,791 | 948 | 20 |
| 23 | | | | | | | | 2,1E-02 | 2,4E-02 | 3,1E-02 | 4,2E-04 | 0,404 | 954 | 20 | | | | | | | | 3,9E-02 | 4,0E-02 | 4,7E-02 | 7,0E-04 | 0,792 | 1129 | 19 |
| 36 | | | | | | | | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 2,1E-02 | 3,6E-04 | 0,403 | 1136 | 23 | | | | | | | | 3,7E-02 | 3,9E-02 | 3,8E-02 | 6,3E-04 | 0,792 | 1257 | 21 |
| 39 | | | | | | | | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 3,5E-04 | 0,404 | 1151 | 24 | | | | | | | | 3,9E-02 | 3,7E-02 | 3,7E-02 | 6,2E-04 | 0,792 | 1268 | 21 |
| 43 | | | | | | | | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 3,4E-04 | 0,404 | 1192 | 24 | | | | | | | | 3,6E-02 | 3,7E-02 | 3,6E-02 | 6,1E-04 | 0,792 | 1309 | 21 |
| 50 | | | | | | | | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 3,2E-04 | 0,403 | 1255 | 25 | | | | | | | | 3,6E-02 | 3,7E-02 | 3,2E-02 | 5,8E-04 | 0,792 | 1360 | 21 |
| 57 | | | | | | | | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 3,4E-04 | 0,404 | 1204 | 24 | | | | | | | | 3,6E-02 | 3,8E-02 | 3,5E-02 | 6,1E-04 | 0,792 | 1308 | 21 |
| 64 | | | | | | | | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 3,2E-04 | 0,403 | 1275 | 25 | | | | | | | | 3,0E-02 | 3,5E-02 | 3,7E-02 | 5,7E-04 | 0,791 | 1390 | 22 |
| 72 | | | | | | | | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 3,1E-04 | 0,404 | 1313 | 25 | | | | | | | | 3,2E-02 | 3,4E-02 | 3,4E-02 | 5,5E-04 | 0,792 | 1429 | 22 |
| 78 | | | | | | | | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,403 | 1375 | 26 | | | | | | | | 3,0E-02 | 3,3E-02 | 3,2E-02 | 5,3E-04 | 0,792 | 1501 | 22 |
| 84 | | | | | | | | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,403 | 1371 | 24 | | | | | | | | 3,0E-02 | 3,3E-02 | 3,2E-02 | 5,3E-04 | 0,792 | 1501 | 21 |



Annexe 24 – Résultats d'essais à 35°C et 20% d'HR – Essais à 15 °C

| Date | | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------------|---------|---------|-------|------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|------|----|--|
| | | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | |
| Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | | |
| 1 | 4,2E-02 | 3,9E-02 | 3,5E-02 | 6,3E-04 | 0,403 | 639 | 21 | 4,9E-02 | 7,2E-02 | 3,5E-02 | 8,5E-04 | 0,403 | 473 | 17 | 5,8E-02 | 5,8E-02 | 5,2E-02 | 9,2E-04 | 0,788 | 861 | 18 | 7,6E-02 | 1,0E-01 | 5,2E-02 | 1,3E-03 | 0,789 | 628 | 15 | |
| 5 | 4,1E-02 | 2,8E-02 | 2,4E-02 | 5,1E-04 | 0,404 | 795 | 26 | 4,1E-02 | 2,7E-02 | 5,2E-02 | 6,6E-04 | 0,404 | 616 | 21 | 5,8E-02 | 4,3E-02 | 3,9E-02 | 7,6E-04 | 0,789 | 1035 | 22 | 5,1E-02 | 4,6E-02 | 8,4E-02 | 9,9E-04 | 0,788 | 799 | 17 | |
| 8 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-04 | 0,403 | 1312 | 33 | 3,5E-02 | 1,4E-02 | 3,3E-02 | 4,5E-04 | 0,403 | 897 | 24 | 3,3E-02 | 2,8E-02 | 3,0E-02 | 5,0E-04 | 0,789 | 1583 | 26 | 5,5E-02 | 2,7E-02 | 4,7E-02 | 7,1E-04 | 0,789 | 1112 | 20 | |
| 12 | 1,3E-02 | 4,6E-02 | 2,3E-02 | 4,4E-04 | 0,403 | 906 | 28 | 2,3E-02 | 2,8E-02 | 2,3E-02 | 4,1E-04 | 0,402 | 993 | 23 | 2,4E-02 | 5,6E-02 | 3,1E-02 | 6,1E-04 | 0,788 | 1297 | 25 | 3,7E-02 | 4,3E-02 | 3,7E-02 | 6,4E-04 | 0,787 | 1225 | 19 | |
| 15 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,6E-04 | 0,403 | 1545 | 35 | 2,2E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-02 | 3,8E-04 | 0,403 | 1051 | 24 | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 2,7E-02 | 4,3E-04 | 0,789 | 1843 | 28 | 3,7E-02 | 3,1E-02 | 4,5E-02 | 6,2E-04 | 0,789 | 1277 | 20 | |
| 18 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 2,3E-04 | 0,404 | 1746 | 35 | 2,4E-02 | 1,9E-02 | 2,5E-02 | 3,7E-04 | 0,403 | 1082 | 24 | 2,4E-02 | 2,8E-02 | 2,1E-02 | 4,0E-04 | 0,790 | 1993 | 28 | 4,1E-02 | 3,3E-02 | 3,8E-02 | 6,1E-04 | 0,789 | 1296 | 20 | |
| 27 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 9,9E-03 | 1,9E-04 | 0,403 | 2135 | 39 | 1,8E-02 | 2,4E-02 | 2,1E-02 | 3,4E-04 | 0,403 | 1174 | 25 | 1,9E-02 | 2,3E-02 | 1,8E-02 | 3,3E-04 | 0,789 | 2403 | 31 | 3,0E-02 | 3,7E-02 | 3,4E-02 | 5,5E-04 | 0,789 | 1426 | 20 | |
| 32 | 2,3E-02 | 1,2E-02 | 9,4E-03 | 2,4E-04 | 0,391 | 1613 | 32 | 2,2E-02 | 2,4E-02 | 1,4E-02 | 3,3E-04 | 0,391 | 1200 | 25 | 3,5E-02 | 2,2E-02 | 1,8E-02 | 4,1E-04 | 0,766 | 1847 | 25 | 3,5E-02 | 3,9E-02 | 2,6E-02 | 5,4E-04 | 0,766 | 1420 | 21 | |
| 40 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 2,1E-04 | 0,391 | 1876 | 38 | 2,2E-02 | 1,6E-02 | 1,9E-02 | 3,2E-04 | 0,391 | 1227 | 26 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 2,2E-02 | 3,6E-04 | 0,767 | 2153 | 30 | 3,6E-02 | 2,7E-02 | 3,1E-02 | 5,3E-04 | 0,767 | 1448 | 21 | |
| 46 | 9,5E-03 | 1,2E-02 | 7,9E-03 | 1,7E-04 | 0,392 | 2286 | 42 | 2,1E-02 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 3,1E-04 | 0,392 | 1246 | 26 | 1,7E-02 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 3,1E-04 | 0,767 | 2486 | 32 | 3,5E-02 | 2,7E-02 | 3,1E-02 | 5,2E-04 | 0,767 | 1470 | 21 | |
| 54 | 9,2E-03 | 8,7E-03 | 9,2E-03 | 1,6E-04 | 0,392 | 2468 | 45 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 1,4E-02 | 2,9E-04 | 0,392 | 1348 | 28 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 2,9E-04 | 0,767 | 2619 | 34 | 3,2E-02 | 3,1E-02 | 2,4E-02 | 4,9E-04 | 0,767 | 1550 | 22 | |
| 61 | 1,2E-02 | 7,0E-03 | 1,6E-02 | 2,0E-04 | 0,392 | 1916 | 38 | 1,7E-02 | 2,5E-02 | 1,5E-02 | 3,2E-04 | 0,392 | 1227 | 26 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 2,5E-02 | 3,5E-04 | 0,767 | 2208 | 30 | 2,9E-02 | 3,9E-02 | 2,7E-02 | 5,4E-04 | 0,767 | 1428 | 21 | |
| 75 | 8,2E-03 | 1,1E-02 | 9,1E-03 | 1,6E-04 | 0,393 | 2397 | 41 | 1,1E-02 | 1,6E-02 | 2,0E-02 | 2,7E-04 | 0,393 | 1456 | 28 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 2,9E-04 | 0,769 | 2686 | 32 | 2,0E-02 | 2,6E-02 | 3,4E-02 | 4,5E-04 | 0,769 | 1692 | 23 | |
| 88 | 1,0E-02 | 8,0E-03 | 8,0E-03 | 1,5E-04 | 0,393 | 2565 | 44 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,393 | 1533 | 29 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,8E-04 | 0,768 | 2725 | 34 | 2,2E-02 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 4,3E-04 | 0,768 | 1774 | 24 | |
| 103 | 7,4E-03 | 1,2E-02 | 7,1E-03 | 1,5E-04 | 0,392 | 2541 | 44 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,392 | 1612 | 29 | 1,4E-02 | 2,0E-02 | 1,3E-02 | 2,8E-04 | 0,766 | 2781 | 34 | 2,6E-02 | 2,5E-02 | 2,2E-02 | 4,1E-04 | 0,766 | 1856 | 24 | |
| 112 | 7,6E-03 | 8,1E-03 | 7,8E-03 | 1,4E-04 | 0,392 | 2831 | 47 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 2,5E-04 | 0,392 | 1571 | 29 | 1,3E-02 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 2,5E-04 | 0,766 | 3014 | 35 | 2,8E-02 | 2,6E-02 | 2,1E-02 | 4,2E-04 | 0,767 | 1824 | 23 | |
| 123 | 8,5E-03 | 7,2E-03 | 1,0E-02 | 1,5E-04 | 0,409 | 2709 | 44 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,409 | 1572 | 28 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 2,8E-04 | 0,799 | 2835 | 33 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 4,4E-04 | 0,800 | 1798 | 23 | |
| Date | | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | |
| Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | | |
| 1 | 2,8E-02 | 2,6E-02 | 2,3E-02 | 4,2E-04 | 0,403 | 969 | 27 | 3,8E-02 | 5,1E-02 | 2,6E-02 | 6,3E-04 | 0,404 | 643 | 21 | 4,0E-02 | 4,2E-02 | 3,6E-02 | 6,4E-04 | 0,792 | 1231 | 23 | 6,2E-02 | 7,4E-02 | 4,0E-02 | 9,7E-04 | 0,792 | 820 | 18 | |
| 5 | 2,5E-02 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 3,0E-04 | 0,403 | 1340 | 33 | 2,6E-02 | 1,7E-02 | 4,2E-02 | 4,7E-04 | 0,403 | 866 | 25 | 3,8E-02 | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 4,9E-04 | 0,792 | 1602 | 28 | 3,6E-02 | 3,1E-02 | 6,1E-02 | 7,0E-04 | 0,792 | 1135 | 22 | |
| 8 | 9,8E-03 | 8,7E-03 | 1,0E-02 | 1,6E-04 | 0,403 | 2569 | 48 | 2,2E-02 | 8,6E-03 | 2,2E-02 | 2,9E-04 | 0,403 | 1404 | 29 | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 3,0E-04 | 0,791 | 2675 | 36 | 3,8E-02 | 2,0E-02 | 3,4E-02 | 5,0E-04 | 0,792 | 1584 | 24 | |
| 12 | 6,8E-03 | 3,0E-02 | 1,2E-02 | 2,6E-04 | 0,404 | 1531 | 34 | 1,4E-02 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,404 | 1537 | 27 | 1,4E-02 | 4,0E-02 | 1,9E-02 | 3,9E-04 | 0,792 | 2015 | 31 | 2,5E-02 | 3,2E-02 | 2,6E-02 | 4,5E-04 | 0,792 | 1742 | 22 | |
| 15 | 7,8E-03 | 7,2E-03 | 7,4E-03 | 1,2E-04 | 0,403 | 3289 | 49 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 2,1E-02 | 2,4E-04 | 0,403 | 1664 | 28 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 2,4E-04 | 0,792 | 3310 | 37 | 2,4E-02 | 2,0E-02 | 3,5E-02 | 4,3E-04 | 0,791 | 1830 | 23 | |
| 18 | 7,3E-03 | 7,0E-03 | 5,6E-03 | 1,1E-04 | 0,403 | 3705 | 50 | 1,8E-02 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 2,4E-04 | 0,403 | 1705 | 28 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,792 | 3570 | 37 | 3,2E-02 | 2,2E-02 | 2,4E-02 | 4,3E-04 | 0,792 | 1853 | 23 | |
| 27 | 4,8E-03 | 6,3E-03 | 4,4E-03 | 8,5E-05 | 0,403 | 4763 | 61 | 9,7E-03 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,403 | 1894 | 29 | 1,0E-02 | 1,3E-02 | 9,8E-03 | 1,8E-04 | 0,792 | 4390 | 41 | 1,9E-02 | 2,7E-02 | 2,4E-02 | 3,8E-04 | 0,792 | 2091 | 24 | |
| 32 | 1,4E-02 | 5,6E-03 | 4,2E-03 | 1,3E-04 | 0,388 | 3041 | 41 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 7,3E-03 | 2,0E-04 | 0,389 | 1967 | 30 | 2,3E-02 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 2,5E-04 | 0,762 | 3023 | 29 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 1,6E-02 | 3,7E-04 | 0,763 | 2089 | 24 | |
| 40 | 4,3E-03 | 4,8E-03 | 6,2E-03 | 9,0E-05 | 0,389 | 4322 | 56 | 1,3E-02 | 8,6E-03 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,389 | 2032 | 30 | 9,8E-03 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,763 | 4003 | 40 | 2,4E-02 | 1,7E-02 | 2,2E-02 | 3,6E-04 | 0,762 | 2144 | 24 | |
| 46 | 4,0E-03 | 5,4E-03 | 3,8E-03 | 7,7E-05 | 0,389 | 5033 | 70 | 1,2E-02 | 8,1E-03 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,389 | 2086 | 31 | 9,0E-03 | 1,1E-02 | 7,7E-03 | 1,6E-04 | 0,762 | 4667 | 45 | 2,3E-02 | 1,7E-02 | 2,2E-02 | 3,5E-04 | 0,763 | 2189 | 25 | |
| 54 | 3,9E-03 | 3,8E-03 | 4,0E-03 | 6,9E-05 | 0,389 | 5673 | 79 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 6,7E-03 | 1,7E-04 | 0,389 | 2289 | 33 | 9,0E-03 | 8,6E-03 | 8,6E-03 | 1,5E-04 | 0,762 | 4966 | 48 | 2,4E-02 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 3,3E-04 | 0,763 | 2319 | 26 | |
| 61 | 5,2E-03 | 4,4E-03 | 8,4E-03 | 1,1E-04 | 0,389 | 3684 | 58 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 7,3E-03 | 1,9E-04 | 0,389 | 2031 | 31 | 1,1E-02 | 7,3E-03 | 1,5E-02 | 1,9E-04 | 0,763 | 3978 | 40 | 2,1E-02 | 2,7E-02 | 1,6E-02 | 3,6E-04 | 0,762 | 2114 | 25 | |
| 75 | 3,6E-03 | 4,9E-03 | 3,8E-03 | 7,2E-05 | 0,390 | 5432 | 67 | 5,2E-03 | 9,9E-03 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,390 | 2514 | 34 | 7,7E-03 | 1,0E-02 | 8,6E-03 | 1,5E-04 | 0,765 | 4959 | 44 | 1,1E-02 | 1,8E-02 | 2,3E-02 | 2,9E-04 | 0,765 | 2602 | 27 | |
| 88 | 4,4E-03 | 3,6E-03 | 3,7E-03 | 6,9E-05 | 0,390 | 5688 | 75 | 5,9E-03 | 9,0E-03 | 1,0E-02 | 1,4E-04 | 0,390 | 2752 | 36 | 9,5E-03 | 7,5E-03 | 8,1E-03 | 1,5E-04 | 0,764 | 5197 | 47 | 1,3E-02 | 1,6E-02 | 2,0E-02 | 2,7E-04 | 0,765 | 2783 | 28 | |
| 103 | 3,6E-03 | 5,6E-03 | 3,8E-03 | 7,6E-05 | 0,388 | 5109 | 75 | 8,1E-03 | 8,7E-03 | 7,2E-03 | 1,4E-04 | 0,388 | 2869 | 36 | 7,0E-03 | 1,1E-02 | 6,8E-03 | 1,5E-04 | 0,762 | 5235 | 48 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 2,6E-04 | 0,762 | 2917 | 28 | |
| 112 | 3,5E-03 | 3,5E-03 | 3,6E-03 | 6,2E-05 | 0,388 | 6256 | 84 | 1,1E-02 | 8,6E-03 | 5,4E-03 | 1,4E-04 | 0,389 | 2737 | 34 | 6,5E-03 | 8,6E-03 | 7,3E-03 | 1,3E-04 | 0,761 | 5809 | 51 | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 1,2E-02 | 2,7E-04 | 0,762 | 2821 | 27 | |
| 123 | 3,9E-03 | 3,7E-03 | 4,8E-03 | 7,3E-05 | 0,399 | 5456 | 72 | 8,0E-03 | 8,3E-03 | 1,1E-02 | 1,5E-04 | 0,399 | 2631 | 33 | 8,3E-03 | 7,3E-03 | 9,9E-03 | 1,5E-04 | 0,785 | 5263 | 45 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 2,9E-04 | 0,784 | 2704 | 26 | |

| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|-----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 3,2E-04 | 0,403 | 1250 | 33 | 3,3E-02 | 4,0E-02 | 2,1E-02 | 5,1E-04 | 0,403 | 783 | 25 | 3,2E-02 | 3,4E-02 | 2,9E-02 | 5,2E-04 | 0,790 | 1519 | 28 | 5,4E-02 | 6,1E-02 | 3,4E-02 | 8,2E-04 | 0,789 | 964 | 22 |
| 5 | 2,0E-02 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 2,3E-04 | 0,404 | 1790 | 40 | 2,0E-02 | 1,3E-02 | 3,6E-02 | 3,7E-04 | 0,403 | 1082 | 29 | 3,0E-02 | 2,1E-02 | 1,9E-02 | 3,9E-04 | 0,790 | 2046 | 33 | 3,0E-02 | 2,4E-02 | 5,0E-02 | 5,7E-04 | 0,789 | 1380 | 25 |
| 8 | 6,7E-03 | 6,2E-03 | 7,0E-03 | 1,1E-04 | 0,403 | 3697 | 65 | 1,7E-02 | 6,9E-03 | 1,8E-02 | 2,3E-04 | 0,403 | 1765 | 33 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,790 | 3553 | 46 | 3,0E-02 | 1,7E-02 | 2,9E-02 | 4,1E-04 | 0,790 | 1914 | 27 |
| 12 | 4,8E-03 | 2,4E-02 | 7,7E-03 | 2,0E-04 | 0,403 | 2030 | 42 | 1,0E-02 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-04 | 0,403 | 1928 | 30 | 1,0E-02 | 3,2E-02 | 1,4E-02 | 3,1E-04 | 0,790 | 2564 | 37 | 1,9E-02 | 2,8E-02 | 2,2E-02 | 3,8E-04 | 0,790 | 2093 | 25 |
| 15 | 5,3E-03 | 5,1E-03 | 5,2E-03 | 8,5E-05 | 0,403 | 4741 | 66 | 9,8E-03 | 7,7E-03 | 1,8E-02 | 1,9E-04 | 0,403 | 2085 | 32 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,790 | 4421 | 46 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 3,0E-02 | 3,6E-04 | 0,790 | 2197 | 27 |
| 18 | 5,1E-03 | 4,8E-03 | 4,1E-03 | 7,6E-05 | 0,403 | 5286 | 66 | 1,5E-02 | 8,6E-03 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,403 | 2135 | 31 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 8,7E-03 | 1,7E-04 | 0,790 | 4752 | 46 | 2,8E-02 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 3,6E-04 | 0,790 | 2207 | 26 |
| 27 | 3,9E-03 | 4,4E-03 | 3,8E-03 | 6,6E-05 | 0,403 | 6094 | 84 | 7,0E-03 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,403 | 2403 | 33 | 7,8E-03 | 9,5E-03 | 7,4E-03 | 1,4E-04 | 0,790 | 5831 | 52 | 1,4E-02 | 2,2E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-04 | 0,790 | 2531 | 27 |
| 32 | 1,1E-02 | 4,4E-03 | 3,7E-03 | 1,0E-04 | 0,388 | 3753 | 49 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 5,4E-03 | 1,6E-04 | 0,389 | 2478 | 34 | 1,9E-02 | 1,0E-02 | 7,8E-03 | 2,0E-04 | 0,761 | 3749 | 34 | 2,1E-02 | 2,1E-02 | 1,3E-02 | 3,0E-04 | 0,761 | 2531 | 27 |
| 40 | 3,9E-03 | 3,6E-03 | 4,3E-03 | 6,9E-05 | 0,388 | 5596 | 76 | 1,0E-02 | 6,4E-03 | 1,0E-02 | 1,5E-04 | 0,388 | 2587 | 34 | 7,4E-03 | 8,3E-03 | 8,8E-03 | 1,4E-04 | 0,761 | 5309 | 49 | 1,9E-02 | 1,4E-02 | 1,9E-02 | 2,9E-04 | 0,761 | 2605 | 28 |
| 46 | 3,7E-03 | 3,8E-03 | 3,9E-03 | 6,7E-05 | 0,389 | 5782 | 98 | 9,5E-03 | 6,0E-03 | 1,0E-02 | 1,4E-04 | 0,388 | 2691 | 35 | 6,7E-03 | 8,6E-03 | 5,7E-03 | 1,2E-04 | 0,761 | 6183 | 58 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 1,9E-02 | 2,8E-04 | 0,761 | 2676 | 28 |
| 54 | 3,6E-03 | 3,7E-03 | 3,9E-03 | 6,6E-05 | 0,388 | 5876 | 109 | 1,1E-02 | 7,6E-03 | 4,9E-03 | 1,3E-04 | 0,388 | 2936 | 38 | 6,9E-03 | 6,5E-03 | 6,4E-03 | 1,2E-04 | 0,761 | 6566 | 63 | 2,0E-02 | 1,6E-02 | 1,1E-02 | 2,7E-04 | 0,761 | 2831 | 29 |
| 61 | 3,8E-03 | 4,8E-03 | 6,2E-03 | 8,7E-05 | 0,389 | 4483 | 78 | 9,1E-03 | 1,2E-02 | 5,3E-03 | 1,5E-04 | 0,388 | 2588 | 36 | 8,0E-03 | 5,8E-03 | 1,1E-02 | 1,5E-04 | 0,760 | 5184 | 51 | 1,8E-02 | 2,2E-02 | 1,3E-02 | 3,0E-04 | 0,760 | 2571 | 28 |
| 75 | 3,5E-03 | 3,6E-03 | 3,5E-03 | 6,2E-05 | 0,389 | 6323 | 93 | 3,7E-03 | 7,7E-03 | 9,8E-03 | 1,2E-04 | 0,390 | 3249 | 39 | 5,9E-03 | 7,6E-03 | 6,5E-03 | 1,2E-04 | 0,763 | 6495 | 58 | 8,6E-03 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 2,4E-04 | 0,763 | 3196 | 30 |
| 88 | 3,5E-03 | 3,7E-03 | 3,7E-03 | 6,4E-05 | 0,390 | 6131 | 104 | 4,3E-03 | 6,8E-03 | 7,7E-03 | 1,1E-04 | 0,389 | 3658 | 42 | 7,2E-03 | 5,6E-03 | 6,2E-03 | 1,1E-04 | 0,763 | 6862 | 62 | 1,0E-02 | 1,3E-02 | 1,6E-02 | 2,2E-04 | 0,762 | 3466 | 31 |
| 103 | 3,7E-03 | 3,9E-03 | 4,0E-03 | 6,8E-05 | 0,388 | 5672 | 101 | 5,9E-03 | 6,7E-03 | 5,3E-03 | 1,0E-04 | 0,388 | 3837 | 42 | 5,3E-03 | 8,5E-03 | 5,1E-03 | 1,1E-04 | 0,760 | 6836 | 62 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-04 | 0,760 | 3621 | 32 |
| 112 | 3,5E-03 | 3,4E-03 | 3,6E-03 | 6,1E-05 | 0,388 | 6340 | 113 | 9,2E-03 | 6,5E-03 | 4,0E-03 | 1,1E-04 | 0,388 | 3507 | 40 | 4,9E-03 | 6,6E-03 | 5,6E-03 | 1,0E-04 | 0,760 | 7565 | 68 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 9,6E-03 | 2,2E-04 | 0,760 | 3450 | 30 |
| 123 | 3,2E-03 | 3,2E-03 | 3,4E-03 | 5,7E-05 | 0,331 | 5764 | 99 | 5,8E-03 | 5,9E-03 | 7,6E-03 | 1,1E-04 | 0,330 | 3025 | 38 | 5,6E-03 | 4,8E-03 | 6,8E-03 | 1,0E-04 | 0,632 | 6217 | 59 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 2,1E-04 | 0,631 | 3020 | 29 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|-----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 2,6E-04 | 0,398 | 1509 | 39 | 2,9E-02 | 3,4E-02 | 1,8E-02 | 4,4E-04 | 0,396 | 897 | 29 | 2,7E-02 | 2,9E-02 | 2,4E-02 | 4,4E-04 | 0,777 | 1772 | 33 | 4,9E-02 | 5,3E-02 | 3,0E-02 | 7,2E-04 | 0,776 | 1077 | 25 |
| 5 | 1,6E-02 | 9,3E-03 | 7,9E-03 | 1,8E-04 | 0,398 | 2212 | 48 | 1,6E-02 | 1,0E-02 | 3,1E-02 | 3,1E-04 | 0,397 | 1276 | 33 | 2,4E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 3,2E-04 | 0,777 | 2447 | 39 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 4,3E-02 | 4,8E-04 | 0,777 | 1610 | 29 |
| 8 | 5,7E-03 | 5,3E-03 | 5,8E-03 | 9,2E-05 | 0,399 | 4341 | 83 | 1,4E-02 | 6,0E-03 | 1,5E-02 | 1,9E-04 | 0,398 | 2079 | 38 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,778 | 4208 | 56 | 2,5E-02 | 1,5E-02 | 2,5E-02 | 3,5E-04 | 0,778 | 2217 | 31 |
| 12 | 4,7E-03 | 2,0E-02 | 5,8E-03 | 1,6E-04 | 0,397 | 2421 | 51 | 8,5E-03 | 1,4E-02 | 9,8E-03 | 1,8E-04 | 0,399 | 2245 | 34 | 8,8E-03 | 2,6E-02 | 1,1E-02 | 2,5E-04 | 0,779 | 3138 | 44 | 1,6E-02 | 2,5E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,779 | 2372 | 29 |
| 15 | 4,7E-03 | 4,4E-03 | 4,7E-03 | 7,5E-05 | 0,400 | 5306 | 82 | 8,0E-03 | 6,4E-03 | 1,6E-02 | 1,6E-04 | 0,399 | 2428 | 37 | 9,1E-03 | 9,0E-03 | 9,4E-03 | 1,5E-04 | 0,778 | 5171 | 56 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 2,7E-02 | 3,1E-04 | 0,778 | 2494 | 30 |
| 18 | 4,3E-03 | 4,2E-03 | 3,9E-03 | 6,8E-05 | 0,399 | 5911 | 81 | 1,4E-02 | 7,2E-03 | 8,7E-03 | 1,6E-04 | 0,399 | 2475 | 36 | 9,0E-03 | 9,0E-03 | 7,4E-03 | 1,4E-04 | 0,778 | 5613 | 55 | 2,5E-02 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 3,1E-04 | 0,776 | 2495 | 29 |
| 27 | 4,0E-03 | 4,1E-03 | 4,0E-03 | 6,6E-05 | 0,400 | 6071 | 102 | 5,7E-03 | 1,1E-02 | 9,0E-03 | 1,4E-04 | 0,399 | 2804 | 38 | 6,7E-03 | 8,0E-03 | 6,3E-03 | 1,1E-04 | 0,778 | 6763 | 64 | 1,2E-02 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 2,7E-04 | 0,777 | 2874 | 31 |
| 32 | 9,0E-03 | 3,7E-03 | 3,9E-03 | 9,1E-05 | 0,384 | 4225 | 59 | 1,0E-02 | 9,3E-03 | 4,5E-03 | 1,3E-04 | 0,383 | 2918 | 39 | 1,6E-02 | 9,0E-03 | 6,7E-03 | 1,7E-04 | 0,748 | 4340 | 39 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,1E-02 | 2,6E-04 | 0,746 | 2903 | 31 |
| 40 | 4,0E-03 | 3,6E-03 | 3,7E-03 | 6,6E-05 | 0,384 | 5794 | 94 | 8,4E-03 | 5,3E-03 | 8,6E-03 | 1,3E-04 | 0,383 | 3043 | 40 | 6,2E-03 | 7,2E-03 | 7,5E-03 | 1,2E-04 | 0,750 | 6122 | 60 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 1,6E-02 | 2,5E-04 | 0,748 | 2975 | 32 |
| 46 | 3,9E-03 | 3,5E-03 | 4,2E-03 | 6,8E-05 | 0,383 | 5618 | 115 | 7,7E-03 | 5,0E-03 | 8,6E-03 | 1,2E-04 | 0,383 | 3179 | 41 | 5,7E-03 | 7,4E-03 | 5,3E-03 | 1,1E-04 | 0,749 | 6942 | 71 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 2,5E-04 | 0,747 | 3029 | 32 |
| 54 | 3,8E-03 | 4,0E-03 | 4,1E-03 | 7,0E-05 | 0,385 | 5522 | 124 | 9,3E-03 | 6,1E-03 | 4,1E-03 | 1,1E-04 | 0,383 | 3477 | 45 | 5,9E-03 | 5,5E-03 | 5,4E-03 | 9,9E-05 | 0,748 | 7548 | 79 | 1,8E-02 | 1,4E-02 | 9,6E-03 | 2,3E-04 | 0,748 | 3229 | 33 |
| 61 | 3,7E-03 | 5,2E-03 | 5,0E-03 | 8,1E-05 | 0,384 | 4736 | 96 | 7,8E-03 | 1,0E-02 | 4,4E-03 | 1,3E-04 | 0,383 | 3032 | 42 | 6,9E-03 | 5,9E-03 | 9,2E-03 | 1,3E-04 | 0,747 | 5795 | 61 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 1,1E-02 | 2,5E-04 | 0,746 | 2928 | 32 |
| 75 | 3,6E-03 | 3,3E-03 | 3,6E-03 | 6,2E-05 | 0,385 | 6218 | 110 | 3,3E-03 | 6,4E-03 | 8,3E-03 | 1,0E-04 | 0,384 | 3771 | 47 | 5,3E-03 | 6,6E-03 | 5,6E-03 | 1,0E-04 | 0,753 | 7312 | 71 | 7,4E-03 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 2,1E-04 | 0,751 | 3601 | 35 |
| 88 | 3,4E-03 | 3,9E-03 | 3,9E-03 | 6,6E-05 | 0,384 | 5833 | 119 | 3,7E-03 | 5,6E-03 | 6,3E-03 | 8,8E-05 | 0,384 | 4360 | 51 | 6,3E-03 | 4,8E-03 | 5,4E-03 | 9,7E-05 | 0,750 | 7719 | 75 | 8,7E-03 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,750 | 3945 | 36 |
| 103 | 4,0E-03 | 3,5E-03 | 4,3E-03 | 6,9E-05 | 0,385 | 5565 | 117 | 4,8E-03 | 5,7E-03 | 4,4E-03 | 8,4E-05 | 0,385 | 4573 | 50 | 5,0E-03 | 7,2E-03 | 5,3E-03 | 1,0E-04 | 0,749 | 7314 | 77 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,8E-04 | 0,749 | 4112 | 37 |
| 112 | 3,7E-03 | 3,6E-03 | 3,8E-03 | 6,5E-05 | 0,384 | 5907 | 127 | 8,0E-03 | 5,4E-03 | 3,4E-03 | 9,5E-05 | 0,384 | 4036 | 48 | 4,8E-03 | 5,7E-03 | 4,9E-03 | 9,1E-05 | 0,750 | 8264 | 83 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 8,4E-03 | 1,9E-04 | 0,749 | 3886 | 35 |
| 123 | 3,3E-03 | 3,6E-03 | 3,2E-03 | 5,9E-05 | 0,335 | 5661 | 115 | 4,7E-03 | 4,7E-03 | 6,2E-03 | 8,8E-05 | 0,334 | 3798 | 45 | 4,8E-03 | 4,4E-03 | 5,9E-03 | 8,8E-05 | 0,662 | 7499 | 73 | 9,7E-03 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,662 | 3646 | 34 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,384 | 1746 | 46 | 2,6E-02 | 3,0E-02 | 1,6E-02 | 3,9E-04 | 0,384 | 987 | 33 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 3,9E-04 | 0,753 | 1939 | 38 | 4,6E-02 | 4,7E-02 | 2,7E-02 | 6,5E-04 | 0,753 | 1152 | 28 |
| 5 | 1,3E-02 | 8,0E-03 | 6,8E-03 | 1,5E-04 | 0,386 | 2533 | 56 | 1,3E-02 | 8,3E-03 | 2,7E-02 | 2,7E-04 | 0,384 | 1442 | 37 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 2,7E-04 | 0,752 | 2764 | 45 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 3,5E-02 | | | | |

Annexe 25 – Résultats d'essais à 35°C et 20% d'HR – Essais à 20 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 6,7E-02 | 6,4E-02 | 3,1E-02 | 8,9E-04 | 0,403 | 454 | 18 | 7,2E-02 | 3,5E-02 | 5,1E-02 | 8,6E-04 | 0,403 | 468 | 17 | 8,3E-02 | 9,1E-02 | 4,8E-02 | 1,2E-03 | 0,789 | 650 | 16 | 7,8E-02 | 7,8E-02 | 9,9E-02 | 1,4E-03 | 0,788 | 566 | 13 |
| 5 | 3,5E-02 | 2,3E-02 | 5,7E-02 | 6,3E-04 | 0,403 | 640 | 22 | 4,0E-02 | 3,6E-02 | 4,0E-02 | 6,4E-04 | 0,403 | 633 | 20 | 4,9E-02 | 4,0E-02 | 8,0E-02 | 9,2E-04 | 0,789 | 856 | 19 | 6,3E-02 | 5,7E-02 | 5,8E-02 | 9,7E-04 | 0,789 | 810 | 16 |
| 8 | 3,5E-02 | 2,4E-02 | 2,2E-02 | 4,4E-04 | 0,403 | 923 | 27 | 2,5E-02 | 4,0E-02 | 2,9E-02 | 5,2E-04 | 0,403 | 781 | 21 | 5,0E-02 | 3,6E-02 | 3,6E-02 | 6,7E-04 | 0,790 | 1188 | 22 | 4,0E-02 | 6,0E-02 | 4,8E-02 | 8,1E-04 | 0,789 | 975 | 18 |
| 12 | 2,8E-02 | 3,5E-02 | 1,4E-02 | 4,2E-04 | 0,403 | 968 | 28 | 3,7E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-02 | 4,8E-04 | 0,403 | 841 | 22 | 3,9E-02 | 5,5E-02 | 2,7E-02 | 6,6E-04 | 0,789 | 1189 | 23 | 5,6E-02 | 3,4E-02 | 4,7E-02 | 7,5E-04 | 0,788 | 1049 | 18 |
| 15 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-02 | 2,9E-04 | 0,403 | 1387 | 33 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 2,8E-02 | 4,7E-04 | 0,403 | 858 | 21 | 2,9E-02 | 2,3E-02 | 3,7E-02 | 4,9E-04 | 0,790 | 1617 | 26 | 4,4E-02 | 4,5E-02 | 4,4E-02 | 7,3E-04 | 0,790 | 1078 | 18 |
| 18 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 2,7E-04 | 0,403 | 1511 | 33 | 2,2E-02 | 2,8E-02 | 2,8E-02 | 4,3E-04 | 0,404 | 944 | 23 | 2,5E-02 | 2,9E-02 | 2,7E-02 | 4,4E-04 | 0,789 | 1782 | 27 | 3,6E-02 | 4,4E-02 | 4,4E-02 | 6,8E-04 | 0,789 | 1159 | 19 |
| 27 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 1,1E-02 | 2,4E-04 | 0,403 | 1700 | 35 | 2,0E-02 | 2,5E-02 | 2,7E-02 | 3,9E-04 | 0,403 | 1021 | 23 | 2,6E-02 | 2,7E-02 | 2,0E-02 | 4,0E-04 | 0,789 | 1967 | 28 | 3,2E-02 | 4,0E-02 | 4,3E-02 | 6,3E-04 | 0,789 | 1251 | 19 |
| 32 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 1,2E-02 | 2,6E-04 | 0,391 | 1504 | 32 | 2,6E-02 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 3,9E-04 | 0,390 | 989 | 23 | 2,8E-02 | 2,8E-02 | 2,0E-02 | 4,1E-04 | 0,766 | 1845 | 26 | 4,2E-02 | 4,0E-02 | 3,5E-02 | 6,3E-04 | 0,767 | 1210 | 19 |
| 40 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,2E-02 | 2,8E-04 | 0,392 | 1384 | 32 | 2,9E-02 | 2,5E-02 | 1,6E-02 | 4,0E-04 | 0,392 | 989 | 24 | 2,8E-02 | 2,9E-02 | 2,2E-02 | 4,6E-04 | 0,767 | 1659 | 26 | 4,3E-02 | 4,0E-02 | 3,0E-02 | 6,4E-04 | 0,766 | 1206 | 20 |
| 46 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,393 | 1641 | 35 | 2,4E-02 | 2,9E-02 | 1,7E-02 | 3,9E-04 | 0,392 | 1000 | 24 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 4,1E-04 | 0,767 | 1882 | 27 | 3,8E-02 | 4,2E-02 | 3,1E-02 | 6,3E-04 | 0,767 | 1226 | 20 |
| 54 | 9,7E-03 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 2,2E-04 | 0,392 | 1789 | 37 | 2,1E-02 | 2,7E-02 | 2,0E-02 | 3,8E-04 | 0,392 | 1037 | 24 | 1,8E-02 | 2,3E-02 | 2,4E-02 | 3,8E-04 | 0,767 | 2009 | 29 | 3,3E-02 | 4,2E-02 | 3,3E-02 | 6,1E-04 | 0,768 | 1252 | 20 |
| 61 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,392 | 1681 | 34 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 3,6E-04 | 0,392 | 1078 | 24 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 4,0E-04 | 0,767 | 1937 | 27 | 3,4E-02 | 3,6E-02 | 3,4E-02 | 5,9E-04 | 0,766 | 1304 | 20 |
| 75 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 2,1E-04 | 0,393 | 1854 | 37 | 1,6E-02 | 2,7E-02 | 1,9E-02 | 3,5E-04 | 0,393 | 1130 | 25 | 2,1E-02 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 3,7E-04 | 0,768 | 2099 | 29 | 2,5E-02 | 4,1E-02 | 3,4E-02 | 5,7E-04 | 0,769 | 1354 | 21 |
| 88 | 9,7E-03 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 2,1E-04 | 0,393 | 1885 | 38 | 1,7E-02 | 2,4E-02 | 1,7E-02 | 3,3E-04 | 0,393 | 1204 | 26 | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 2,4E-02 | 3,6E-04 | 0,769 | 2114 | 29 | 2,8E-02 | 3,8E-02 | 3,0E-02 | 5,4E-04 | 0,768 | 1421 | 21 |
| 103 | 1,0E-02 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-04 | 0,392 | 1854 | 36 | 1,4E-02 | 1,6E-02 | 2,4E-02 | 3,0E-04 | 0,392 | 1308 | 27 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 2,0E-02 | 3,6E-04 | 0,767 | 2123 | 29 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 3,7E-02 | 5,0E-04 | 0,767 | 1540 | 22 |
| 112 | 1,2E-02 | 9,6E-03 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,392 | 1979 | 39 | 2,3E-02 | 2,0E-02 | 1,3E-02 | 3,2E-04 | 0,392 | 1237 | 26 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 2,2E-02 | 3,5E-04 | 0,767 | 2200 | 30 | 3,6E-02 | 3,3E-02 | 2,2E-02 | 5,2E-04 | 0,766 | 1482 | 21 |
| 123 | 9,3E-03 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,410 | 2230 | 38 | 1,7E-02 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 3,1E-04 | 0,409 | 1308 | 25 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 3,3E-04 | 0,799 | 2431 | 30 | 2,5E-02 | 3,6E-02 | 3,1E-02 | 5,2E-04 | 0,799 | 1550 | 21 |
| 132 | 7,6E-03 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,416 | 2304 | 40 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 2,8E-04 | 0,416 | 1473 | 27 | 1,5E-02 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 3,2E-04 | 0,814 | 2534 | 31 | 2,6E-02 | 3,0E-02 | 3,1E-02 | 4,9E-04 | 0,814 | 1659 | 22 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 4,5E-02 | 4,6E-02 | 2,0E-02 | 6,0E-04 | 0,403 | 667 | 23 | 5,4E-02 | 2,6E-02 | 4,0E-02 | 6,5E-04 | 0,403 | 618 | 22 | 6,5E-02 | 6,8E-02 | 3,4E-02 | 9,1E-04 | 0,791 | 867 | 20 | 5,9E-02 | 7,0E-02 | 8,2E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 687 | 17 |
| 5 | 2,3E-02 | 1,5E-02 | 3,9E-02 | 4,2E-04 | 0,403 | 959 | 28 | 2,8E-02 | 2,5E-02 | 2,8E-02 | 4,4E-04 | 0,403 | 916 | 25 | 3,4E-02 | 2,8E-02 | 5,7E-02 | 6,4E-04 | 0,791 | 1231 | 25 | 4,8E-02 | 4,1E-02 | 4,3E-02 | 7,2E-04 | 0,791 | 1092 | 21 |
| 8 | 2,1E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,5E-04 | 0,403 | 1598 | 36 | 1,8E-02 | 2,7E-02 | 1,9E-02 | 3,5E-04 | 0,403 | 1161 | 26 | 3,2E-02 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 4,3E-04 | 0,792 | 1853 | 30 | 3,0E-02 | 4,4E-02 | 3,4E-02 | 5,9E-04 | 0,792 | 1340 | 22 |
| 12 | 1,6E-02 | 2,0E-02 | 7,5E-03 | 2,4E-04 | 0,404 | 1715 | 37 | 2,4E-02 | 1,4E-02 | 2,2E-02 | 3,2E-04 | 0,403 | 1244 | 25 | 2,4E-02 | 3,5E-02 | 1,7E-02 | 4,1E-04 | 0,792 | 1912 | 30 | 3,9E-02 | 2,6E-02 | 3,6E-02 | 5,5E-04 | 0,792 | 1437 | 21 |
| 15 | 8,5E-03 | 6,5E-03 | 1,2E-02 | 1,5E-04 | 0,403 | 2763 | 47 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 3,1E-04 | 0,403 | 1286 | 25 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 2,3E-02 | 2,9E-04 | 0,792 | 2734 | 35 | 3,3E-02 | 3,2E-02 | 3,2E-02 | 5,3E-04 | 0,791 | 1487 | 21 |
| 18 | 7,6E-03 | 9,1E-03 | 7,3E-03 | 1,3E-04 | 0,403 | 3063 | 47 | 1,4E-02 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 2,8E-04 | 0,403 | 1446 | 27 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,791 | 3056 | 35 | 2,5E-02 | 3,3E-02 | 3,0E-02 | 4,9E-04 | 0,792 | 1629 | 22 |
| 27 | 7,7E-03 | 8,1E-03 | 5,2E-03 | 1,1E-04 | 0,403 | 3513 | 51 | 1,2E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 2,5E-04 | 0,404 | 1610 | 28 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 1,1E-02 | 2,3E-04 | 0,791 | 3421 | 37 | 2,2E-02 | 3,0E-02 | 2,9E-02 | 4,4E-04 | 0,792 | 1787 | 23 |
| 32 | 8,3E-03 | 9,2E-03 | 6,0E-03 | 1,3E-04 | 0,388 | 3022 | 44 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 1,2E-02 | 2,5E-04 | 0,388 | 1545 | 28 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-04 | 0,763 | 3143 | 34 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 2,3E-02 | 4,4E-04 | 0,762 | 1720 | 23 |
| 40 | 8,5E-03 | 9,5E-03 | 5,7E-03 | 1,4E-04 | 0,389 | 2801 | 45 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 9,2E-03 | 2,5E-04 | 0,389 | 1584 | 29 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 1,2E-02 | 2,7E-04 | 0,763 | 2870 | 34 | 3,2E-02 | 2,7E-02 | 1,9E-02 | 4,4E-04 | 0,763 | 1735 | 24 |
| 46 | 6,7E-03 | 6,5E-03 | 5,9E-03 | 1,1E-04 | 0,389 | 3473 | 51 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 8,8E-03 | 2,4E-04 | 0,389 | 1596 | 29 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 2,3E-04 | 0,763 | 3289 | 36 | 2,7E-02 | 3,0E-02 | 1,9E-02 | 4,3E-04 | 0,763 | 1761 | 24 |
| 54 | 4,3E-03 | 6,0E-03 | 6,9E-03 | 1,0E-04 | 0,389 | 3854 | 58 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 1,0E-02 | 2,3E-04 | 0,388 | 1665 | 29 | 9,8E-03 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,763 | 3539 | 39 | 2,4E-02 | 3,1E-02 | 2,0E-02 | 4,2E-04 | 0,763 | 1810 | 24 |
| 61 | 6,4E-03 | 5,9E-03 | 6,1E-03 | 1,1E-04 | 0,389 | 3598 | 50 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,389 | 1726 | 29 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,763 | 3411 | 36 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 4,0E-04 | 0,762 | 1888 | 24 |
| 75 | 5,6E-03 | 4,7E-03 | 6,1E-03 | 9,6E-05 | 0,390 | 4050 | 56 | 8,6E-03 | 1,8E-02 | 1,0E-02 | 2,1E-04 | 0,390 | 1860 | 30 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,764 | 3781 | 39 | 1,6E-02 | 3,0E-02 | 2,2E-02 | 3,8E-04 | 0,764 | 1997 | 24 |
| 88 | 4,1E-03 | 5,2E-03 | 6,5E-03 | 9,3E-05 | 0,390 | 4185 | 59 | 1,0E-02 | 1,5E-02 | 9,0E-03 | 2,0E-04 | 0,390 | 1998 | 31 | 9,3E-03 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 2,0E-04 | 0,765 | 3807 | 40 | 1,9E-02 | 2,6E-02 | 1,9E-02 | 3,6E-04 | 0,765 | 2110 | 25 |
| 103 | 4,6E-03 | 6,5E-03 | 5,4E-03 | 9,7E-05 | 0,389 | 4000 | 56 | 7,0E-03 | 9,3E-03 | 1,4E-02 | 1,7E-04 | 0,389 | 2235 | 33 | 1,0E-02 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 2,0E-04 | 0,762 | 3784 | 39 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,5E-02 | 3,3E-04 | 0,762 | 2300 | 26 |
| 112 | 5,1E-03 | 4,4E-03 | 5,7E-03 | 8,9E-05 | 0,388 | 4351 | 61 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 7,3E-03 | 1,9E-04 | 0,388 | 2059 | 32 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,762 | 3972 | 41 | 2,6E-02 | 2,2E-02 | 1,4E-02 | 3,5E-04 | 0,762 | 2181 | 25 |
| 123 | 4,5E-03 | 4,9E-03 | 6,0E-03 | 9,0E-05 | 0,402 | 4452 | 60 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 1,9E-04 | 0,398 | 2086 | 30 | 8,9E-03 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,784 | 4299 | 41 | 1,7E-02 | 2,4E-02 | 2,0E-02 | 3,5E-04 | 0,785 | 2257 | 24 |
| 132 | 4,0E-03 | 5,2E-03 | 5,4E-03 | 8,6E-05 | 0,421 | 4915 | 62 | 1,1E-02 | 9,2E-03 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,421 | 2427 | 32 | 8,7E-03 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,826 | 4500 | 41 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 3,4E-04 | 0,826 | 2430 | 25 |



| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------|----------|---------|---------|-------|------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | |
| Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | |
| 1 | 3,7E-02 | 3,8E-02 | 1,6E-02 | 5,0E-04 | 0,403 | 805 | 28 | 4,5E-02 | 2,2E-02 | 3,4E-02 | 5,5E-04 | 0,403 | 729 | 26 | 5,4E-02 | 5,7E-02 | 2,8E-02 | 7,6E-04 | 0,789 | 1038 | 24 | 4,9E-02 | 5,9E-02 | 7,2E-02 | 9,9E-04 | 0,789 | 801 | 20 |
| 5 | 1,8E-02 | 1,2E-02 | 3,2E-02 | 3,4E-04 | 0,403 | 1193 | 34 | 2,2E-02 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 3,5E-04 | 0,403 | 1136 | 29 | 2,7E-02 | 2,2E-02 | 4,7E-02 | 5,2E-04 | 0,790 | 1519 | 30 | 4,1E-02 | 3,4E-02 | 3,7E-02 | 6,1E-04 | 0,790 | 1294 | 25 |
| 8 | 1,5E-02 | 9,3E-03 | 9,1E-03 | 1,8E-04 | 0,403 | 2194 | 46 | 1,5E-02 | 2,2E-02 | 1,4E-02 | 2,8E-04 | 0,403 | 1449 | 31 | 2,5E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 3,3E-04 | 0,789 | 2385 | 36 | 2,6E-02 | 3,7E-02 | 2,8E-02 | 4,9E-04 | 0,790 | 1599 | 26 |
| 12 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 5,5E-03 | 1,7E-04 | 0,403 | 2336 | 46 | 1,9E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,403 | 1537 | 29 | 1,8E-02 | 2,7E-02 | 1,3E-02 | 3,2E-04 | 0,790 | 2465 | 36 | 3,2E-02 | 2,2E-02 | 3,1E-02 | 4,7E-04 | 0,790 | 1697 | 25 |
| 15 | 5,9E-03 | 4,7E-03 | 8,1E-03 | 1,0E-04 | 0,403 | 3940 | 64 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 1,6E-02 | 2,5E-04 | 0,403 | 1586 | 29 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-02 | 2,2E-04 | 0,790 | 3594 | 44 | 2,9E-02 | 2,6E-02 | 2,7E-02 | 4,5E-04 | 0,790 | 1761 | 24 |
| 18 | 5,4E-03 | 6,4E-03 | 5,1E-03 | 9,2E-05 | 0,403 | 4359 | 62 | 1,1E-02 | 1,7E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,403 | 1800 | 30 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 2,0E-04 | 0,790 | 4013 | 43 | 2,1E-02 | 2,9E-02 | 2,4E-02 | 4,1E-04 | 0,789 | 1940 | 25 |
| 27 | 5,4E-03 | 5,6E-03 | 4,1E-03 | 8,2E-05 | 0,403 | 4898 | 69 | 9,2E-03 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,403 | 2041 | 33 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 8,8E-03 | 1,8E-04 | 0,790 | 4506 | 46 | 1,8E-02 | 2,6E-02 | 2,4E-02 | 3,7E-04 | 0,790 | 2143 | 27 |
| 32 | 5,8E-03 | 6,7E-03 | 4,1E-03 | 9,1E-05 | 0,388 | 4283 | 56 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 8,8E-03 | 2,0E-04 | 0,388 | 1945 | 32 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 9,2E-03 | 1,9E-04 | 0,761 | 4072 | 41 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 1,8E-02 | 3,7E-04 | 0,760 | 2071 | 26 |
| 40 | 5,7E-03 | 6,7E-03 | 4,1E-03 | 9,7E-05 | 0,389 | 4011 | 58 | 1,6E-02 | 1,1E-02 | 7,0E-03 | 1,9E-04 | 0,389 | 1999 | 34 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 9,7E-03 | 2,0E-04 | 0,761 | 3833 | 42 | 2,7E-02 | 2,2E-02 | 1,5E-02 | 3,6E-04 | 0,760 | 2094 | 27 |
| 46 | 4,6E-03 | 4,6E-03 | 4,2E-03 | 7,9E-05 | 0,388 | 4938 | 69 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 6,3E-03 | 1,9E-04 | 0,388 | 2047 | 33 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 9,4E-03 | 1,8E-04 | 0,760 | 4314 | 45 | 2,3E-02 | 2,6E-02 | 1,5E-02 | 3,6E-04 | 0,761 | 2127 | 27 |
| 54 | 4,1E-03 | 4,4E-03 | 4,7E-03 | 7,7E-05 | 0,389 | 5036 | 81 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 7,3E-03 | 1,8E-04 | 0,388 | 2124 | 33 | 7,4E-03 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,6E-04 | 0,761 | 4619 | 49 | 2,0E-02 | 2,6E-02 | 1,6E-02 | 3,5E-04 | 0,761 | 2194 | 27 |
| 61 | 4,5E-03 | 4,2E-03 | 4,2E-03 | 7,6E-05 | 0,388 | 5124 | 66 | 1,1E-02 | 9,3E-03 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,388 | 2211 | 33 | 9,8E-03 | 9,6E-03 | 9,6E-03 | 1,7E-04 | 0,761 | 4471 | 44 | 2,1E-02 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,761 | 2290 | 27 |
| 75 | 4,0E-03 | 3,7E-03 | 4,3E-03 | 7,1E-05 | 0,390 | 5519 | 76 | 6,2E-03 | 1,5E-02 | 7,9E-03 | 1,7E-04 | 0,390 | 2363 | 34 | 8,9E-03 | 8,0E-03 | 9,4E-03 | 1,5E-04 | 0,763 | 4957 | 49 | 1,2E-02 | 2,6E-02 | 1,8E-02 | 3,2E-04 | 0,763 | 2415 | 28 |
| 88 | 3,9E-03 | 3,8E-03 | 4,5E-03 | 7,2E-05 | 0,390 | 5427 | 82 | 8,1E-03 | 1,2E-02 | 6,6E-03 | 1,5E-04 | 0,389 | 2583 | 36 | 7,0E-03 | 8,7E-03 | 1,0E-02 | 1,5E-04 | 0,763 | 4984 | 50 | 1,6E-02 | 2,2E-02 | 1,5E-02 | 3,0E-04 | 0,763 | 2575 | 28 |
| 103 | 3,8E-03 | 4,5E-03 | 3,9E-03 | 7,1E-05 | 0,388 | 5441 | 75 | 5,1E-03 | 7,3E-03 | 1,1E-02 | 1,3E-04 | 0,388 | 2897 | 39 | 7,7E-03 | 9,5E-03 | 8,7E-03 | 1,5E-04 | 0,760 | 4986 | 48 | 1,2E-02 | 1,6E-02 | 2,1E-02 | 2,7E-04 | 0,760 | 2794 | 29 |
| 112 | 4,0E-03 | 3,8E-03 | 4,1E-03 | 7,0E-05 | 0,388 | 5580 | 84 | 1,2E-02 | 8,3E-03 | 5,4E-03 | 1,5E-04 | 0,388 | 2673 | 37 | 8,0E-03 | 7,6E-03 | 9,4E-03 | 1,5E-04 | 0,760 | 5200 | 51 | 2,2E-02 | 1,8E-02 | 1,2E-02 | 2,9E-04 | 0,760 | 2651 | 29 |
| 123 | 3,2E-03 | 3,2E-03 | 3,7E-03 | 6,0E-05 | 0,318 | 5304 | 86 | 7,8E-03 | 9,5E-03 | 7,6E-03 | 1,4E-04 | 0,337 | 2398 | 34 | 6,1E-03 | 7,3E-03 | 8,1E-03 | 1,3E-04 | 0,631 | 5002 | 51 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 2,5E-04 | 0,631 | 2529 | 27 |
| 132 | 4,2E-03 | 3,7E-03 | 3,7E-03 | 6,8E-05 | 0,420 | 6180 | 85 | 8,4E-03 | 7,0E-03 | 8,8E-03 | 1,4E-04 | 0,421 | 3084 | 37 | 6,9E-03 | 8,4E-03 | 8,8E-03 | 1,4E-04 | 0,825 | 5834 | 51 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 1,8E-02 | 2,8E-04 | 0,824 | 2939 | 28 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------|----------|---------|---------|-------|------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | |
| Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | |
| 1 | 3,1E-02 | 3,2E-02 | 1,4E-02 | 4,2E-04 | 0,397 | 942 | 32 | 3,8E-02 | 1,9E-02 | 3,0E-02 | 4,8E-04 | 0,397 | 832 | 31 | 4,6E-02 | 4,9E-02 | 2,5E-02 | 6,5E-04 | 0,777 | 1192 | 28 | 4,2E-02 | 5,2E-02 | 6,5E-02 | 8,7E-04 | 0,775 | 889 | 23 |
| 5 | 1,5E-02 | 9,8E-03 | 2,7E-02 | 2,8E-04 | 0,398 | 1429 | 40 | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 3,0E-04 | 0,398 | 1337 | 34 | 2,2E-02 | 1,9E-02 | 3,8E-02 | 4,3E-04 | 0,777 | 1789 | 34 | 3,5E-02 | 2,9E-02 | 3,2E-02 | 5,3E-04 | 0,777 | 1474 | 28 |
| 8 | 1,2E-02 | 7,4E-03 | 7,4E-03 | 1,5E-04 | 0,399 | 2728 | 56 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 1,2E-02 | 2,3E-04 | 0,398 | 1710 | 36 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 2,7E-04 | 0,778 | 2840 | 43 | 2,3E-02 | 3,2E-02 | 2,4E-02 | 4,3E-04 | 0,778 | 1823 | 29 |
| 12 | 8,9E-03 | 1,2E-02 | 4,8E-03 | 1,4E-04 | 0,399 | 2872 | 55 | 1,6E-02 | 9,5E-03 | 1,5E-02 | 2,2E-04 | 0,398 | 1784 | 33 | 1,5E-02 | 2,1E-02 | 1,2E-02 | 2,6E-04 | 0,779 | 2980 | 43 | 2,7E-02 | 2,0E-02 | 2,7E-02 | 4,0E-04 | 0,777 | 1920 | 28 |
| 15 | 5,0E-03 | 4,7E-03 | 6,4E-03 | 8,8E-05 | 0,400 | 4540 | 80 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,399 | 1846 | 33 | 1,1E-02 | 8,9E-03 | 1,4E-02 | 1,8E-04 | 0,779 | 4279 | 53 | 2,5E-02 | 2,2E-02 | 2,4E-02 | 3,9E-04 | 0,778 | 1988 | 27 |
| 18 | 4,6E-03 | 5,2E-03 | 4,5E-03 | 7,9E-05 | 0,400 | 5079 | 77 | 9,4E-03 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,398 | 2097 | 35 | 9,6E-03 | 1,1E-02 | 9,6E-03 | 1,7E-04 | 0,778 | 4701 | 51 | 1,8E-02 | 2,6E-02 | 2,1E-02 | 3,5E-04 | 0,777 | 2199 | 29 |
| 27 | 4,7E-03 | 4,7E-03 | 4,2E-03 | 7,4E-05 | 0,400 | 5392 | 86 | 7,7E-03 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 1,7E-04 | 0,399 | 2404 | 38 | 9,7E-03 | 9,9E-03 | 7,5E-03 | 1,5E-04 | 0,778 | 5263 | 56 | 1,5E-02 | 2,3E-02 | 2,0E-02 | 3,2E-04 | 0,778 | 2443 | 31 |
| 32 | 4,7E-03 | 5,3E-03 | 4,0E-03 | 7,6E-05 | 0,383 | 5004 | 70 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 7,2E-03 | 1,7E-04 | 0,383 | 2291 | 37 | 9,9E-03 | 1,1E-02 | 7,9E-03 | 1,6E-04 | 0,748 | 4784 | 49 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 1,6E-02 | 3,2E-04 | 0,747 | 2351 | 30 |
| 40 | 4,4E-03 | 5,3E-03 | 4,1E-03 | 8,0E-05 | 0,383 | 4771 | 72 | 1,4E-02 | 9,2E-03 | 5,8E-03 | 1,6E-04 | 0,384 | 2355 | 40 | 8,9E-03 | 1,1E-02 | 8,3E-03 | 1,7E-04 | 0,748 | 4520 | 50 | 2,4E-02 | 1,9E-02 | 1,3E-02 | 3,1E-04 | 0,748 | 2388 | 31 |
| 46 | 3,9E-03 | 4,0E-03 | 4,0E-03 | 7,0E-05 | 0,383 | 5487 | 87 | 1,0E-02 | 1,3E-02 | 5,1E-03 | 1,6E-04 | 0,382 | 2409 | 39 | 8,5E-03 | 9,0E-03 | 8,0E-03 | 1,5E-04 | 0,748 | 4998 | 55 | 2,0E-02 | 2,2E-02 | 1,3E-02 | 3,1E-04 | 0,748 | 2426 | 31 |
| 54 | 4,3E-03 | 4,1E-03 | 4,0E-03 | 7,3E-05 | 0,383 | 5264 | 100 | 9,3E-03 | 1,2E-02 | 5,8E-03 | 1,5E-04 | 0,383 | 2507 | 39 | 6,2E-03 | 9,1E-03 | 8,4E-03 | 1,4E-04 | 0,749 | 5358 | 59 | 1,7E-02 | 2,2E-02 | 1,3E-02 | 3,0E-04 | 0,748 | 2510 | 31 |
| 61 | 4,1E-03 | 3,9E-03 | 3,6E-03 | 6,8E-05 | 0,383 | 5651 | 82 | 9,3E-03 | 7,6E-03 | 9,0E-03 | 1,5E-04 | 0,384 | 2631 | 39 | 8,3E-03 | 8,1E-03 | 8,2E-03 | 1,4E-04 | 0,748 | 5170 | 53 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 2,9E-04 | 0,747 | 2604 | 31 |
| 75 | 3,7E-03 | 3,8E-03 | 3,9E-03 | 6,7E-05 | 0,385 | 5770 | 94 | 5,0E-03 | 1,3E-02 | 6,7E-03 | 1,4E-04 | 0,385 | 2748 | 40 | 7,7E-03 | 6,9E-03 | 8,1E-03 | 1,3E-04 | 0,753 | 5675 | 59 | 1,1E-02 | 2,3E-02 | 1,5E-02 | 2,8E-04 | 0,751 | 2702 | 32 |
| 88 | 4,2E-03 | 3,7E-03 | 4,0E-03 | 6,9E-05 | 0,385 | 5542 | 100 | 6,9E-03 | 9,9E-03 | 5,4E-03 | 1,3E-04 | 0,385 | 3060 | 43 | 5,9E-03 | 7,5E-03 | 8,8E-03 | 1,3E-04 | 0,750 | 5747 | 61 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 2,5E-04 | 0,748 | 2951 | 33 |
| 103 | 3,9E-03 | 4,0E-03 | 3,8E-03 | 6,9E-05 | 0,385 | 5589 | 93 | 4,3E-03 | 6,2E-03 | 9,5E-03 | 1,1E-04 | 0,384 | 3407 | 46 | 6,6E-03 | 8,1E-03 | 7,4E-03 | 1,3E-04 | 0,749 | 5768 | 59 | 1,0E-02 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 2,4E-04 | 0,749 | 3160 | 34 |
| 112 | 3,9E-03 | 4,0E-03 | 3,9E-03 | 6,9E-05 | 0,383 | 5537 | 103 | 1,0E-02 | 6,8E-03 | 4,6E-03 | 1,2E-04 | 0,384 | 3152 | 44 | 6,8E-03 | 6,4E-03 | 8,0E-03 | 1,2E-04 | 0,749 | 5999 | 64 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 1,0E-02 | 2,5E-04 | 0,749 | 3001 | 33 |
| 123 | 2,6E-03 | 2,7E-03 | 2,8E-03 | 4,7E-05 | 0,279 | 5927 | 96 | 6,1E-03 | 7,6E-03 | 6,1E-03 | 1,1E-04 | 0,334 | 2982 | 40 | 5,1E-03 | 6,3E-03 | 6,8E-03 | 1,1E-04 | 0,660 | 6201 | 63 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,662 | 3045 | 32 |
| 132 | 4,4E-03 | 3,5E-03 | 3,5E-03 | 6,7E-05 | 0,416 | 6190 | 103 | 7,0E-03 | 5,8E-03 | 7,6E-03 | 1,2E-04 | 0,415 | 3595 | 43 | 6,0E-03 | 7,3E-03 | 7,6E-03 | 1,2E-04 | 0,811 | 6600 | 63 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 1,6E-02 | 2,4E-04 | 0,811 | 3312 | 33 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---------------|----------|-------|---------|---|---|----------|----------|----------|-------|---------|---|---|----------|----------|----------|-------|---------|---|---|----------|----------|----------|-------|---------|---|---|--|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | |
| Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | |

Annexe 26 – Résultats d'essais à 35°C et 20% d'HR – Essais à 35 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 7 | | | | | | Moule 8 | | | | | | Moule 7 | | | | | | Moule 8 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 5,2E-02 | 7,2E-02 | 6,6E-02 | 1,0E-03 | 0,403 | 390 | 15 | 6,4E-02 | 6,4E-02 | 7,1E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 371 | 13 | 7,6E-02 | 1,1E-01 | 9,3E-02 | 1,5E-03 | 0,789 | 525 | 14 | 8,4E-02 | 1,1E-01 | 1,2E-01 | 1,7E-03 | 0,788 | 462 | 11 |
| 5 | 4,7E-02 | 4,4E-02 | 3,5E-02 | 6,9E-04 | 0,403 | 588 | 20 | 5,3E-02 | 3,7E-02 | 4,4E-02 | 7,4E-04 | 0,403 | 547 | 16 | 6,4E-02 | 6,4E-02 | 5,2E-02 | 9,8E-04 | 0,789 | 802 | 18 | 8,7E-02 | 6,2E-02 | 7,0E-02 | 1,2E-03 | 0,788 | 660 | 14 |
| 8 | 3,7E-02 | 3,5E-02 | 3,7E-02 | 5,9E-04 | 0,404 | 679 | 20 | 4,2E-02 | 4,3E-02 | 3,5E-02 | 6,6E-04 | 0,404 | 617 | 16 | 5,5E-02 | 5,4E-02 | 5,8E-02 | 9,1E-04 | 0,789 | 868 | 17 | 6,1E-02 | 7,0E-02 | 5,9E-02 | 1,0E-03 | 0,790 | 762 | 14 |
| 12 | 3,2E-02 | 3,5E-02 | 2,9E-02 | 5,3E-04 | 0,403 | 764 | 21 | 3,6E-02 | 4,0E-02 | 3,6E-02 | 6,1E-04 | 0,404 | 661 | 16 | 5,0E-02 | 5,4E-02 | 4,5E-02 | 8,2E-04 | 0,790 | 965 | 18 | 5,9E-02 | 5,7E-02 | 6,0E-02 | 9,6E-04 | 0,790 | 821 | 14 |
| 15 | 2,0E-02 | 4,2E-02 | 2,4E-02 | 4,7E-04 | 0,403 | 858 | 22 | 2,8E-02 | 3,6E-02 | 4,5E-02 | 6,0E-04 | 0,403 | 673 | 16 | 3,5E-02 | 4,9E-02 | 4,2E-02 | 6,9E-04 | 0,789 | 1143 | 19 | 4,8E-02 | 5,4E-02 | 6,9E-02 | 9,3E-04 | 0,789 | 848 | 14 |
| 18 | 2,4E-02 | 3,2E-02 | 3,1E-02 | 4,8E-04 | 0,403 | 840 | 22 | 3,1E-02 | 3,2E-02 | 5,1E-02 | 6,3E-04 | 0,404 | 645 | 16 | 4,0E-02 | 4,5E-02 | 4,7E-02 | 7,2E-04 | 0,789 | 1098 | 19 | 5,4E-02 | 4,6E-02 | 7,1E-02 | 9,3E-04 | 0,790 | 845 | 14 |
| 27 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 2,4E-02 | 4,0E-04 | 0,404 | 1020 | 23 | 3,1E-02 | 3,5E-02 | 3,6E-02 | 5,6E-04 | 0,403 | 722 | 17 | 4,1E-02 | 3,8E-02 | 3,7E-02 | 6,3E-04 | 0,789 | 1255 | 20 | 4,8E-02 | 5,9E-02 | 5,3E-02 | 8,7E-04 | 0,789 | 903 | 15 |
| 32 | 2,7E-02 | 2,4E-02 | 2,2E-02 | 4,0E-04 | 0,392 | 978 | 23 | 3,9E-02 | 3,3E-02 | 3,0E-02 | 5,5E-04 | 0,392 | 708 | 17 | 4,2E-02 | 3,8E-02 | 3,4E-02 | 6,3E-04 | 0,768 | 1225 | 19 | 5,8E-02 | 5,4E-02 | 4,7E-02 | 8,7E-04 | 0,767 | 884 | 15 |
| 40 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 2,9E-02 | 4,2E-04 | 0,392 | 923 | 23 | 3,7E-02 | 3,3E-02 | 2,8E-02 | 5,5E-04 | 0,392 | 712 | 17 | 3,6E-02 | 3,6E-02 | 4,1E-02 | 6,6E-04 | 0,766 | 1157 | 20 | 5,7E-02 | 5,3E-02 | 4,2E-02 | 8,6E-04 | 0,767 | 894 | 15 |
| 46 | 1,7E-02 | 2,5E-02 | 2,5E-02 | 3,9E-04 | 0,392 | 995 | 23 | 3,3E-02 | 3,3E-02 | 2,7E-02 | 5,3E-04 | 0,392 | 743 | 18 | 2,9E-02 | 4,0E-02 | 3,9E-02 | 6,3E-04 | 0,767 | 1222 | 20 | 4,9E-02 | 5,3E-02 | 4,3E-02 | 8,2E-04 | 0,767 | 934 | 15 |
| 54 | 2,0E-02 | 2,5E-02 | 1,7E-02 | 3,7E-04 | 0,393 | 1073 | 25 | 3,1E-02 | 3,6E-02 | 2,5E-02 | 5,2E-04 | 0,393 | 761 | 18 | 3,4E-02 | 3,8E-02 | 2,9E-02 | 5,9E-04 | 0,767 | 1298 | 20 | 4,6E-02 | 5,5E-02 | 4,1E-02 | 8,0E-04 | 0,766 | 954 | 15 |
| 61 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 1,8E-02 | 3,8E-04 | 0,392 | 1026 | 24 | 2,3E-02 | 3,0E-02 | 3,9E-02 | 5,2E-04 | 0,392 | 757 | 18 | 3,8E-02 | 3,4E-02 | 3,1E-02 | 6,0E-04 | 0,767 | 1268 | 20 | 3,9E-02 | 4,5E-02 | 5,7E-02 | 7,9E-04 | 0,767 | 966 | 16 |
| 75 | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 2,5E-02 | 3,7E-04 | 0,393 | 1061 | 25 | 2,4E-02 | 3,3E-02 | 2,8E-02 | 4,8E-04 | 0,393 | 817 | 19 | 3,0E-02 | 3,3E-02 | 3,7E-02 | 5,9E-04 | 0,770 | 1313 | 21 | 3,7E-02 | 5,2E-02 | 4,5E-02 | 7,5E-04 | 0,769 | 1019 | 16 |
| 88 | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,393 | 1183 | 26 | 2,4E-02 | 3,6E-02 | 2,2E-02 | 4,6E-04 | 0,392 | 847 | 20 | 2,8E-02 | 3,3E-02 | 3,1E-02 | 5,4E-04 | 0,768 | 1422 | 22 | 3,8E-02 | 5,4E-02 | 3,7E-02 | 7,3E-04 | 0,768 | 1050 | 17 |
| 103 | 2,1E-02 | 2,5E-02 | 1,5E-02 | 3,5E-04 | 0,354 | 1009 | 28 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 3,2E-02 | 4,4E-04 | 0,349 | 802 | 21 | | | | | | | | 3,7E-02 | 3,3E-02 | 5,0E-02 | 6,8E-04 | 0,679 | 996 | 18 |
| 112 | 2,3E-02 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 3,4E-04 | 0,350 | 1038 | 29 | 2,9E-02 | 3,1E-02 | 1,9E-02 | 4,4E-04 | 0,351 | 789 | 21 | 3,5E-02 | 3,2E-02 | 2,5E-02 | 5,3E-04 | 0,696 | 1309 | 24 | 4,3E-02 | 4,6E-02 | 3,0E-02 | 6,8E-04 | 0,683 | 1007 | 18 |
| 123 | 2,1E-02 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 3,1E-04 | 0,410 | 1330 | 28 | 2,8E-02 | 2,9E-02 | 1,9E-02 | 4,3E-04 | 0,409 | 942 | 20 | 3,3E-02 | 2,6E-02 | 2,7E-02 | 5,0E-04 | 0,799 | 1589 | 23 | 4,3E-02 | 4,6E-02 | 3,1E-02 | 6,8E-04 | 0,799 | 1177 | 17 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 7 | | | | | | Moule 8 | | | | | | Moule 7 | | | | | | Moule 8 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 3,9E-02 | 5,7E-02 | 5,0E-02 | 7,9E-04 | 0,403 | 509 | 19 | 5,1E-02 | 5,4E-02 | 5,5E-02 | 8,7E-04 | 0,403 | 462 | 16 | 5,8E-02 | 8,5E-02 | 7,2E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 673 | 17 | 6,0E-02 | 9,6E-02 | 9,1E-02 | 1,4E-03 | 0,792 | 584 | 14 |
| 5 | 3,2E-02 | 2,9E-02 | 2,4E-02 | 4,6E-04 | 0,403 | 873 | 26 | 4,1E-02 | 2,9E-02 | 3,5E-02 | 5,8E-04 | 0,403 | 694 | 20 | 4,6E-02 | 4,7E-02 | 3,7E-02 | 7,1E-04 | 0,792 | 1112 | 23 | 6,8E-02 | 5,0E-02 | 5,7E-02 | 9,6E-04 | 0,791 | 827 | 18 |
| 8 | 2,5E-02 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 4,1E-04 | 0,403 | 984 | 27 | 3,3E-02 | 3,3E-02 | 2,6E-02 | 5,0E-04 | 0,403 | 802 | 21 | 3,9E-02 | 3,9E-02 | 4,3E-02 | 6,6E-04 | 0,792 | 1204 | 23 | 4,8E-02 | 5,5E-02 | 4,5E-02 | 8,2E-04 | 0,792 | 972 | 18 |
| 12 | 2,2E-02 | 2,4E-02 | 2,0E-02 | 3,6E-04 | 0,403 | 1127 | 28 | 2,6E-02 | 3,1E-02 | 2,9E-02 | 4,7E-04 | 0,403 | 856 | 20 | 3,7E-02 | 3,9E-02 | 3,2E-02 | 5,9E-04 | 0,792 | 1344 | 23 | 4,5E-02 | 4,6E-02 | 5,0E-02 | 7,7E-04 | 0,792 | 1028 | 18 |
| 15 | 1,3E-02 | 2,7E-02 | 1,6E-02 | 3,1E-04 | 0,404 | 1310 | 30 | 2,2E-02 | 2,9E-02 | 3,4E-02 | 4,6E-04 | 0,403 | 877 | 20 | 2,5E-02 | 3,4E-02 | 3,0E-02 | 4,9E-04 | 0,792 | 1624 | 25 | 3,9E-02 | 4,4E-02 | 5,3E-02 | 7,4E-04 | 0,792 | 1066 | 18 |
| 18 | 1,6E-02 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 3,1E-04 | 0,403 | 1294 | 29 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 3,6E-02 | 4,6E-04 | 0,403 | 874 | 20 | 2,8E-02 | 2,9E-02 | 3,3E-02 | 4,9E-04 | 0,792 | 1603 | 25 | 4,2E-02 | 3,7E-02 | 5,7E-02 | 7,4E-04 | 0,792 | 1064 | 18 |
| 27 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 2,5E-04 | 0,403 | 1603 | 31 | 2,4E-02 | 2,6E-02 | 2,6E-02 | 4,2E-04 | 0,403 | 966 | 22 | 2,9E-02 | 2,6E-02 | 2,6E-02 | 4,4E-04 | 0,792 | 1807 | 25 | 3,8E-02 | 4,7E-02 | 3,9E-02 | 6,8E-04 | 0,791 | 1165 | 19 |
| 32 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 2,5E-04 | 0,388 | 1548 | 31 | 3,0E-02 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 4,1E-04 | 0,389 | 958 | 22 | 2,9E-02 | 2,6E-02 | 2,3E-02 | 4,3E-04 | 0,763 | 1765 | 26 | 4,6E-02 | 4,1E-02 | 3,6E-02 | 6,7E-04 | 0,762 | 1134 | 19 |
| 40 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,388 | 1491 | 31 | 2,7E-02 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 4,0E-04 | 0,389 | 969 | 22 | 2,4E-02 | 2,4E-02 | 2,8E-02 | 4,5E-04 | 0,763 | 1697 | 26 | 4,5E-02 | 4,0E-02 | 3,3E-02 | 6,7E-04 | 0,762 | 1146 | 19 |
| 46 | 9,4E-03 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 2,4E-04 | 0,389 | 1604 | 32 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 1,9E-02 | 3,8E-04 | 0,389 | 1025 | 23 | 1,9E-02 | 2,7E-02 | 2,7E-02 | 4,3E-04 | 0,763 | 1792 | 26 | 3,8E-02 | 4,0E-02 | 3,3E-02 | 6,3E-04 | 0,763 | 1216 | 19 |
| 54 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 9,9E-03 | 2,2E-04 | 0,389 | 1759 | 34 | 2,3E-02 | 2,5E-02 | 1,8E-02 | 3,7E-04 | 0,389 | 1051 | 23 | 2,3E-02 | 2,5E-02 | 2,0E-02 | 4,0E-04 | 0,763 | 1912 | 27 | 3,7E-02 | 4,1E-02 | 3,1E-02 | 6,2E-04 | 0,763 | 1236 | 20 |
| 61 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 2,3E-04 | 0,389 | 1693 | 34 | 1,5E-02 | 2,2E-02 | 2,8E-02 | 3,7E-04 | 0,389 | 1056 | 23 | 2,6E-02 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 4,0E-04 | 0,762 | 1885 | 27 | 2,8E-02 | 3,5E-02 | 4,4E-02 | 6,1E-04 | 0,762 | 1258 | 20 |
| 75 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 2,2E-04 | 0,390 | 1777 | 34 | 1,8E-02 | 2,4E-02 | 1,8E-02 | 3,4E-04 | 0,390 | 1155 | 24 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 2,5E-02 | 3,9E-04 | 0,765 | 1984 | 28 | 2,9E-02 | 3,9E-02 | 3,2E-02 | 5,7E-04 | 0,765 | 1342 | 21 |
| 88 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,389 | 2030 | 37 | 1,7E-02 | 2,4E-02 | 1,5E-02 | 3,2E-04 | 0,389 | 1220 | 25 | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 3,5E-04 | 0,765 | 2164 | 29 | 3,0E-02 | 4,0E-02 | 2,7E-02 | 5,5E-04 | 0,765 | 1397 | 21 |
| 103 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 8,1E-03 | 2,1E-04 | 0,388 | 1833 | 34 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 2,3E-02 | 3,2E-04 | 0,388 | 1231 | 24 | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 3,0E-04 | 0,748 | 2479 | 40 | 2,8E-02 | 2,7E-02 | 4,0E-02 | 5,4E-04 | 0,762 | 1424 | 19 |
| 112 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 8,2E-03 | 2,0E-04 | 0,389 | 1953 | 37 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 1,4E-02 | 3,2E-04 | 0,389 | 1223 | 25 | 2,4E-02 | 2,0E-02 | 1,6E-02 | 3,5E-04 | 0,762 | 2175 | 28 | 3,6E-02 | 3,5E-02 | 2,4E-02 | 5,4E-04 | 0,762 | 1409 | 20 |
| 123 | 1,2E-02 | 8,5E-03 | 8,9E-03 | 1,7E-04 | 0,400 | 2326 | 38 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 2,9E-04 | 0,400 | 1370 | 25 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 3,3E-04 | 0,786 | 2407 | 29 | 3,4E-02 | 3,2E-02 | 2,4E-02 | 5,0E-04 | 0,786 | 1560 | 21 |



| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|-----------|-----------|---------|---------|------|----|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|----|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|----|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | |
| | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 3,3E-02 | 4,9E-02 | 4,2E-02 | 6,8E-04 | 0,403 | 595 | 23 | 4,3E-02 | 4,9E-02 | 4,8E-02 | 7,6E-04 | 0,403 | 527 | 19 | 4,9E-02 | 7,5E-02 | 6,2E-02 | 1,0E-03 | 0,789 | 776 | 20 | 5,2E-02 | 8,9E-02 | 8,2E-02 | 1,2E-03 | 0,789 | 647 | 17 |
| 5 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 1,9E-02 | 3,7E-04 | 0,403 | 1102 | 32 | 3,5E-02 | 2,6E-02 | 3,1E-02 | 5,0E-04 | 0,403 | 808 | 24 | 3,8E-02 | 3,9E-02 | 3,0E-02 | 5,8E-04 | 0,790 | 1356 | 28 | 5,9E-02 | 4,4E-02 | 5,0E-02 | 8,4E-04 | 0,789 | 943 | 21 |
| 8 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 3,3E-04 | 0,403 | 1232 | 33 | 2,9E-02 | 2,8E-02 | 2,2E-02 | 4,3E-04 | 0,403 | 936 | 25 | 3,2E-02 | 3,2E-02 | 3,5E-02 | 5,5E-04 | 0,789 | 1446 | 28 | 4,3E-02 | 4,9E-02 | 3,9E-02 | 7,1E-04 | 0,790 | 1107 | 22 |
| 12 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 2,8E-04 | 0,403 | 1423 | 34 | 2,2E-02 | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 4,0E-04 | 0,403 | 996 | 25 | 3,0E-02 | 3,2E-02 | 2,7E-02 | 4,9E-04 | 0,790 | 1612 | 29 | 3,9E-02 | 4,0E-02 | 4,5E-02 | 6,8E-04 | 0,790 | 1165 | 21 |
| 15 | 1,0E-02 | 2,1E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-04 | 0,403 | 1673 | 37 | 1,9E-02 | 2,5E-02 | 2,8E-02 | 3,9E-04 | 0,403 | 1022 | 24 | 2,1E-02 | 2,8E-02 | 2,4E-02 | 4,0E-04 | 0,790 | 1971 | 31 | 3,4E-02 | 3,9E-02 | 4,6E-02 | 6,6E-04 | 0,790 | 1205 | 21 |
| 18 | 1,2E-02 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 2,4E-04 | 0,403 | 1643 | 35 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-02 | 3,9E-04 | 0,403 | 1021 | 24 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 2,7E-02 | 4,0E-04 | 0,789 | 1953 | 30 | 3,7E-02 | 3,4E-02 | 5,0E-02 | 6,6E-04 | 0,790 | 1201 | 21 |
| 27 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,403 | 2080 | 39 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 3,5E-04 | 0,403 | 1148 | 26 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 2,1E-02 | 3,6E-04 | 0,791 | 2208 | 31 | 3,4E-02 | 4,1E-02 | 3,3E-02 | 5,9E-04 | 0,790 | 1341 | 22 |
| 32 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,388 | 2017 | 39 | 2,5E-02 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 3,4E-04 | 0,389 | 1143 | 26 | 2,4E-02 | 2,2E-02 | 1,9E-02 | 3,5E-04 | 0,760 | 2165 | 31 | 4,1E-02 | 3,5E-02 | 3,1E-02 | 5,8E-04 | 0,760 | 1307 | 23 |
| 40 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 1,4E-02 | 2,0E-04 | 0,388 | 1958 | 39 | 2,3E-02 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 3,3E-04 | 0,388 | 1159 | 26 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 3,6E-04 | 0,760 | 2085 | 31 | 3,9E-02 | 3,4E-02 | 2,9E-02 | 5,7E-04 | 0,760 | 1323 | 22 |
| 46 | 6,9E-03 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,388 | 2110 | 40 | 2,0E-02 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 3,1E-04 | 0,389 | 1245 | 27 | 1,5E-02 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 3,4E-04 | 0,760 | 2210 | 32 | 3,3E-02 | 3,4E-02 | 2,9E-02 | 5,4E-04 | 0,761 | 1416 | 23 |
| 54 | 9,6E-03 | 1,1E-02 | 7,4E-03 | 1,7E-04 | 0,388 | 2339 | 43 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 3,0E-04 | 0,388 | 1279 | 27 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 1,6E-02 | 3,2E-04 | 0,761 | 2351 | 33 | 3,3E-02 | 3,5E-02 | 2,6E-02 | 5,3E-04 | 0,761 | 1427 | 23 |
| 61 | 1,1E-02 | 9,6E-03 | 8,1E-03 | 1,7E-04 | 0,388 | 2265 | 42 | 1,2E-02 | 1,9E-02 | 2,3E-02 | 3,0E-04 | 0,389 | 1286 | 27 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 3,3E-04 | 0,761 | 2338 | 33 | 2,4E-02 | 3,0E-02 | 3,7E-02 | 5,2E-04 | 0,761 | 1471 | 23 |
| 75 | 7,3E-03 | 8,9E-03 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,389 | 2368 | 42 | 1,5E-02 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 2,8E-04 | 0,390 | 1411 | 28 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-04 | 0,763 | 2481 | 33 | 2,6E-02 | 3,4E-02 | 2,7E-02 | 4,9E-04 | 0,763 | 1559 | 24 |
| 88 | 7,8E-03 | 8,6E-03 | 7,7E-03 | 1,4E-04 | 0,390 | 2751 | 46 | 1,5E-02 | 2,0E-02 | 1,2E-02 | 2,6E-04 | 0,389 | 1493 | 29 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 2,8E-04 | 0,762 | 2704 | 35 | 2,6E-02 | 3,3E-02 | 2,3E-02 | 4,6E-04 | 0,763 | 1645 | 25 |
| 103 | 9,4E-03 | 1,2E-02 | 6,0E-03 | 1,6E-04 | 0,388 | 2443 | 42 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 1,9E-02 | 2,6E-04 | 0,388 | 1500 | 27 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,8E-04 | 0,760 | 2732 | 33 | 3,1E-02 | 2,9E-02 | 2,1E-02 | 4,6E-04 | 0,760 | 1651 | 22 |
| 112 | 1,1E-02 | 8,0E-03 | 6,1E-03 | 1,5E-04 | 0,388 | 2648 | 46 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 1,1E-02 | 2,6E-04 | 0,388 | 1499 | 29 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,8E-04 | 0,760 | 2732 | 33 | 3,1E-02 | 2,9E-02 | 2,1E-02 | 4,6E-04 | 0,760 | 1651 | 22 |
| 123 | 8,1E-03 | 5,7E-03 | 6,1E-03 | 1,2E-04 | 0,321 | 2758 | 48 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 9,5E-03 | 2,1E-04 | 0,322 | 1542 | 29 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 2,3E-04 | 0,632 | 2778 | 35 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 1,7E-02 | 3,7E-04 | 0,632 | 1722 | 24 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|-----------|-----------|---------|---------|------|----|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|----|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|----|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | |
| | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 2,9E-02 | 4,3E-02 | 3,6E-02 | 5,9E-04 | 0,397 | 671 | 27 | 3,8E-02 | 4,5E-02 | 4,3E-02 | 6,9E-04 | 0,397 | 578 | 22 | 4,3E-02 | 6,6E-02 | 5,4E-02 | 8,9E-04 | 0,775 | 868 | 23 | 4,6E-02 | 8,1E-02 | 7,4E-02 | 1,1E-03 | 0,775 | 707 | 20 |
| 5 | 2,1E-02 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 3,0E-04 | 0,398 | 1317 | 38 | 3,0E-02 | 2,3E-02 | 2,7E-02 | 4,3E-04 | 0,397 | 915 | 29 | 3,1E-02 | 3,3E-02 | 2,6E-02 | 4,9E-04 | 0,777 | 1573 | 33 | 5,2E-02 | 3,9E-02 | 4,5E-02 | 7,4E-04 | 0,777 | 1046 | 25 |
| 8 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 2,7E-04 | 0,398 | 1465 | 39 | 2,5E-02 | 2,5E-02 | 1,9E-02 | 3,7E-04 | 0,398 | 1061 | 29 | 2,7E-02 | 2,8E-02 | 3,0E-02 | 4,7E-04 | 0,777 | 1662 | 33 | 3,8E-02 | 4,3E-02 | 3,4E-02 | 6,3E-04 | 0,777 | 1227 | 25 |
| 12 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,398 | 1701 | 41 | 1,9E-02 | 2,4E-02 | 2,2E-02 | 3,5E-04 | 0,398 | 1127 | 29 | 2,6E-02 | 2,7E-02 | 2,3E-02 | 4,2E-04 | 0,777 | 1856 | 34 | 3,4E-02 | 3,6E-02 | 4,1E-02 | 6,0E-04 | 0,777 | 1287 | 25 |
| 15 | 8,8E-03 | 1,7E-02 | 1,0E-02 | 2,0E-04 | 0,398 | 2012 | 45 | 1,7E-02 | 2,2E-02 | 2,5E-02 | 3,4E-04 | 0,398 | 1158 | 29 | 1,9E-02 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 3,4E-04 | 0,777 | 2278 | 37 | 3,1E-02 | 3,5E-02 | 4,0E-02 | 5,8E-04 | 0,776 | 1335 | 25 |
| 18 | 1,0E-02 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 2,0E-04 | 0,398 | 1958 | 42 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 2,7E-02 | 3,4E-04 | 0,399 | 1156 | 28 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 3,4E-04 | 0,777 | 2275 | 35 | 3,3E-02 | 3,0E-02 | 4,4E-02 | 5,8E-04 | 0,776 | 1331 | 24 |
| 27 | 1,1E-02 | 8,7E-03 | 9,8E-03 | 1,6E-04 | 0,400 | 2505 | 47 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 3,0E-04 | 0,398 | 1312 | 31 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 3,0E-04 | 0,776 | 2553 | 37 | 3,1E-02 | 3,6E-02 | 2,9E-02 | 5,2E-04 | 0,777 | 1494 | 26 |
| 32 | 1,1E-02 | 9,3E-03 | 8,6E-03 | 1,6E-04 | 0,383 | 2458 | 47 | 2,2E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,9E-04 | 0,383 | 1321 | 31 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 3,0E-04 | 0,746 | 2507 | 36 | 3,6E-02 | 3,0E-02 | 2,7E-02 | 5,1E-04 | 0,745 | 1466 | 26 |
| 40 | 8,0E-03 | 8,2E-03 | 1,1E-02 | 1,6E-04 | 0,383 | 2378 | 47 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 2,9E-04 | 0,383 | 1334 | 30 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 3,1E-04 | 0,748 | 2415 | 37 | 3,4E-02 | 2,9E-02 | 2,6E-02 | 5,1E-04 | 0,748 | 1480 | 26 |
| 46 | 5,6E-03 | 9,9E-03 | 9,9E-03 | 1,5E-04 | 0,383 | 2571 | 49 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 2,6E-04 | 0,382 | 1455 | 32 | 1,3E-02 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,747 | 2563 | 38 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 2,5E-02 | 4,7E-04 | 0,747 | 1587 | 27 |
| 54 | 7,9E-03 | 9,1E-03 | 6,1E-03 | 1,4E-04 | 0,384 | 2834 | 53 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 2,6E-04 | 0,384 | 1483 | 32 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 2,8E-04 | 0,750 | 2708 | 39 | 3,0E-02 | 3,1E-02 | 2,3E-02 | 4,7E-04 | 0,750 | 1591 | 27 |
| 61 | 9,2E-03 | 7,6E-03 | 6,7E-03 | 1,4E-04 | 0,383 | 2781 | 52 | 9,9E-03 | 1,6E-02 | 1,9E-02 | 2,5E-04 | 0,383 | 1510 | 32 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 2,8E-04 | 0,748 | 2711 | 39 | 2,1E-02 | 2,7E-02 | 3,2E-02 | 4,5E-04 | 0,746 | 1660 | 27 |
| 75 | 5,9E-03 | 7,2E-03 | 9,5E-03 | 1,3E-04 | 0,385 | 2892 | 51 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-04 | 0,384 | 1633 | 33 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 2,6E-04 | 0,751 | 2860 | 39 | 2,3E-02 | 3,0E-02 | 2,3E-02 | 4,3E-04 | 0,750 | 1739 | 28 |
| 88 | 6,3E-03 | 7,0E-03 | 6,2E-03 | 1,1E-04 | 0,385 | 3361 | 57 | 1,3E-02 | 1,6E-02 | 1,0E-02 | 2,2E-04 | 0,383 | 1752 | 35 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 2,4E-04 | 0,750 | 3115 | 42 | 2,3E-02 | 2,8E-02 | 2,0E-02 | 4,0E-04 | 0,749 | 1860 | 29 |
| 103 | 7,6E-03 | 9,6E-03 | 5,0E-03 | 1,3E-04 | 0,384 | 2965 | 51 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 2,2E-04 | 0,383 | 1745 | 31 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 2,4E-04 | 0,748 | 3167 | 38 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 3,0E-02 | 4,0E-04 | 0,748 | 1849 | 25 |
| 112 | 8,8E-03 | 6,3E-03 | 5,1E-03 | 1,2E-04 | 0,383 | 3228 | 57 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 9,2E-03 | 2,2E-04 | 0,383 | 1750 | 34 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 2,4E-04 | 0,748 | 3167 | 38 | 2,8E-02 | 2,5E-02 | 1,8E-02 | 4,0E-04 | 0,748 | 1857 | 25 |
| 123 | 6,4E-03 | 4,7E-03 | 4,9E-03 | 9,4E-05 | 0,339 | 3593 | 59 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 8,2E-03 | 1,8E-04 | 0,338 | 1901 | 35 | 1,2E-02 | 9,9E-03 | 1,0E-02 | 1,9E-04 | 0,663 | 3453 | 43 | 2,2E-02 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 3,2E-04 | 0,663 | 2059 | 28 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|-----------|-----------|---------|---------|------|----|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|----|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|----|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | | Moule 7 | | | | | | | Moule 8 | | | | | | |
| | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 2,5E-02 | 3,8E-02 | 3,1E-02 | 5,1E-04 | 0,383 | 744 | 31 | 3,3E-02 | 4,0E-02 | 3,8E-02 | 6,1E-04 | 0,383 | 625 | 26 | 4,0E-02 | 5,8E-02 | 4,7E-02 | 7,9E-04 | 0,751 | 949 | 27 | 4,3E-02 | 7,3E-02 | 6,7E-02 | 1,0E-03 | 0,751 | 753 | 23 |
| 5 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 1,3E-02 | 2,5E-04 | 0,384 | 1505 | 44 | 2,6E-02 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 3,8E-04 | 0,381 | 1015 | 33 | 2,7E-02 | 2,9E-02 | 2,2E-02 | 4,3E-04 | 0,754 | 1762 | 37 | 4,6E-02 | 3,5E-02 | 4,0E-02 | 6,6E-04 | 0,750 | 1132 | 28 |
| 8 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 2,3E-04 | 0,383 | 1687 | 46 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Annexe 27 – Résultats d'essais à 35°C et 70% d'HR – Essais à 15 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 8,3E-02 | 6,3E-02 | 6,0E-02 | 1,2E-03 | 0,403 | 335 | 13 | 9,7E-02 | 6,6E-02 | 4,3E-02 | 1,1E-03 | 0,404 | 366 | 14 | 1,3E-01 | 9,1E-02 | 8,4E-02 | 1,8E-03 | 0,789 | 436 | 12 | 1,0E-01 | 1,3E-01 | 1,7E-01 | 2,2E-03 | 0,788 | 358 | 11 |
| 5 | 7,2E-02 | 3,4E-02 | 8,5E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 362 | 13 | 9,7E-02 | 5,6E-02 | 1,4E-01 | 1,6E-03 | 0,403 | 252 | 13 | 1,0E-01 | 4,8E-02 | 1,2E-01 | 1,6E-03 | 0,789 | 497 | 12 | 1,2E-01 | 7,2E-02 | 1,7E-01 | 1,9E-03 | 0,789 | 408 | 12 |
| 8 | 3,9E-02 | 4,7E-02 | 5,6E-02 | 8,3E-04 | 0,403 | 487 | 15 | 9,7E-02 | 6,6E-02 | 4,3E-02 | 1,1E-03 | 0,404 | 366 | 14 | 6,1E-02 | 7,3E-02 | 8,1E-02 | 1,3E-03 | 0,789 | 626 | 12 | 1,2E-01 | 1,0E-01 | 6,3E-02 | 1,6E-03 | 0,789 | 509 | 12 |
| 12 | 4,2E-02 | 3,4E-02 | 4,6E-02 | 7,2E-04 | 0,403 | 562 | 17 | 6,8E-02 | 5,8E-02 | 3,9E-02 | 8,9E-04 | 0,403 | 454 | 18 | 6,3E-02 | 5,4E-02 | 6,8E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 730 | 15 | 8,2E-02 | 8,4E-02 | 5,7E-02 | 1,2E-03 | 0,788 | 660 | 16 |
| 15 | 3,5E-02 | 2,4E-02 | 5,2E-02 | 6,5E-04 | 0,403 | 620 | 19 | 3,2E-02 | 6,0E-02 | 2,9E-02 | 6,5E-04 | 0,404 | 621 | 20 | 5,4E-02 | 4,0E-02 | 7,9E-02 | 1,0E-03 | 0,789 | 781 | 16 | 5,3E-02 | 8,0E-02 | 5,3E-02 | 1,0E-03 | 0,789 | 793 | 17 |
| 18 | 3,4E-02 | 2,2E-02 | 5,0E-02 | 6,2E-04 | 0,403 | 646 | 20 | 4,4E-02 | 2,3E-02 | 3,7E-02 | 5,6E-04 | 0,403 | 724 | 23 | 5,3E-02 | 4,4E-02 | 7,3E-02 | 9,9E-04 | 0,790 | 794 | 17 | 6,5E-02 | 4,3E-02 | 5,6E-02 | 8,8E-04 | 0,789 | 894 | 19 |
| 27 | 2,0E-02 | 3,3E-02 | 2,8E-02 | 4,7E-04 | 0,403 | 859 | 24 | 1,7E-02 | 4,9E-02 | 2,9E-02 | 5,1E-04 | 0,403 | 798 | 24 | 3,4E-02 | 5,2E-02 | 4,3E-02 | 7,6E-04 | 0,789 | 1039 | 20 | 3,6E-02 | 5,6E-02 | 5,1E-02 | 7,7E-04 | 0,790 | 1027 | 20 |
| 32 | 3,2E-02 | 2,6E-02 | 1,7E-02 | 4,4E-04 | 0,391 | 886 | 25 | 3,5E-02 | 2,6E-02 | 2,0E-02 | 4,3E-04 | 0,391 | 907 | 25 | 5,0E-02 | 4,3E-02 | 3,0E-02 | 7,2E-04 | 0,766 | 1059 | 20 | 5,4E-02 | 4,4E-02 | 3,5E-02 | 7,1E-04 | 0,767 | 1074 | 21 |
| 40 | 2,6E-02 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 3,7E-04 | 0,392 | 1062 | 27 | 4,1E-02 | 1,4E-02 | 2,9E-02 | 4,7E-04 | 0,392 | 832 | 25 | 4,2E-02 | 3,3E-02 | 3,1E-02 | 6,2E-04 | 0,767 | 1238 | 22 | 5,7E-02 | 2,7E-02 | 4,7E-02 | 7,4E-04 | 0,767 | 1037 | 21 |
| 46 | 1,8E-02 | 2,4E-02 | 1,7E-02 | 3,5E-04 | 0,393 | 1134 | 28 | 1,7E-02 | 2,4E-02 | 3,0E-02 | 4,0E-04 | 0,392 | 982 | 25 | 3,2E-02 | 4,1E-02 | 2,9E-02 | 6,0E-04 | 0,767 | 1287 | 22 | 3,5E-02 | 3,6E-02 | 4,4E-02 | 6,4E-04 | 0,767 | 1192 | 22 |
| 54 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 2,4E-02 | 3,3E-04 | 0,393 | 1195 | 28 | 3,0E-02 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 3,7E-04 | 0,392 | 1061 | 26 | 2,8E-02 | 2,8E-02 | 4,0E-02 | 5,6E-04 | 0,767 | 1365 | 22 | 4,7E-02 | 3,2E-02 | 3,3E-02 | 6,2E-04 | 0,767 | 1231 | 21 |
| 61 | 2,3E-02 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 3,3E-04 | 0,392 | 1204 | 28 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 3,3E-04 | 0,392 | 1173 | 27 | 3,7E-02 | 2,7E-02 | 2,9E-02 | 5,5E-04 | 0,767 | 1405 | 23 | 3,5E-02 | 3,4E-02 | 3,2E-02 | 5,7E-04 | 0,766 | 1353 | 22 |
| 75 | | | | | | | | 2,1E-02 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 3,3E-04 | 0,393 | 1199 | 27 | 3,0E-02 | 4,7E-02 | 3,2E-02 | 6,3E-04 | 0,769 | 1214 | 21 | 3,5E-02 | 3,4E-02 | 3,0E-02 | 5,5E-04 | 0,768 | 1386 | 22 |
| 88 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,393 | 1333 | 29 | 1,1E-02 | 2,1E-02 | 2,6E-02 | 3,2E-04 | 0,393 | 1220 | 27 | 2,5E-02 | 3,2E-02 | 3,2E-02 | 5,2E-04 | 0,769 | 1482 | 23 | 2,6E-02 | 3,0E-02 | 3,8E-02 | 5,3E-04 | 0,769 | 1461 | 23 |
| 103 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 1,4E-02 | 3,0E-04 | 0,392 | 1298 | 28 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 3,0E-04 | 0,392 | 1287 | 28 | 3,1E-02 | 3,2E-02 | 2,4E-02 | 5,0E-04 | 0,767 | 1519 | 23 | 3,1E-02 | 3,2E-02 | 2,9E-02 | 5,2E-04 | 0,767 | 1473 | 23 |
| 112 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,8E-04 | 0,393 | 1395 | 29 | | | | | | | | 2,7E-02 | 2,7E-02 | 2,8E-02 | 4,8E-04 | 0,768 | 1599 | 23 | | | | | | | |
| 123 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 2,8E-04 | 0,409 | 1467 | 28 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 3,0E-04 | 0,409 | 1349 | 27 | 2,8E-02 | 2,7E-02 | 2,6E-02 | 4,8E-04 | 0,799 | 1673 | 23 | 3,4E-02 | 3,1E-02 | 2,8E-02 | 5,2E-04 | 0,799 | 1531 | 22 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 7,1E-02 | 5,1E-02 | 4,8E-02 | 9,9E-04 | 0,403 | 406 | 16 | 7,8E-02 | 5,5E-02 | 3,2E-02 | 8,9E-04 | 0,403 | 452 | 17 | 1,1E-01 | 7,5E-02 | 7,0E-02 | 1,5E-03 | 0,791 | 522 | 14 | 8,0E-02 | 1,1E-01 | 1,4E-01 | 1,8E-03 | 0,792 | 446 | 14 |
| 5 | 6,0E-02 | 2,7E-02 | 7,3E-02 | 9,3E-04 | 0,403 | 432 | 16 | 7,3E-02 | 4,4E-02 | 1,0E-01 | 1,2E-03 | 0,403 | 342 | 16 | 8,5E-02 | 3,9E-02 | 1,1E-01 | 1,4E-03 | 0,792 | 585 | 15 | 9,4E-02 | 5,7E-02 | 1,1E-01 | 1,4E-03 | 0,792 | 570 | 15 |
| 8 | 3,2E-02 | 3,8E-02 | 4,5E-02 | 6,7E-04 | 0,403 | 598 | 17 | 7,8E-02 | 5,5E-02 | 3,2E-02 | 8,9E-04 | 0,403 | 452 | 17 | 5,2E-02 | 6,2E-02 | 6,7E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 750 | 15 | 1,1E-01 | 8,9E-02 | 5,2E-02 | 1,3E-03 | 0,792 | 600 | 15 |
| 12 | 3,1E-02 | 2,6E-02 | 3,4E-02 | 5,3E-04 | 0,403 | 755 | 21 | 4,6E-02 | 4,3E-02 | 2,5E-02 | 6,1E-04 | 0,403 | 659 | 22 | 5,0E-02 | 4,2E-02 | 5,3E-02 | 8,5E-04 | 0,792 | 931 | 18 | 6,1E-02 | 6,3E-02 | 4,1E-02 | 8,9E-04 | 0,792 | 892 | 19 |
| 15 | 2,5E-02 | 1,6E-02 | 3,8E-02 | 4,7E-04 | 0,403 | 865 | 24 | 2,0E-02 | 4,2E-02 | 2,0E-02 | 4,4E-04 | 0,403 | 906 | 25 | 4,1E-02 | 3,0E-02 | 6,3E-02 | 7,8E-04 | 0,791 | 1014 | 19 | 3,7E-02 | 5,9E-02 | 4,0E-02 | 7,3E-04 | 0,792 | 1083 | 21 |
| 18 | 2,3E-02 | 1,5E-02 | 3,7E-02 | 4,4E-04 | 0,403 | 915 | 25 | 3,0E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-02 | 3,6E-04 | 0,403 | 1118 | 28 | 3,9E-02 | 3,2E-02 | 5,6E-02 | 7,4E-04 | 0,792 | 1069 | 21 | 4,8E-02 | 2,8E-02 | 4,1E-02 | 6,3E-04 | 0,792 | 1261 | 23 |
| 27 | 1,1E-02 | 2,2E-02 | 1,7E-02 | 3,0E-04 | 0,403 | 1360 | 30 | 1,0E-02 | 3,3E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,403 | 1213 | 27 | 2,3E-02 | 3,8E-02 | 2,9E-02 | 5,3E-04 | 0,792 | 1504 | 24 | 2,5E-02 | 3,8E-02 | 3,6E-02 | 5,3E-04 | 0,792 | 1493 | 24 |
| 32 | 2,0E-02 | 1,6E-02 | 9,8E-03 | 2,7E-04 | 0,388 | 1454 | 31 | 2,2E-02 | 1,6E-02 | 1,1E-02 | 2,6E-04 | 0,389 | 1491 | 30 | 3,4E-02 | 3,0E-02 | 2,0E-02 | 4,9E-04 | 0,762 | 1556 | 25 | 3,7E-02 | 3,1E-02 | 2,2E-02 | 4,8E-04 | 0,763 | 1589 | 25 |
| 40 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 9,1E-03 | 2,1E-04 | 0,389 | 1838 | 34 | 2,8E-02 | 7,7E-03 | 1,7E-02 | 3,0E-04 | 0,389 | 1304 | 28 | 2,8E-02 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 4,1E-04 | 0,763 | 1879 | 27 | 4,1E-02 | 1,7E-02 | 3,1E-02 | 5,0E-04 | 0,763 | 1534 | 24 |
| 46 | 1,0E-02 | 1,5E-02 | 8,9E-03 | 2,0E-04 | 0,389 | 1939 | 35 | 9,6E-03 | 1,4E-02 | 2,0E-02 | 2,4E-04 | 0,389 | 1606 | 28 | 2,0E-02 | 2,8E-02 | 1,8E-02 | 3,9E-04 | 0,763 | 1949 | 27 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 3,0E-02 | 4,3E-04 | 0,762 | 1788 | 25 |
| 54 | 9,2E-03 | 8,2E-03 | 1,5E-02 | 1,9E-04 | 0,388 | 2026 | 34 | 2,0E-02 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 2,3E-04 | 0,389 | 1716 | 29 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 2,8E-02 | 3,7E-04 | 0,763 | 2044 | 26 | 3,4E-02 | 2,2E-02 | 2,0E-02 | 4,3E-04 | 0,763 | 1785 | 24 |
| 61 | 1,4E-02 | 8,5E-03 | 9,7E-03 | 1,9E-04 | 0,389 | 2052 | 33 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,389 | 1999 | 31 | 2,6E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 3,6E-04 | 0,763 | 2141 | 27 | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 3,7E-04 | 0,762 | 2048 | 25 |
| 75 | | | | | | | | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 8,4E-03 | 1,9E-04 | 0,390 | 2002 | 30 | 2,0E-02 | 3,3E-02 | 1,1E-02 | 4,4E-04 | 0,765 | 1758 | 24 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 1,8E-02 | 3,7E-04 | 0,765 | 2075 | 25 |
| 88 | 7,6E-03 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,389 | 2290 | 35 | 4,9E-03 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 1,9E-04 | 0,390 | 2031 | 32 | 1,5E-02 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 3,4E-04 | 0,765 | 2226 | 26 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 2,7E-02 | 3,4E-04 | 0,765 | 2244 | 26 |
| 103 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 7,5E-03 | 1,8E-04 | 0,389 | 2195 | 33 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 8,8E-03 | 1,8E-04 | 0,388 | 2206 | 32 | 2,0E-02 | 2,2E-02 | 1,5E-02 | 3,3E-04 | 0,762 | 2288 | 27 | 2,1E-02 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 3,4E-04 | 0,762 | 2254 | 26 |
| 112 | 9,5E-03 | 8,3E-03 | 9,5E-03 | 1,6E-04 | 0,388 | 2436 | 36 | | | | | | | | 1,8E-02 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 3,1E-04 | 0,762 | 2456 | 27 | | | | | | | |
| 123 | 9,6E-03 | 9,5E-03 | 9,2E-03 | 1,7E-04 | 0,398 | 2404 | 33 | 1,4E-02 | 1,0E-02 | 8,9E-03 | 1,8E-04 | 0,398 | 2179 | 30 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,7E-02 | 3,1E-04 | 0,784 | 2522 | 26 | 2,4E-02 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 3,4E-04 | 0,785 | 2277 | 25 |



| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|-----------|-----------|---------|---------|------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | Moule 9 | | | | | | | Moule 10 | | | | | | | |
| | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 6,5E-02 | 4,5E-02 | 4,3E-02 | 9,0E-04 | 0,403 | 449 | 18 | 7,0E-02 | 5,0E-02 | 2,8E-02 | 7,9E-04 | 0,403 | 508 | 20 | 1,0E-01 | 6,7E-02 | 6,2E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 581 | 17 | 6,9E-02 | 1,0E-01 | 1,2E-01 | 1,6E-03 | 0,789 | 496 | 16 |
| 5 | 5,4E-02 | 2,3E-02 | 6,7E-02 | 8,4E-04 | 0,403 | 479 | 19 | 6,4E-02 | 3,9E-02 | 9,0E-02 | 1,0E-03 | 0,403 | 390 | 18 | 7,6E-02 | 3,4E-02 | 9,7E-02 | 1,2E-03 | 0,789 | 651 | 18 | 7,7E-02 | 5,4E-02 | 7,6E-02 | 1,1E-03 | 0,788 | 708 | 18 |
| 8 | 2,8E-02 | 3,4E-02 | 4,0E-02 | 6,0E-04 | 0,403 | 673 | 21 | 7,0E-02 | 5,0E-02 | 2,8E-02 | 7,9E-04 | 0,403 | 508 | 20 | 4,6E-02 | 5,6E-02 | 6,0E-02 | 9,5E-04 | 0,790 | 833 | 18 | 9,3E-02 | 8,1E-02 | 4,6E-02 | 1,2E-03 | 0,789 | 670 | 17 |
| 12 | 2,6E-02 | 2,2E-02 | 2,9E-02 | 4,5E-04 | 0,403 | 897 | 25 | 3,8E-02 | 3,5E-02 | 2,0E-02 | 5,0E-04 | 0,403 | 807 | 25 | 4,3E-02 | 3,7E-02 | 4,6E-02 | 7,3E-04 | 0,790 | 1077 | 21 | 5,1E-02 | 5,4E-02 | 3,4E-02 | 7,5E-04 | 0,790 | 1053 | 23 |
| 15 | 2,1E-02 | 1,3E-02 | 3,3E-02 | 3,9E-04 | 0,403 | 1038 | 28 | 1,6E-02 | 3,5E-02 | 1,7E-02 | 3,6E-04 | 0,403 | 1108 | 28 | 3,5E-02 | 2,5E-02 | 5,5E-02 | 6,7E-04 | 0,789 | 1176 | 23 | 3,0E-02 | 5,0E-02 | 3,4E-02 | 6,2E-04 | 0,790 | 1284 | 25 |
| 18 | 1,9E-02 | 1,3E-02 | 3,1E-02 | 3,7E-04 | 0,403 | 1097 | 29 | 2,4E-02 | 1,0E-02 | 1,9E-02 | 2,9E-04 | 0,403 | 1399 | 32 | 3,2E-02 | 2,7E-02 | 4,9E-02 | 6,3E-04 | 0,790 | 1254 | 24 | 4,1E-02 | 2,3E-02 | 3,4E-02 | 5,2E-04 | 0,790 | 1506 | 27 |
| 27 | 8,2E-03 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,403 | 1740 | 35 | 8,2E-03 | 2,6E-02 | 1,5E-02 | 2,7E-04 | 0,403 | 1517 | 31 | 1,8E-02 | 3,3E-02 | 2,4E-02 | 4,4E-04 | 0,790 | 1809 | 28 | 2,1E-02 | 3,1E-02 | 2,9E-02 | 4,4E-04 | 0,789 | 1809 | 28 |
| 32 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 7,3E-03 | 2,1E-04 | 0,388 | 1875 | 36 | 1,7E-02 | 1,3E-02 | 7,9E-03 | 2,0E-04 | 0,388 | 1896 | 33 | 2,8E-02 | 2,4E-02 | 1,6E-02 | 3,9E-04 | 0,761 | 1928 | 29 | 3,1E-02 | 2,5E-02 | 1,7E-02 | 3,9E-04 | 0,761 | 1944 | 28 |
| 40 | 1,2E-02 | 8,6E-03 | 6,6E-03 | 1,6E-04 | 0,388 | 2434 | 40 | 2,4E-02 | 5,8E-03 | 1,4E-02 | 2,5E-04 | 0,388 | 1583 | 31 | 2,3E-02 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 3,3E-04 | 0,760 | 2336 | 31 | 3,5E-02 | 1,4E-02 | 2,5E-02 | 4,1E-04 | 0,761 | 1842 | 27 |
| 46 | 7,4E-03 | 1,2E-02 | 6,6E-03 | 1,5E-04 | 0,388 | 2558 | 41 | 7,4E-03 | 1,1E-02 | 1,6E-02 | 1,9E-04 | 0,389 | 2034 | 32 | 1,6E-02 | 2,3E-02 | 1,4E-02 | 3,1E-04 | 0,761 | 2430 | 31 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 2,5E-02 | 3,5E-04 | 0,760 | 2198 | 28 |
| 54 | 6,9E-03 | 6,0E-03 | 1,2E-02 | 1,5E-04 | 0,389 | 2647 | 40 | 1,7E-02 | 8,0E-03 | 7,3E-03 | 1,8E-04 | 0,388 | 2157 | 32 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 2,3E-02 | 3,0E-04 | 0,761 | 2523 | 30 | 2,9E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 3,5E-04 | 0,760 | 2153 | 26 |
| 61 | 1,1E-02 | 6,4E-03 | 7,2E-03 | 1,5E-04 | 0,388 | 2660 | 38 | 7,9E-03 | 9,7E-03 | 9,5E-03 | 1,5E-04 | 0,389 | 2568 | 34 | 2,1E-02 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 2,9E-04 | 0,761 | 2652 | 30 | 1,6E-02 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 3,0E-04 | 0,760 | 2501 | 28 |
| 75 | | | | | | | | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 6,1E-03 | 1,5E-04 | 0,389 | 2528 | 34 | 1,7E-02 | 2,9E-02 | 1,7E-02 | 3,7E-04 | 0,762 | 2064 | 26 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 1,4E-02 | 3,0E-04 | 0,763 | 2566 | 29 |
| 88 | 5,5E-03 | 8,0E-03 | 8,7E-03 | 1,3E-04 | 0,390 | 3003 | 40 | 3,7E-03 | 9,2E-03 | 1,4E-02 | 1,5E-04 | 0,389 | 2537 | 36 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 2,8E-04 | 0,763 | 2735 | 30 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 2,3E-02 | 2,8E-04 | 0,763 | 2746 | 29 |
| 103 | 8,2E-03 | 9,7E-03 | 5,6E-03 | 1,4E-04 | 0,388 | 2823 | 38 | 9,1E-03 | 8,9E-03 | 6,3E-03 | 1,4E-04 | 0,388 | 2849 | 36 | 1,6E-02 | 1,9E-02 | 1,2E-02 | 2,7E-04 | 0,760 | 2802 | 30 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,4E-02 | 2,8E-04 | 0,760 | 2761 | 28 |
| 112 | 7,4E-03 | 6,1E-03 | 7,4E-03 | 1,2E-04 | 0,388 | 3171 | 42 | | | | | | | | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 2,5E-04 | 0,761 | 3035 | 31 | | | | | | | |
| 123 | 7,0E-03 | 7,0E-03 | 6,7E-03 | 1,2E-04 | 0,340 | 2817 | 38 | 1,1E-02 | 7,2E-03 | 6,2E-03 | 1,3E-04 | 0,338 | 2507 | 34 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,3E-04 | 0,630 | 2794 | 29 | 1,8E-02 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 2,5E-04 | 0,631 | 2528 | 27 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|-----------|-----------|---------|---------|------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | Moule 9 | | | | | | | Moule 10 | | | | | | | |
| | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 6,1E-02 | 4,0E-02 | 3,9E-02 | 8,2E-04 | 0,397 | 485 | 21 | 6,2E-02 | 4,6E-02 | 2,4E-02 | 7,1E-04 | 0,396 | 556 | 22 | 9,3E-02 | 6,2E-02 | 5,5E-02 | 1,2E-03 | 0,775 | 629 | 20 | 6,3E-02 | 9,5E-02 | 1,1E-01 | 1,5E-03 | 0,776 | 535 | 19 |
| 5 | 4,8E-02 | 2,0E-02 | 6,1E-02 | 7,6E-04 | 0,396 | 525 | 23 | 5,7E-02 | 3,5E-02 | 8,0E-02 | 9,2E-04 | 0,395 | 427 | 22 | 6,8E-02 | 3,1E-02 | 8,8E-02 | 1,1E-03 | 0,776 | 712 | 21 | 7,4E-02 | 5,4E-02 | 5,9E-02 | 1,0E-03 | 0,775 | 769 | 21 |
| 8 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 3,6E-02 | 5,4E-04 | 0,397 | 741 | 24 | 6,2E-02 | 4,6E-02 | 2,4E-02 | 7,1E-04 | 0,396 | 556 | 22 | 4,2E-02 | 5,0E-02 | 5,3E-02 | 8,5E-04 | 0,776 | 911 | 21 | 8,2E-02 | 7,4E-02 | 4,1E-02 | 1,1E-03 | 0,775 | 734 | 20 |
| 12 | 2,3E-02 | 1,9E-02 | 2,5E-02 | 3,9E-04 | 0,397 | 1028 | 29 | 3,2E-02 | 3,0E-02 | 1,7E-02 | 4,2E-04 | 0,397 | 935 | 29 | 3,8E-02 | 3,2E-02 | 4,0E-02 | 6,5E-04 | 0,778 | 1205 | 25 | 4,4E-02 | 4,7E-02 | 3,0E-02 | 6,5E-04 | 0,777 | 1193 | 26 |
| 15 | 1,8E-02 | 1,1E-02 | 2,8E-02 | 3,3E-04 | 0,398 | 1191 | 32 | 1,3E-02 | 3,0E-02 | 1,5E-02 | 3,1E-04 | 0,398 | 1293 | 33 | 3,1E-02 | 2,2E-02 | 4,8E-02 | 5,9E-04 | 0,776 | 1325 | 27 | 2,6E-02 | 4,3E-02 | 3,0E-02 | 5,3E-04 | 0,778 | 1458 | 28 |
| 18 | 1,6E-02 | 1,1E-02 | 2,7E-02 | 3,2E-04 | 0,399 | 1264 | 33 | 2,1E-02 | 8,3E-03 | 1,6E-02 | 2,4E-04 | 0,399 | 1641 | 36 | 2,7E-02 | 2,3E-02 | 4,3E-02 | 5,5E-04 | 0,777 | 1425 | 28 | 3,5E-02 | 1,9E-02 | 3,0E-02 | 4,5E-04 | 0,777 | 1732 | 30 |
| 27 | 6,6E-03 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,398 | 2069 | 41 | 7,1E-03 | 2,1E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,398 | 1787 | 35 | 1,5E-02 | 2,8E-02 | 2,0E-02 | 3,7E-04 | 0,778 | 2097 | 32 | 1,9E-02 | 2,6E-02 | 2,5E-02 | 3,7E-04 | 0,778 | 2075 | 31 |
| 32 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 5,9E-03 | 1,7E-04 | 0,384 | 2266 | 42 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 6,4E-03 | 1,7E-04 | 0,384 | 2260 | 38 | 2,3E-02 | 2,0E-02 | 1,3E-02 | 3,3E-04 | 0,747 | 2272 | 34 | 2,6E-02 | 2,2E-02 | 1,4E-02 | 3,3E-04 | 0,746 | 2271 | 32 |
| 40 | 9,9E-03 | 7,1E-03 | 5,5E-03 | 1,3E-04 | 0,383 | 2918 | 48 | 2,1E-02 | 4,9E-03 | 1,2E-02 | 2,1E-04 | 0,383 | 1824 | 35 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 2,8E-04 | 0,749 | 2704 | 36 | 3,0E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-02 | 3,5E-04 | 0,747 | 2127 | 30 |
| 46 | 5,9E-03 | 1,0E-02 | 5,3E-03 | 1,2E-04 | 0,383 | 3089 | 49 | 6,1E-03 | 8,4E-03 | 1,4E-02 | 1,6E-04 | 0,382 | 2415 | 36 | 1,3E-02 | 2,0E-02 | 1,2E-02 | 2,7E-04 | 0,747 | 2790 | 36 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 3,0E-04 | 0,748 | 2513 | 32 |
| 54 | 5,6E-03 | 4,8E-03 | 1,0E-02 | 1,2E-04 | 0,384 | 3184 | 47 | 1,4E-02 | 6,9E-03 | 5,8E-03 | 1,5E-04 | 0,383 | 2522 | 37 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-02 | 2,6E-04 | 0,749 | 2913 | 35 | 2,5E-02 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 3,1E-04 | 0,748 | 2448 | 30 |
| 61 | 9,6E-03 | 5,3E-03 | 5,8E-03 | 1,2E-04 | 0,384 | 3176 | 45 | 6,4E-03 | 8,2E-03 | 8,0E-03 | 1,3E-04 | 0,383 | 3027 | 40 | 1,8E-02 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 2,4E-04 | 0,747 | 3098 | 35 | 1,4E-02 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 2,6E-04 | 0,748 | 2850 | 31 |
| 75 | | | | | | | | 9,8E-03 | 8,6E-03 | 4,9E-03 | 1,3E-04 | 0,384 | 2931 | 39 | 1,6E-02 | 2,7E-02 | 1,5E-02 | 3,3E-04 | 0,750 | 2250 | 30 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 2,6E-04 | 0,751 | 2911 | 32 |
| 88 | 4,6E-03 | 6,5E-03 | 7,2E-03 | 1,1E-04 | 0,384 | 3592 | 48 | 3,8E-03 | 7,5E-03 | 1,3E-02 | 1,3E-04 | 0,384 | 2878 | 42 | 1,0E-02 | 1,4E-02 | 1,6E-02 | 2,4E-04 | 0,748 | 3141 | 34 | 9,8E-03 | 1,2E-02 | 2,0E-02 | 2,4E-04 | 0,748 | 3148 | 33 |
| 103 | 6,8E-03 | 8,3E-03 | 4,5E-03 | 1,2E-04 | 0,383 | 3326 | 44 | 7,8E-03 | 7,6E-03 | 5,1E-03 | 1,2E-04 | 0,384 | 3328 | 42 | 1,3E-02 | 1,6E-02 | 1,0E-02 | 2,3E-04 | 0,749 | 3190 | 34 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-04 | 0,748 | 3114 | 32 |
| 112 | 6,3E-03 | 5,1E-03 | 6,2E-03 | 1,0E-04 | 0,385 | 3758 | 49 | | | | | | | | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,750 | 3464 | 36 | | | | | | | |
| 123 | 5,5E-03 | 5,6E-03 | 5,3E-03 | 9,6E-05 | 0,333 | 3472 | 45 | 9,1E-03 | 5,7E-03 | 4,9E-03 | 1,1E-04 | 0,334 | 3027 | 39 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,659 | 3417 | 34 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 2,2E-04 | 0,660 | 3040 | 31 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|-----------|-----------|---------|---------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|-----|---------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|-----|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | Moule 9 | | | | | | | Moule 10 | | | | | | | |
| | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépli 3 | Δ dépli 2 | Δ dépli 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 5,6E-02 | 3,6E-02 | 3,5E-02 | 7,4E-04 | 0,382 | 515 | 24 | 5,6E-02 | 4,2E-02 | 2,1E-02 | 6,4E-04 | 0,385 | 603 | 26 | 8,8E-02 | 5,8E-02 | 5,2E-02 | 1,2E-03 | 0,752 | 650 | 22 | 5,8E-02 | 8,7E-02 | 1,0E-01 | 1,3E-03 | 0,755 | 570 | 22 |
| 5 | 4,3E-02 | 1,8E-02 | 5,5E-02 | 6,8E-04 | 0,386 | 570 | 26 | 5,2E-02 | 3,6E-02 | 7,5E-02 | 8,8E-04 | 0,383 | 437 | 24 | 6,1E-02 | 2,8E-02 | 7,8E-02 | 9,8E-04 | 0,753 | 771 | 23 | 7,0E-02 | 5,7E-02 | 7,7E-02 | 1,1E-03 | 0,762 | 695 | 24 |
| 8 | 2,3E-02 | 2,8E-02 | 3,2E-02 | 4,8E-04 | 0,383 | 795 | 28 | 5,6E-02 | 4,2E-02 | 2,1E-02 | 6,4E-04 | 0,385 | 603 | 26 | 3,8E-02 | 4,5E-02 | 4,7E-02 | 7,6E-04 | 0,749 | 983 | 24 | 7,3E-02 | 6,8E-02 | 3,8E-02 | 9,6E-04 | 0,753 | 786 | 23 |
| 12 | 2,0E-02 | 1,6E-02 | 2,2E-02 | 3,4E-04 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Annexe 28 – Résultats d'essais à 35°C et 70% d'HR – Essais à 20 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 9 | | | | | | | Moule 10 | | | | | | | Moule 9 | | | | | | | Moule 10 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 7,1E-02 | 6,8E-02 | 4,5E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 376 | 12 | 4,5E-02 | 7,1E-02 | 8,5E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 373 | 12 | 9,4E-02 | 1,1E-01 | 7,3E-02 | 1,6E-03 | 0,789 | 494 | 11 | 8,1E-02 | 1,1E-01 | 1,2E-01 | 1,7E-03 | 0,789 | 471 | 11 |
| 5 | 8,0E-02 | 5,1E-02 | 5,3E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 375 | 13 | 7,3E-02 | 1,5E-01 | 9,2E-02 | 1,7E-03 | 0,403 | 239 | 13 | 1,1E-01 | 8,2E-02 | 7,7E-02 | 1,6E-03 | 0,789 | 504 | 11 | 8,9E-02 | 1,7E-01 | 1,2E-01 | 2,0E-03 | 0,789 | 389 | 12 |
| 8 | 5,8E-02 | 4,4E-02 | 5,4E-02 | 9,1E-04 | 0,403 | 444 | 14 | 4,5E-02 | 6,0E-02 | 6,3E-02 | 9,1E-04 | 0,404 | 446 | 13 | 8,5E-02 | 6,7E-02 | 7,7E-02 | 1,3E-03 | 0,790 | 590 | 12 | 6,7E-02 | 9,2E-02 | 9,9E-02 | 1,4E-03 | 0,789 | 567 | 12 |
| 12 | 4,7E-02 | 4,8E-02 | 3,0E-02 | 7,4E-04 | 0,403 | 547 | 17 | 5,2E-02 | 7,5E-02 | 4,0E-02 | 9,0E-04 | 0,403 | 447 | 17 | 7,3E-02 | 7,4E-02 | 4,8E-02 | 1,1E-03 | 0,789 | 692 | 14 | 7,9E-02 | 1,1E-01 | 5,6E-02 | 1,3E-03 | 0,789 | 595 | 15 |
| 15 | 2,6E-02 | 4,3E-02 | 5,0E-02 | 6,9E-04 | 0,404 | 582 | 19 | 3,9E-02 | 4,1E-02 | 5,9E-02 | 7,5E-04 | 0,404 | 540 | 19 | 4,1E-02 | 6,6E-02 | 7,6E-02 | 1,1E-03 | 0,789 | 741 | 16 | 5,7E-02 | 6,1E-02 | 9,0E-02 | 1,1E-03 | 0,789 | 706 | 16 |
| 18 | 3,3E-02 | 5,0E-02 | 2,8E-02 | 6,5E-04 | 0,404 | 622 | 20 | 4,0E-02 | 3,0E-02 | 4,4E-02 | 6,2E-04 | 0,404 | 656 | 21 | 5,1E-02 | 7,5E-02 | 4,6E-02 | 1,0E-03 | 0,789 | 786 | 16 | 6,2E-02 | 5,0E-02 | 6,8E-02 | 9,7E-04 | 0,789 | 816 | 18 |
| 27 | 3,0E-02 | 3,3E-02 | 2,5E-02 | 5,1E-04 | 0,404 | 791 | 23 | 3,2E-02 | 3,9E-02 | 2,6E-02 | 5,2E-04 | 0,403 | 777 | 23 | 4,7E-02 | 5,1E-02 | 4,1E-02 | 8,1E-04 | 0,789 | 972 | 19 | 5,2E-02 | 6,0E-02 | 4,4E-02 | 8,4E-04 | 0,789 | 938 | 19 |
| 32 | 3,2E-02 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 5,2E-04 | 0,391 | 747 | 22 | 2,9E-02 | 3,3E-02 | 3,1E-02 | 5,0E-04 | 0,391 | 785 | 24 | 4,8E-02 | 4,6E-02 | 4,6E-02 | 8,2E-04 | 0,766 | 932 | 19 | 4,9E-02 | 5,3E-02 | 4,8E-02 | 8,1E-04 | 0,766 | 946 | 20 |
| 40 | 2,6E-02 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 4,1E-04 | 0,392 | 947 | 26 | 2,2E-02 | 4,2E-02 | 2,5E-02 | 5,0E-04 | 0,392 | 792 | 24 | 4,4E-02 | 3,8E-02 | 3,5E-02 | 6,9E-04 | 0,767 | 1119 | 21 | 4,3E-02 | 5,2E-02 | 3,9E-02 | 7,5E-04 | 0,767 | 1021 | 20 |
| 46 | 2,0E-02 | 2,6E-02 | 2,2E-02 | 4,0E-04 | 0,392 | 989 | 26 | 2,0E-02 | 2,9E-02 | 2,6E-02 | 4,2E-04 | 0,392 | 936 | 26 | 3,5E-02 | 4,0E-02 | 3,5E-02 | 6,5E-04 | 0,767 | 1180 | 21 | 3,4E-02 | 4,6E-02 | 4,3E-02 | 6,9E-04 | 0,767 | 1115 | 21 |
| 54 | 2,2E-02 | 1,9E-02 | 2,8E-02 | 4,0E-04 | 0,393 | 972 | 25 | 2,1E-02 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 4,4E-04 | 0,392 | 888 | 24 | 3,6E-02 | 3,3E-02 | 4,3E-02 | 6,6E-04 | 0,768 | 1163 | 21 | 3,6E-02 | 4,8E-02 | 4,6E-02 | 7,3E-04 | 0,767 | 1053 | 20 |
| 61 | 2,1E-02 | 2,1E-02 | 1,9E-02 | 3,6E-04 | 0,392 | 1101 | 27 | 2,4E-02 | 3,2E-02 | 1,8E-02 | 4,1E-04 | 0,392 | 952 | 25 | 3,6E-02 | 3,4E-02 | 3,2E-02 | 5,9E-04 | 0,767 | 1290 | 22 | 4,1E-02 | 5,0E-02 | 3,2E-02 | 6,8E-04 | 0,767 | 1120 | 21 |
| 75 | 1,9E-02 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 3,7E-04 | 0,393 | 1059 | 26 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 2,7E-02 | 3,9E-04 | 0,394 | 1009 | 26 | 3,1E-02 | 3,8E-02 | 3,5E-02 | 6,1E-04 | 0,770 | 1265 | 21 | 3,4E-02 | 3,8E-02 | 4,4E-02 | 6,5E-04 | 0,769 | 1188 | 21 |
| 88 | 1,7E-02 | 2,5E-02 | 1,8E-02 | 3,5E-04 | 0,393 | 1114 | 27 | 2,0E-02 | 2,5E-02 | 1,9E-02 | 3,6E-04 | 0,392 | 1099 | 27 | 2,9E-02 | 4,0E-02 | 3,0E-02 | 5,9E-04 | 0,768 | 1312 | 22 | 3,4E-02 | 4,0E-02 | 3,4E-02 | 6,1E-04 | 0,769 | 1264 | 22 |
| 103 | 2,1E-02 | 2,1E-02 | 1,6E-02 | 3,4E-04 | 0,392 | 1167 | 27 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 1,8E-02 | 3,6E-04 | 0,392 | 1100 | 26 | 3,5E-02 | 3,5E-02 | 2,7E-02 | 5,7E-04 | 0,766 | 1349 | 21 | 3,8E-02 | 3,7E-02 | 3,2E-02 | 6,0E-04 | 0,767 | 1277 | 22 |
| 112 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 3,6E-04 | 0,392 | 1091 | 26 | 2,5E-02 | 2,2E-02 | 2,0E-02 | 3,7E-04 | 0,392 | 1046 | 25 | 3,4E-02 | 3,5E-02 | 2,9E-02 | 5,8E-04 | 0,767 | 1330 | 22 | 4,0E-02 | 3,7E-02 | 3,5E-02 | 6,2E-04 | 0,766 | 1228 | 21 |
| 123 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 3,2E-04 | 0,409 | 1273 | 27 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 3,6E-04 | 0,409 | 1127 | 25 | 2,8E-02 | 3,2E-02 | 3,2E-02 | 5,3E-04 | 0,799 | 1496 | 22 | 3,6E-02 | 3,7E-02 | 3,6E-02 | 6,1E-04 | 0,799 | 1303 | 21 |
| 133 | 1,5E-02 | 2,4E-02 | 1,6E-02 | 3,2E-04 | 0,416 | 1314 | 27 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 3,2E-04 | 0,416 | 1307 | 27 | 2,6E-02 | 3,8E-02 | 2,7E-02 | 5,4E-04 | 0,815 | 1522 | 22 | 3,2E-02 | 3,3E-02 | 3,5E-02 | 5,6E-04 | 0,814 | 1447 | 22 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 9 | | | | | | | Moule 10 | | | | | | | Moule 9 | | | | | | | Moule 10 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 5,8E-02 | 5,9E-02 | 3,8E-02 | 9,1E-04 | 0,403 | 444 | 15 | 3,9E-02 | 6,1E-02 | 7,3E-02 | 9,3E-04 | 0,403 | 435 | 14 | 7,9E-02 | 9,6E-02 | 6,3E-02 | 1,4E-03 | 0,792 | 571 | 13 | 7,1E-02 | 9,6E-02 | 1,0E-01 | 1,4E-03 | 0,792 | 548 | 13 |
| 5 | 6,8E-02 | 4,5E-02 | 4,4E-02 | 9,2E-04 | 0,403 | 439 | 15 | 5,2E-02 | 1,1E-01 | 7,4E-02 | 1,3E-03 | 0,403 | 314 | 16 | 9,4E-02 | 7,0E-02 | 6,6E-02 | 1,3E-03 | 0,792 | 589 | 14 | 7,2E-02 | 1,4E-01 | 9,4E-02 | 1,6E-03 | 0,792 | 484 | 14 |
| 8 | 4,8E-02 | 3,6E-02 | 4,3E-02 | 7,4E-04 | 0,403 | 543 | 17 | 3,6E-02 | 4,9E-02 | 5,4E-02 | 7,4E-04 | 0,403 | 541 | 16 | 7,1E-02 | 5,6E-02 | 6,5E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 702 | 15 | 5,8E-02 | 7,8E-02 | 8,4E-02 | 1,2E-03 | 0,791 | 669 | 14 |
| 12 | 3,7E-02 | 3,7E-02 | 2,2E-02 | 5,6E-04 | 0,404 | 716 | 21 | 3,7E-02 | 5,8E-02 | 2,7E-02 | 6,6E-04 | 0,403 | 614 | 21 | 5,9E-02 | 5,9E-02 | 3,8E-02 | 9,1E-04 | 0,792 | 868 | 17 | 6,0E-02 | 9,1E-02 | 4,3E-02 | 1,0E-03 | 0,792 | 760 | 18 |
| 15 | 1,7E-02 | 3,2E-02 | 3,8E-02 | 5,1E-04 | 0,403 | 790 | 23 | 2,5E-02 | 2,8E-02 | 4,4E-02 | 5,2E-04 | 0,403 | 772 | 23 | 3,0E-02 | 5,1E-02 | 6,0E-02 | 8,2E-04 | 0,792 | 965 | 20 | 4,0E-02 | 4,9E-02 | 7,0E-02 | 8,6E-04 | 0,791 | 925 | 20 |
| 18 | 2,2E-02 | 3,6E-02 | 2,0E-02 | 4,6E-04 | 0,403 | 878 | 25 | 2,6E-02 | 1,9E-02 | 3,2E-02 | 4,1E-04 | 0,403 | 976 | 26 | 3,8E-02 | 5,7E-02 | 3,4E-02 | 7,6E-04 | 0,792 | 1048 | 20 | 4,4E-02 | 3,6E-02 | 5,2E-02 | 7,1E-04 | 0,792 | 1120 | 22 |
| 27 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 1,5E-02 | 3,3E-04 | 0,403 | 1222 | 29 | 2,0E-02 | 2,5E-02 | 1,6E-02 | 3,3E-04 | 0,403 | 1218 | 28 | 3,4E-02 | 3,7E-02 | 2,8E-02 | 5,7E-04 | 0,791 | 1380 | 24 | 3,6E-02 | 4,2E-02 | 3,1E-02 | 5,9E-04 | 0,791 | 1345 | 23 |
| 32 | 2,0E-02 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 3,4E-04 | 0,388 | 1141 | 27 | 1,8E-02 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 3,1E-04 | 0,389 | 1263 | 28 | 3,3E-02 | 3,3E-02 | 3,2E-02 | 5,8E-04 | 0,762 | 1325 | 23 | 3,3E-02 | 3,8E-02 | 3,2E-02 | 5,5E-04 | 0,763 | 1378 | 24 |
| 40 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-04 | 0,389 | 1589 | 33 | 1,2E-02 | 2,8E-02 | 1,5E-02 | 3,1E-04 | 0,389 | 1251 | 28 | 3,1E-02 | 2,5E-02 | 2,2E-02 | 4,6E-04 | 0,763 | 1664 | 26 | 2,8E-02 | 3,8E-02 | 2,6E-02 | 5,1E-04 | 0,763 | 1481 | 24 |
| 46 | 1,2E-02 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,388 | 1630 | 33 | 1,1E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 2,6E-04 | 0,389 | 1527 | 31 | 2,4E-02 | 2,7E-02 | 2,4E-02 | 4,4E-04 | 0,762 | 1741 | 26 | 2,2E-02 | 3,1E-02 | 3,0E-02 | 4,7E-04 | 0,763 | 1638 | 25 |
| 54 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-02 | 2,5E-04 | 0,389 | 1555 | 30 | 1,1E-02 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,7E-04 | 0,389 | 1416 | 28 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 3,0E-02 | 4,5E-04 | 0,763 | 1691 | 25 | 2,2E-02 | 3,4E-02 | 3,3E-02 | 5,0E-04 | 0,763 | 1522 | 24 |
| 61 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 2,1E-04 | 0,389 | 1864 | 33 | 1,3E-02 | 2,1E-02 | 1,0E-02 | 2,5E-04 | 0,389 | 1543 | 29 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 2,0E-02 | 3,9E-04 | 0,763 | 1945 | 26 | 2,6E-02 | 3,6E-02 | 2,1E-02 | 4,6E-04 | 0,763 | 1642 | 24 |
| 75 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 2,3E-04 | 0,390 | 1727 | 31 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 2,4E-04 | 0,390 | 1650 | 30 | 2,0E-02 | 2,6E-02 | 2,4E-02 | 4,1E-04 | 0,765 | 1863 | 25 | 2,3E-02 | 2,4E-02 | 3,1E-02 | 4,4E-04 | 0,765 | 1744 | 24 |
| 88 | 9,6E-03 | 1,6E-02 | 1,1E-02 | 2,1E-04 | 0,389 | 1855 | 32 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 1,0E-02 | 2,1E-04 | 0,390 | 1856 | 32 | 1,9E-02 | 2,8E-02 | 2,0E-02 | 3,9E-04 | 0,764 | 1958 | 26 | 2,3E-02 | 2,8E-02 | 2,2E-02 | 4,1E-04 | 0,765 | 1879 | 25 |
| 103 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 8,4E-03 | 2,0E-04 | 0,388 | 1935 | 33 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 2,1E-04 | 0,388 | 1863 | 32 | 2,4E-02 | 2,4E-02 | 1,7E-02 | 3,8E-04 | 0,762 | 2016 | 25 | 2,6E-02 | 2,4E-02 | 2,1E-02 | 4,0E-04 | 0,762 | 1913 | 26 |
| 112 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 2,2E-04 | 0,388 | 1805 | 32 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 2,3E-04 | 0,388 | 1710 | 30 | 2,3E-02 | 2,4E-02 | 1,9E-02 | 3,9E-04 | 0,762 | 1971 | 25 | 2,7E-02 | 2,6E-02 | 2,2E-02 | 4,2E-04 | 0,762 | 1810 | 25 |
| 123 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,399 | 2096 | 31 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,398 | 1794 | 29 | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 2,1E-02 | 3,6E-04 | 0,784 | 2205 | 25 | 2,4E-02 | 2,6E-02 | 2,4E-02 | 4,2E-04 | 0,786 | 1890 | 24 |
| 133 | 8,7E-03 | 1,5E-02 | 9,4E-03 | 1,9E-04 | 0,421 | 2170 | 32 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 2,0E-04 | 0,421 | 2141 | 31 | 1,7E-02 | 2,7E-02 | 1,8E-02 | 3,7E-04 | 0,826 | 2263 | 25 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 2,5E-02 | 3,9E-04 | 0,826 | 2140 | 25 |



| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 5,1E-02 | 5,4E-02 | 3,5E-02 | 8,2E-04 | 0,403 | 491 | 17 | 3,6E-02 | 5,5E-02 | 6,5E-02 | 8,4E-04 | 0,403 | 478 | 17 | 7,1E-02 | 8,9E-02 | 5,7E-02 | 1,3E-03 | 0,789 | 622 | 16 | 6,6E-02 | 8,9E-02 | 9,1E-02 | 1,3E-03 | 0,789 | 599 | 16 |
| 5 | 6,2E-02 | 4,1E-02 | 3,9E-02 | 8,3E-04 | 0,403 | 486 | 18 | 4,4E-02 | 1,0E-01 | 6,5E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 358 | 19 | 8,5E-02 | 6,3E-02 | 6,0E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 651 | 16 | 6,5E-02 | 1,2E-01 | 8,3E-02 | 1,4E-03 | 0,789 | 544 | 17 |
| 8 | 4,3E-02 | 3,2E-02 | 3,8E-02 | 6,6E-04 | 0,403 | 612 | 20 | 3,2E-02 | 4,4E-02 | 4,9E-02 | 6,7E-04 | 0,403 | 600 | 19 | 6,4E-02 | 5,1E-02 | 5,9E-02 | 1,0E-03 | 0,790 | 777 | 18 | 5,3E-02 | 7,0E-02 | 7,6E-02 | 1,1E-03 | 0,790 | 738 | 17 |
| 12 | 3,3E-02 | 3,2E-02 | 1,9E-02 | 4,9E-04 | 0,403 | 831 | 24 | 3,1E-02 | 5,1E-02 | 2,1E-02 | 5,5E-04 | 0,403 | 727 | 24 | 5,2E-02 | 5,0E-02 | 3,3E-02 | 7,9E-04 | 0,790 | 997 | 21 | 5,2E-02 | 7,9E-02 | 3,6E-02 | 9,0E-04 | 0,789 | 878 | 21 |
| 15 | 1,3E-02 | 2,7E-02 | 3,3E-02 | 4,3E-04 | 0,404 | 945 | 28 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 3,7E-02 | 4,3E-04 | 0,403 | 933 | 27 | 2,5E-02 | 4,3E-02 | 5,1E-02 | 7,0E-04 | 0,790 | 1124 | 23 | 3,4E-02 | 4,0E-02 | 6,1E-02 | 7,3E-04 | 0,789 | 1087 | 24 |
| 18 | 1,8E-02 | 3,0E-02 | 1,6E-02 | 3,8E-04 | 0,403 | 1073 | 29 | 2,1E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-02 | 3,3E-04 | 0,403 | 1217 | 30 | 3,1E-02 | 4,9E-02 | 2,9E-02 | 6,4E-04 | 0,790 | 1238 | 24 | 3,5E-02 | 2,9E-02 | 4,5E-02 | 5,9E-04 | 0,790 | 1341 | 26 |
| 27 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 1,2E-02 | 2,6E-04 | 0,403 | 1567 | 34 | 1,6E-02 | 2,0E-02 | 1,3E-02 | 2,6E-04 | 0,403 | 1552 | 32 | 2,8E-02 | 3,0E-02 | 2,2E-02 | 4,7E-04 | 0,790 | 1678 | 28 | 2,9E-02 | 3,5E-02 | 2,6E-02 | 4,8E-04 | 0,790 | 1631 | 27 |
| 32 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 2,7E-04 | 0,388 | 1450 | 31 | 1,4E-02 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 2,4E-04 | 0,388 | 1595 | 32 | 2,7E-02 | 2,7E-02 | 2,6E-02 | 4,7E-04 | 0,761 | 1623 | 27 | 2,7E-02 | 3,2E-02 | 2,6E-02 | 4,6E-04 | 0,761 | 1662 | 27 |
| 40 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 8,6E-03 | 1,8E-04 | 0,389 | 2103 | 40 | 8,3E-03 | 2,3E-02 | 1,2E-02 | 2,5E-04 | 0,388 | 1579 | 31 | 2,5E-02 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 3,7E-04 | 0,760 | 2064 | 31 | 2,2E-02 | 3,1E-02 | 2,2E-02 | 4,2E-04 | 0,761 | 1809 | 27 |
| 46 | 9,2E-03 | 1,2E-02 | 9,8E-03 | 1,8E-04 | 0,389 | 2142 | 38 | 8,0E-03 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 2,0E-04 | 0,388 | 1971 | 35 | 2,0E-02 | 2,2E-02 | 1,9E-02 | 3,5E-04 | 0,761 | 2157 | 30 | 1,7E-02 | 2,6E-02 | 2,5E-02 | 3,8E-04 | 0,761 | 2003 | 29 |
| 54 | 1,1E-02 | 8,8E-03 | 1,4E-02 | 2,0E-04 | 0,389 | 1964 | 35 | 8,1E-03 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,2E-04 | 0,389 | 1782 | 31 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 2,4E-02 | 3,7E-04 | 0,761 | 2061 | 28 | 1,7E-02 | 2,8E-02 | 2,8E-02 | 4,1E-04 | 0,760 | 1837 | 26 |
| 61 | 9,7E-03 | 9,5E-03 | 7,9E-03 | 1,6E-04 | 0,389 | 2455 | 39 | 9,9E-03 | 1,8E-02 | 7,7E-03 | 2,0E-04 | 0,388 | 1962 | 33 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 3,2E-04 | 0,761 | 2403 | 30 | 2,0E-02 | 3,0E-02 | 1,7E-02 | 3,8E-04 | 0,761 | 2013 | 27 |
| 75 | 8,2E-03 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,390 | 2201 | 35 | 1,0E-02 | 9,4E-03 | 1,4E-02 | 1,9E-04 | 0,389 | 2091 | 33 | 1,6E-02 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 3,4E-04 | 0,763 | 2276 | 28 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 2,6E-02 | 3,6E-04 | 0,763 | 2113 | 27 |
| 88 | 7,1E-03 | 1,3E-02 | 8,2E-03 | 1,6E-04 | 0,390 | 2396 | 37 | 9,3E-03 | 1,2E-02 | 7,6E-03 | 1,6E-04 | 0,389 | 2407 | 37 | 1,5E-02 | 2,3E-02 | 1,6E-02 | 3,2E-04 | 0,763 | 2418 | 29 | 1,9E-02 | 2,3E-02 | 1,7E-02 | 3,3E-04 | 0,763 | 2294 | 29 |
| 103 | 9,8E-03 | 1,1E-02 | 6,2E-03 | 1,6E-04 | 0,388 | 2471 | 37 | 1,1E-02 | 9,3E-03 | 7,8E-03 | 1,6E-04 | 0,388 | 2432 | 37 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 1,3E-02 | 3,1E-04 | 0,760 | 2464 | 29 | 2,1E-02 | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 3,2E-04 | 0,760 | 2352 | 29 |
| 112 | 1,1E-02 | 9,9E-03 | 7,6E-03 | 1,7E-04 | 0,388 | 2289 | 36 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 8,4E-03 | 1,8E-04 | 0,388 | 2163 | 33 | 2,0E-02 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 3,2E-04 | 0,760 | 2403 | 29 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 3,5E-04 | 0,760 | 2197 | 27 |
| 123 | 7,3E-03 | 7,8E-03 | 8,4E-03 | 1,4E-04 | 0,328 | 2392 | 36 | 9,8E-03 | 1,0E-02 | 9,0E-03 | 1,6E-04 | 0,332 | 2044 | 32 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,630 | 2461 | 29 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 3,0E-04 | 0,631 | 2128 | 27 |
| 133 | 6,8E-03 | 1,2E-02 | 7,2E-03 | 1,5E-04 | 0,420 | 2761 | 37 | 8,3E-03 | 8,6E-03 | 1,1E-02 | 1,5E-04 | 0,421 | 2736 | 35 | 1,4E-02 | 2,2E-02 | 1,5E-02 | 3,0E-04 | 0,824 | 2734 | 29 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 2,1E-02 | 3,1E-04 | 0,824 | 2617 | 28 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 4,6E-02 | 5,0E-02 | 3,1E-02 | 7,4E-04 | 0,397 | 534 | 20 | 3,3E-02 | 5,1E-02 | 5,8E-02 | 7,7E-04 | 0,396 | 517 | 20 | 6,4E-02 | 8,2E-02 | 5,2E-02 | 1,2E-03 | 0,775 | 671 | 19 | 6,1E-02 | 8,1E-02 | 8,1E-02 | 1,2E-03 | 0,775 | 646 | 18 |
| 5 | 5,6E-02 | 3,7E-02 | 3,5E-02 | 7,5E-04 | 0,397 | 530 | 22 | 3,6E-02 | 9,2E-02 | 5,8E-02 | 1,0E-03 | 0,396 | 395 | 22 | 7,6E-02 | 5,7E-02 | 5,4E-02 | 1,1E-03 | 0,775 | 709 | 19 | 5,9E-02 | 1,1E-01 | 7,4E-02 | 1,3E-03 | 0,775 | 597 | 19 |
| 8 | 3,8E-02 | 2,8E-02 | 3,4E-02 | 5,9E-04 | 0,397 | 676 | 24 | 2,9E-02 | 3,9E-02 | 4,4E-02 | 6,0E-04 | 0,397 | 658 | 22 | 5,7E-02 | 4,6E-02 | 5,3E-02 | 9,2E-04 | 0,776 | 848 | 20 | 4,9E-02 | 6,3E-02 | 6,8E-02 | 9,7E-04 | 0,777 | 803 | 19 |
| 12 | 2,8E-02 | 2,7E-02 | 1,6E-02 | 4,2E-04 | 0,398 | 948 | 29 | 2,7E-02 | 4,5E-02 | 1,8E-02 | 4,8E-04 | 0,397 | 827 | 27 | 4,6E-02 | 4,3E-02 | 2,9E-02 | 6,9E-04 | 0,777 | 1119 | 24 | 4,5E-02 | 6,9E-02 | 3,2E-02 | 7,8E-04 | 0,776 | 990 | 25 |
| 15 | 1,1E-02 | 2,3E-02 | 2,8E-02 | 3,6E-04 | 0,398 | 1091 | 32 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 3,2E-02 | 3,7E-04 | 0,398 | 1085 | 31 | 2,2E-02 | 3,8E-02 | 4,5E-02 | 6,1E-04 | 0,777 | 1264 | 27 | 2,9E-02 | 3,4E-02 | 5,3E-02 | 6,2E-04 | 0,775 | 1244 | 27 |
| 18 | 1,5E-02 | 2,6E-02 | 1,4E-02 | 3,2E-04 | 0,398 | 1258 | 33 | 1,7E-02 | 1,2E-02 | 2,3E-02 | 2,8E-04 | 0,398 | 1432 | 35 | 2,7E-02 | 4,2E-02 | 2,5E-02 | 5,5E-04 | 0,777 | 1407 | 28 | 3,0E-02 | 2,5E-02 | 3,9E-02 | 5,1E-04 | 0,777 | 1535 | 29 |
| 27 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 9,3E-03 | 2,1E-04 | 0,397 | 1875 | 40 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 1,1E-02 | 2,2E-04 | 0,399 | 1836 | 37 | 2,4E-02 | 2,6E-02 | 1,9E-02 | 4,0E-04 | 0,778 | 1936 | 32 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 2,3E-02 | 4,1E-04 | 0,777 | 1881 | 31 |
| 32 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,384 | 1735 | 36 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,383 | 1895 | 37 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 4,0E-04 | 0,746 | 1873 | 31 | 2,3E-02 | 2,7E-02 | 2,2E-02 | 3,9E-04 | 0,748 | 1920 | 31 |
| 40 | 1,0E-02 | 8,6E-03 | 6,8E-03 | 1,5E-04 | 0,384 | 2553 | 47 | 6,7E-03 | 2,0E-02 | 1,0E-02 | 2,1E-04 | 0,383 | 1854 | 36 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 3,1E-04 | 0,748 | 2393 | 35 | 1,8E-02 | 2,7E-02 | 1,9E-02 | 3,6E-04 | 0,747 | 2092 | 31 |
| 46 | 7,6E-03 | 9,8E-03 | 7,9E-03 | 1,5E-04 | 0,384 | 2600 | 45 | 6,3E-03 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,6E-04 | 0,382 | 2348 | 41 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 3,0E-04 | 0,747 | 2501 | 35 | 1,5E-02 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 3,3E-04 | 0,748 | 2292 | 33 |
| 54 | 8,8E-03 | 7,2E-03 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,384 | 2344 | 41 | 6,4E-03 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 1,8E-04 | 0,383 | 2098 | 36 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-04 | 0,748 | 2394 | 33 | 1,5E-02 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 3,6E-04 | 0,748 | 2100 | 30 |
| 61 | 8,0E-03 | 7,8E-03 | 6,4E-03 | 1,3E-04 | 0,384 | 2958 | 45 | 7,8E-03 | 1,5E-02 | 6,2E-03 | 1,6E-04 | 0,383 | 2339 | 37 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 2,7E-04 | 0,747 | 2784 | 35 | 1,7E-02 | 2,6E-02 | 1,5E-02 | 3,2E-04 | 0,748 | 2305 | 31 |
| 75 | 6,8E-03 | 9,4E-03 | 9,2E-03 | 1,5E-04 | 0,386 | 2601 | 41 | 8,6E-03 | 7,6E-03 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,384 | 2454 | 38 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 1,7E-02 | 2,9E-04 | 0,749 | 2600 | 32 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 2,3E-02 | 3,1E-04 | 0,751 | 2389 | 31 |
| 88 | 5,8E-03 | 1,0E-02 | 6,7E-03 | 1,3E-04 | 0,384 | 2856 | 43 | 7,8E-03 | 9,9E-03 | 6,1E-03 | 1,3E-04 | 0,384 | 2867 | 43 | 1,2E-02 | 1,9E-02 | 1,4E-02 | 2,7E-04 | 0,749 | 2803 | 34 | 1,7E-02 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 2,8E-04 | 0,748 | 2632 | 32 |
| 103 | 8,2E-03 | 9,3E-03 | 5,1E-03 | 1,3E-04 | 0,384 | 2912 | 44 | 9,8E-03 | 7,6E-03 | 6,4E-03 | 1,3E-04 | 0,384 | 2882 | 43 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 1,1E-02 | 2,7E-04 | 0,748 | 2810 | 34 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 2,8E-04 | 0,748 | 2686 | 33 |
| 112 | 9,8E-03 | 8,2E-03 | 6,4E-03 | 1,4E-04 | 0,385 | 2699 | 42 | 1,1E-02 | 9,2E-03 | 6,8E-03 | 1,5E-04 | 0,384 | 2545 | 38 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 2,7E-04 | 0,749 | 2749 | 33 | 2,0E-02 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 3,0E-04 | 0,748 | 2502 | 31 |
| 123 | 5,9E-03 | 6,3E-03 | 6,7E-03 | 1,1E-04 | 0,335 | 3028 | 42 | 8,0E-03 | 8,5E-03 | 7,1E-03 | 1,3E-04 | 0,334 | 2535 | 37 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,661 | 3007 | 33 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 2,6E-04 | 0,663 | 2581 | 30 |
| 133 | 5,8E-03 | 1,0E-02 | 6,1E-03 | 1,3E-04 | 0,416 | 3197 | 43 | 7,0E-03 | 7,2E-03 | 9,0E-03 | 1,3E-04 | 0,416 | 3194 | 41 | 1,3E-02 | 1,9E-02 | 1,3E-02 | 2,6E-04 | 0,811 | 3074 | 33 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 2,7E-04 | 0,810 | 2961 | 32 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|-------|---------|---|----------|----------|----------|----------|-------|---------|---|---------|----------|----------|----------|-------|---------|----------|---|----------|----------|----------|-------|---------|---|---|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Annexe 29 – Résultats d'essais à 35°C et 70% d'HR – Essais à 35 °C

| Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------|----------|----------|----------|-------|---------|----|---------|----------|----------|----------|-------|---------|----|---------|----------|----------|----------|-------|---------|----|----------|----------|----------|----------|-------|---------|----|
| Date | | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | |
| | | Moule 9 | | | | | | | Moule 10 | | | | | | | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | |
| | | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E |
| 1 | 7,8E-02 | 8,6E-02 | 5,6E-02 | 1,3E-03 | 0,403 | 312 | 11 | 9,5E-02 | 8,5E-02 | 7,8E-02 | 1,4E-03 | 0,403 | 292 | 11 | 1,2E-01 | 1,3E-01 | 8,9E-02 | 2,0E-03 | 0,789 | 399 | 11 | 1,5E-01 | 1,5E-01 | 8,6E-02 | 2,1E-03 | 0,788 | 376 | 10 |
| 5 | 4,3E-02 | 7,1E-02 | 5,6E-02 | 9,9E-04 | 0,403 | 408 | 11 | 6,5E-02 | 9,0E-02 | 5,6E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 356 | 10 | 7,9E-02 | 1,1E-01 | 7,8E-02 | 1,6E-03 | 0,789 | 497 | 10 | 9,9E-02 | 1,4E-01 | 1,1E-01 | 1,9E-03 | 0,789 | 421 | 9 |
| 8 | 5,1E-02 | 5,2E-02 | 4,9E-02 | 8,9E-04 | 0,404 | 455 | 12 | 6,7E-02 | 6,4E-02 | 9,3E-02 | 1,2E-03 | 0,404 | 335 | 11 | 7,6E-02 | 8,3E-02 | 7,6E-02 | 1,4E-03 | 0,789 | 572 | 11 | 9,0E-02 | 1,1E-01 | 1,1E-01 | 1,7E-03 | 0,789 | 466 | 10 |
| 12 | 5,8E-02 | 2,0E-02 | 6,3E-02 | 8,3E-04 | 0,403 | 487 | 16 | 4,9E-02 | 6,5E-02 | 4,7E-02 | 8,7E-04 | 0,404 | 465 | 14 | 8,9E-02 | 1,1E-01 | 5,2E-02 | 1,4E-03 | 0,790 | 547 | 12 | 7,8E-02 | 9,6E-02 | 7,8E-02 | 1,4E-03 | 0,789 | 582 | 12 |
| 15 | 5,0E-02 | 4,5E-02 | 3,9E-02 | 7,8E-04 | 0,404 | 514 | 15 | 5,8E-02 | 7,1E-02 | 4,6E-02 | 9,5E-04 | 0,403 | 427 | 14 | 7,4E-02 | 6,9E-02 | 6,0E-02 | 1,2E-03 | 0,789 | 662 | 13 | 9,3E-02 | 9,5E-02 | 7,0E-02 | 1,4E-03 | 0,788 | 568 | 13 |
| 18 | 4,7E-02 | 2,9E-02 | 5,9E-02 | 7,9E-04 | 0,403 | 509 | 16 | 4,9E-02 | 5,6E-02 | 7,1E-02 | 9,4E-04 | 0,404 | 429 | 15 | 7,1E-02 | 5,1E-02 | 8,5E-02 | 1,2E-03 | 0,790 | 654 | 14 | 7,7E-02 | 7,9E-02 | 1,1E-01 | 1,5E-03 | 0,788 | 542 | 14 |
| 27 | 4,1E-02 | 3,5E-02 | 4,0E-02 | 6,8E-04 | 0,403 | 596 | 18 | 3,9E-02 | 5,2E-02 | 4,2E-02 | 7,2E-04 | 0,404 | 564 | 18 | 6,2E-02 | 5,6E-02 | 6,0E-02 | 1,0E-03 | 0,789 | 762 | 15 | 6,2E-02 | 8,1E-02 | 6,7E-02 | 1,1E-03 | 0,789 | 699 | 15 |
| 32 | 3,8E-02 | 4,1E-02 | 3,4E-02 | 6,6E-04 | 0,392 | 598 | 18 | 4,7E-02 | 5,0E-02 | 3,4E-02 | 7,1E-04 | 0,392 | 555 | 18 | 5,9E-02 | 6,0E-02 | 5,2E-02 | 1,0E-03 | 0,767 | 766 | 16 | 7,4E-02 | 7,5E-02 | 5,6E-02 | 1,1E-03 | 0,767 | 695 | 15 |
| 40 | 3,8E-02 | 4,0E-02 | 2,8E-02 | 6,2E-04 | 0,393 | 632 | 19 | 4,5E-02 | 3,1E-02 | 3,3E-02 | 6,1E-04 | 0,392 | 641 | 19 | 5,7E-02 | 6,1E-02 | 4,4E-02 | 9,5E-04 | 0,767 | 807 | 16 | 6,8E-02 | 5,0E-02 | 5,4E-02 | 9,6E-04 | 0,767 | 796 | 16 |
| 46 | 3,2E-02 | 3,2E-02 | 2,6E-02 | 5,3E-04 | 0,392 | 739 | 20 | 3,3E-02 | 4,6E-02 | 3,3E-02 | 6,2E-04 | 0,392 | 628 | 19 | 5,0E-02 | 5,0E-02 | 4,3E-02 | 8,4E-04 | 0,767 | 916 | 17 | 5,5E-02 | 6,6E-02 | 5,2E-02 | 9,7E-04 | 0,767 | 793 | 16 |
| 54 | 2,7E-02 | 3,0E-02 | 3,2E-02 | 5,2E-04 | 0,392 | 758 | 21 | 2,6E-02 | 4,7E-02 | 5,1E-02 | 7,0E-04 | 0,393 | 562 | 18 | 4,2E-02 | 4,7E-02 | 4,9E-02 | 8,1E-04 | 0,767 | 949 | 18 | 4,4E-02 | 7,0E-02 | 7,1E-02 | 1,0E-03 | 0,766 | 741 | 16 |
| 61 | 2,6E-02 | 3,3E-02 | 2,7E-02 | 5,0E-04 | 0,392 | 777 | 21 | 4,0E-02 | 2,8E-02 | 3,6E-02 | 5,8E-04 | 0,392 | 678 | 20 | 4,4E-02 | 5,1E-02 | 4,1E-02 | 7,9E-04 | 0,767 | 971 | 17 | 6,1E-02 | 4,6E-02 | 5,5E-02 | 9,1E-04 | 0,767 | 842 | 17 |
| 75 | 3,2E-02 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 5,2E-04 | 0,394 | 754 | 21 | 3,5E-02 | 2,6E-02 | 4,3E-02 | 5,8E-04 | 0,393 | 674 | 19 | 4,9E-02 | 4,5E-02 | 4,5E-02 | 8,1E-04 | 0,769 | 954 | 18 | 5,2E-02 | 4,4E-02 | 6,3E-02 | 8,9E-04 | 0,769 | 863 | 17 |
| 88 | 2,8E-02 | 3,1E-02 | 2,3E-02 | 4,8E-04 | 0,393 | 819 | 21 | 3,3E-02 | 3,8E-02 | 2,5E-02 | 5,4E-04 | 0,393 | 726 | 20 | 4,3E-02 | 4,8E-02 | 3,9E-02 | 7,6E-04 | 0,768 | 1007 | 18 | 5,3E-02 | 5,8E-02 | 4,4E-02 | 8,7E-04 | 0,769 | 889 | 17 |
| 103 | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 2,7E-02 | 4,5E-04 | 0,345 | 765 | 23 | 3,2E-02 | 3,1E-02 | 2,8E-02 | 5,1E-04 | 0,366 | 716 | 22 | 4,5E-02 | 4,0E-02 | 4,5E-02 | 7,6E-04 | 0,766 | 1010 | 18 | 5,2E-02 | 5,2E-02 | 4,4E-02 | 8,3E-04 | 0,767 | 923 | 17 |
| 112 | 2,9E-02 | 2,7E-02 | 2,1E-02 | 4,5E-04 | 0,344 | 757 | 23 | 3,3E-02 | 2,9E-02 | 2,9E-02 | 5,1E-04 | 0,351 | 683 | 22 | 4,6E-02 | 4,3E-02 | 3,4E-02 | 7,0E-04 | 0,704 | 1011 | 20 | 5,0E-02 | 4,7E-02 | 4,6E-02 | 8,0E-04 | 0,669 | 837 | 18 |
| 123 | 2,8E-02 | 2,7E-02 | 1,7E-02 | 4,2E-04 | 0,409 | 972 | 23 | 2,5E-02 | 3,1E-02 | 3,4E-02 | 5,1E-04 | 0,409 | 810 | 20 | 4,3E-02 | 4,4E-02 | 2,9E-02 | 6,7E-04 | 0,799 | 1184 | 19 | 4,0E-02 | 5,1E-02 | 5,4E-02 | 8,1E-04 | 0,799 | 984 | 17 |

| Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|----------|----------|----------|-------|---------|----|---------|----------|----------|----------|-------|---------|----|---------|----------|----------|----------|-------|---------|----|----------|----------|----------|----------|-------|---------|----|
| Date | | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | |
| | | Moule 9 | | | | | | | Moule 10 | | | | | | | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | |
| | | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E |
| 1 | 6,6E-02 | 7,5E-02 | 4,7E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 367 | 14 | 7,9E-02 | 7,0E-02 | 6,2E-02 | 1,1E-03 | 0,403 | 356 | 13 | 9,2E-02 | 1,2E-01 | 7,1E-02 | 1,6E-03 | 0,792 | 486 | 13 | 1,2E-01 | 1,2E-01 | 7,4E-02 | 1,7E-03 | 0,792 | 461 | 12 |
| 5 | 3,9E-02 | 6,4E-02 | 5,1E-02 | 8,9E-04 | 0,404 | 451 | 13 | 5,6E-02 | 8,2E-02 | 5,2E-02 | 1,0E-03 | 0,404 | 395 | 12 | 6,9E-02 | 1,0E-01 | 7,0E-02 | 1,4E-03 | 0,792 | 561 | 12 | 8,6E-02 | 1,3E-01 | 9,5E-02 | 1,6E-03 | 0,792 | 481 | 12 |
| 8 | 4,4E-02 | 4,6E-02 | 4,2E-02 | 7,7E-04 | 0,403 | 522 | 14 | 5,4E-02 | 5,6E-02 | 7,7E-02 | 1,0E-03 | 0,403 | 400 | 13 | 6,7E-02 | 7,5E-02 | 6,8E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 647 | 13 | 7,9E-02 | 9,5E-02 | 9,6E-02 | 1,5E-03 | 0,791 | 545 | 13 |
| 12 | 4,3E-02 | 9,8E-03 | 5,6E-02 | 6,4E-04 | 0,403 | 630 | 19 | 4,1E-02 | 5,4E-02 | 3,8E-02 | 7,1E-04 | 0,403 | 566 | 17 | 7,9E-02 | 8,9E-02 | 4,4E-02 | 1,2E-03 | 0,792 | 639 | 15 | 6,7E-02 | 8,1E-02 | 6,5E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 693 | 15 |
| 15 | 4,0E-02 | 3,6E-02 | 3,0E-02 | 6,2E-04 | 0,403 | 647 | 19 | 4,8E-02 | 5,5E-02 | 3,5E-02 | 7,4E-04 | 0,403 | 547 | 18 | 6,1E-02 | 5,7E-02 | 4,9E-02 | 9,8E-04 | 0,792 | 807 | 16 | 7,8E-02 | 7,5E-02 | 5,7E-02 | 1,1E-03 | 0,792 | 700 | 16 |
| 18 | 3,7E-02 | 2,2E-02 | 4,7E-02 | 6,2E-04 | 0,404 | 649 | 20 | 3,9E-02 | 4,3E-02 | 5,8E-02 | 7,5E-04 | 0,403 | 540 | 19 | 5,8E-02 | 3,9E-02 | 6,8E-02 | 9,7E-04 | 0,792 | 820 | 18 | 6,4E-02 | 5,8E-02 | 9,1E-02 | 1,1E-03 | 0,791 | 690 | 17 |
| 27 | 3,0E-02 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 5,0E-04 | 0,403 | 813 | 23 | 2,8E-02 | 4,0E-02 | 3,0E-02 | 5,3E-04 | 0,403 | 763 | 23 | 4,8E-02 | 4,2E-02 | 4,7E-02 | 8,0E-04 | 0,791 | 992 | 20 | 4,7E-02 | 6,6E-02 | 5,2E-02 | 8,8E-04 | 0,792 | 896 | 19 |
| 32 | 2,7E-02 | 2,8E-02 | 2,4E-02 | 4,6E-04 | 0,389 | 837 | 24 | 3,4E-02 | 3,6E-02 | 2,5E-02 | 5,1E-04 | 0,389 | 765 | 23 | 4,4E-02 | 4,5E-02 | 3,9E-02 | 7,5E-04 | 0,762 | 1019 | 21 | 5,7E-02 | 5,7E-02 | 4,4E-02 | 8,4E-04 | 0,763 | 903 | 20 |
| 40 | 2,6E-02 | 2,8E-02 | 1,9E-02 | 4,3E-04 | 0,389 | 904 | 25 | 3,2E-02 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 4,3E-04 | 0,389 | 902 | 24 | 4,2E-02 | 4,6E-02 | 3,1E-02 | 7,0E-04 | 0,762 | 1092 | 22 | 5,2E-02 | 3,9E-02 | 4,0E-02 | 7,3E-04 | 0,763 | 1043 | 21 |
| 46 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 1,7E-02 | 3,6E-04 | 0,389 | 1081 | 27 | 2,2E-02 | 3,3E-02 | 2,4E-02 | 4,4E-04 | 0,389 | 882 | 24 | 3,6E-02 | 3,7E-02 | 3,1E-02 | 6,1E-04 | 0,762 | 1251 | 23 | 4,0E-02 | 5,0E-02 | 4,0E-02 | 7,3E-04 | 0,762 | 1046 | 21 |
| 54 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 3,5E-04 | 0,389 | 1121 | 27 | 1,7E-02 | 3,4E-02 | 3,7E-02 | 5,0E-04 | 0,389 | 785 | 23 | 3,0E-02 | 3,3E-02 | 3,7E-02 | 5,9E-04 | 0,763 | 1301 | 23 | 3,2E-02 | 5,2E-02 | 5,6E-02 | 7,9E-04 | 0,762 | 969 | 20 |
| 61 | 1,8E-02 | 2,3E-02 | 1,8E-02 | 3,4E-04 | 0,389 | 1141 | 26 | 2,9E-02 | 1,8E-02 | 2,5E-02 | 4,0E-04 | 0,389 | 964 | 25 | 3,2E-02 | 3,7E-02 | 2,9E-02 | 5,8E-04 | 0,763 | 1326 | 22 | 4,7E-02 | 3,4E-02 | 4,1E-02 | 6,8E-04 | 0,763 | 1116 | 21 |
| 75 | 2,2E-02 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 3,5E-04 | 0,390 | 1108 | 26 | 2,5E-02 | 1,7E-02 | 2,9E-02 | 4,0E-04 | 0,390 | 967 | 24 | 3,5E-02 | 3,3E-02 | 3,2E-02 | 5,8E-04 | 0,765 | 1312 | 23 | 4,0E-02 | 3,1E-02 | 4,6E-02 | 6,6E-04 | 0,765 | 1167 | 21 |
| 88 | 1,8E-02 | 2,1E-02 | 1,5E-02 | 3,2E-04 | 0,389 | 1223 | 27 | 2,4E-02 | 2,6E-02 | 1,6E-02 | 3,7E-04 | 0,390 | 1055 | 25 | 3,1E-02 | 3,6E-02 | 2,7E-02 | 5,5E-04 | 0,764 | 1393 | 23 | 4,0E-02 | 4,3E-02 | 3,1E-02 | 6,4E-04 | 0,765 | 1197 | 21 |
| 103 | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 3,1E-04 | 0,389 | 1245 | 26 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 3,5E-04 | 0,388 | 1108 | 26 | 3,3E-02 | 2,8E-02 | 3,2E-02 | 5,4E-04 | 0,762 | 1401 | 23 | 3,9E-02 | 3,7E-02 | 3,2E-02 | 6,1E-04 | 0,762 | 1251 | 22 |
| 112 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 1,4E-02 | 3,1E-04 | 0,388 | 1239 | 27 | 2,5E-02 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 3,7E-04 | 0,388 | 1059 | 25 | 3,5E-02 | 3,1E-02 | 2,5E-02 | 5,1E-04 | 0,762 | 1493 | 21 | 4,0E-02 | 3,5E-02 | 3,5E-02 | 6,2E-04 | 0,762 | 1231 | 21 |
| 123 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,0E-02 | 2,7E-04 | 0,400 | 1482 | 28 | 1,8E-02 | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 3,4E-04 | 0,400 | 1166 | 25 | 3,1E-02 | 3,2E-02 | 2,1E-02 | 4,8E-04 | 0,786 | 1622 | 23 | 3,1E-02 | 3,7E-02 | 4,0E-02 | 6,1E-04 | 0,787 | 1300 | 21 |



| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|----------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 6,0E-02 | 6,8E-02 | 4,2E-02 | 9,9E-04 | 0,402 | 405 | 17 | 7,4E-02 | 6,4E-02 | 5,3E-02 | 1,0E-03 | 0,403 | 392 | 15 | 8,4E-02 | 1,1E-01 | 6,3E-02 | 1,5E-03 | 0,789 | 532 | 16 | 1,1E-01 | 1,1E-01 | 6,7E-02 | 1,5E-03 | 0,789 | 510 | 15 |
| 5 | 3,6E-02 | 6,0E-02 | 4,7E-02 | 8,4E-04 | 0,403 | 479 | 15 | 5,2E-02 | 7,6E-02 | 4,9E-02 | 9,5E-04 | 0,403 | 423 | 15 | 6,4E-02 | 9,4E-02 | 6,6E-02 | 1,3E-03 | 0,789 | 601 | 15 | 8,0E-02 | 1,2E-01 | 9,0E-02 | 1,5E-03 | 0,789 | 514 | 14 |
| 8 | 4,0E-02 | 4,2E-02 | 3,9E-02 | 7,1E-04 | 0,403 | 566 | 17 | 4,7E-02 | 5,2E-02 | 7,0E-02 | 9,1E-04 | 0,403 | 442 | 16 | 6,1E-02 | 7,0E-02 | 6,2E-02 | 1,1E-03 | 0,789 | 696 | 16 | 7,2E-02 | 8,7E-02 | 8,8E-02 | 1,3E-03 | 0,789 | 595 | 15 |
| 12 | 3,8E-02 | 9,4E-03 | 5,1E-02 | 5,8E-04 | 0,402 | 699 | 23 | 3,7E-02 | 4,8E-02 | 3,3E-02 | 6,3E-04 | 0,403 | 639 | 21 | 7,1E-02 | 7,9E-02 | 4,0E-02 | 1,1E-03 | 0,789 | 711 | 18 | 6,0E-02 | 7,2E-02 | 5,8E-02 | 1,0E-03 | 0,789 | 771 | 19 |
| 15 | 3,5E-02 | 3,1E-02 | 2,6E-02 | 5,4E-04 | 0,403 | 743 | 23 | 4,2E-02 | 4,7E-02 | 2,9E-02 | 6,4E-04 | 0,403 | 632 | 22 | 5,4E-02 | 5,0E-02 | 4,4E-02 | 8,7E-04 | 0,789 | 910 | 20 | 7,0E-02 | 6,6E-02 | 5,0E-02 | 9,9E-04 | 0,790 | 795 | 20 |
| 18 | 3,2E-02 | 1,9E-02 | 4,1E-02 | 5,3E-04 | 0,403 | 756 | 25 | 3,3E-02 | 3,5E-02 | 5,2E-02 | 6,4E-04 | 0,403 | 627 | 23 | 5,0E-02 | 3,4E-02 | 5,9E-02 | 8,4E-04 | 0,790 | 940 | 21 | 5,7E-02 | 4,7E-02 | 8,0E-02 | 9,9E-04 | 0,789 | 797 | 21 |
| 27 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 2,5E-02 | 4,1E-04 | 0,403 | 981 | 28 | 2,3E-02 | 3,4E-02 | 2,5E-02 | 4,4E-04 | 0,403 | 911 | 27 | 4,1E-02 | 3,5E-02 | 4,0E-02 | 6,8E-04 | 0,790 | 1159 | 24 | 4,0E-02 | 5,8E-02 | 4,5E-02 | 7,6E-04 | 0,790 | 1033 | 23 |
| 32 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 2,0E-02 | 3,8E-04 | 0,388 | 1029 | 29 | 2,8E-02 | 3,0E-02 | 2,1E-02 | 4,2E-04 | 0,388 | 923 | 27 | 3,7E-02 | 3,8E-02 | 3,3E-02 | 6,3E-04 | 0,760 | 1204 | 25 | 4,9E-02 | 4,8E-02 | 3,8E-02 | 7,3E-04 | 0,761 | 1045 | 24 |
| 40 | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 1,5E-02 | 3,5E-04 | 0,388 | 1122 | 30 | 2,6E-02 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 3,5E-04 | 0,389 | 1101 | 29 | 3,6E-02 | 3,8E-02 | 2,6E-02 | 5,9E-04 | 0,760 | 1298 | 25 | 4,4E-02 | 3,4E-02 | 3,3E-02 | 6,2E-04 | 0,760 | 1222 | 24 |
| 46 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 1,4E-02 | 2,9E-04 | 0,389 | 1360 | 32 | 1,7E-02 | 2,8E-02 | 2,0E-02 | 3,6E-04 | 0,388 | 1076 | 28 | 3,0E-02 | 3,1E-02 | 2,6E-02 | 5,1E-04 | 0,761 | 1499 | 27 | 3,3E-02 | 4,3E-02 | 3,4E-02 | 6,1E-04 | 0,760 | 1238 | 24 |
| 54 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,8E-04 | 0,388 | 1409 | 32 | 1,3E-02 | 2,8E-02 | 3,2E-02 | 4,1E-04 | 0,389 | 949 | 26 | 2,5E-02 | 2,7E-02 | 3,1E-02 | 4,9E-04 | 0,761 | 1561 | 26 | 2,7E-02 | 4,4E-02 | 4,8E-02 | 6,7E-04 | 0,760 | 1136 | 23 |
| 61 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 1,4E-02 | 2,7E-04 | 0,388 | 1430 | 31 | 2,4E-02 | 1,4E-02 | 2,0E-02 | 3,3E-04 | 0,388 | 1182 | 29 | 2,6E-02 | 3,1E-02 | 2,4E-02 | 4,8E-04 | 0,761 | 1586 | 26 | 4,0E-02 | 2,8E-02 | 3,5E-02 | 5,8E-04 | 0,761 | 1320 | 25 |
| 75 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 2,8E-04 | 0,390 | 1380 | 31 | 2,1E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-02 | 3,3E-04 | 0,390 | 1191 | 28 | 2,9E-02 | 2,7E-02 | 2,7E-02 | 4,9E-04 | 0,763 | 1567 | 26 | 3,4E-02 | 2,6E-02 | 3,9E-02 | 5,5E-04 | 0,762 | 1378 | 24 |
| 88 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 1,1E-02 | 2,5E-04 | 0,389 | 1542 | 32 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 1,2E-02 | 3,0E-04 | 0,389 | 1305 | 30 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 2,2E-02 | 4,6E-04 | 0,763 | 1675 | 27 | 3,4E-02 | 3,6E-02 | 2,5E-02 | 5,4E-04 | 0,763 | 1416 | 25 |
| 103 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 2,5E-04 | 0,388 | 1550 | 29 | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 2,8E-04 | 0,388 | 1375 | 30 | 2,7E-02 | 2,4E-02 | 2,7E-02 | 4,6E-04 | 0,760 | 1670 | 26 | 3,3E-02 | 3,1E-02 | 2,7E-02 | 5,1E-04 | 0,760 | 1480 | 25 |
| 112 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 2,5E-04 | 0,388 | 1551 | 32 | 2,1E-02 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 3,0E-04 | 0,388 | 1309 | 29 | 2,9E-02 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 4,3E-04 | 0,760 | 1775 | 24 | 3,5E-02 | 2,9E-02 | 3,0E-02 | 5,2E-04 | 0,760 | 1453 | 25 |
| 123 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 7,1E-03 | 1,9E-04 | 0,322 | 1681 | 33 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,5E-04 | 0,322 | 1306 | 29 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 1,5E-02 | 3,5E-04 | 0,633 | 1799 | 27 | 2,3E-02 | 2,7E-02 | 2,9E-02 | 4,4E-04 | 0,632 | 1431 | 24 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|----------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 5,4E-02 | 6,3E-02 | 3,8E-02 | 9,1E-04 | 0,396 | 435 | 20 | 6,9E-02 | 5,9E-02 | 4,7E-02 | 9,4E-04 | 0,396 | 421 | 18 | 7,6E-02 | 9,8E-02 | 5,7E-02 | 1,4E-03 | 0,775 | 571 | 18 | 1,0E-01 | 9,9E-02 | 6,3E-02 | 1,4E-03 | 0,775 | 548 | 18 |
| 5 | 3,3E-02 | 5,6E-02 | 4,4E-02 | 7,8E-04 | 0,397 | 507 | 19 | 4,8E-02 | 7,0E-02 | 4,7E-02 | 8,9E-04 | 0,396 | 447 | 18 | 5,9E-02 | 8,7E-02 | 6,3E-02 | 1,2E-03 | 0,775 | 635 | 17 | 7,4E-02 | 1,1E-01 | 8,3E-02 | 1,4E-03 | 0,775 | 548 | 17 |
| 8 | 3,7E-02 | 3,9E-02 | 3,6E-02 | 6,5E-04 | 0,397 | 611 | 20 | 4,3E-02 | 4,8E-02 | 6,4E-02 | 8,3E-04 | 0,396 | 475 | 19 | 5,6E-02 | 6,5E-02 | 5,7E-02 | 1,0E-03 | 0,776 | 747 | 19 | 6,7E-02 | 7,9E-02 | 8,0E-02 | 1,2E-03 | 0,775 | 639 | 18 |
| 12 | 3,3E-02 | 1,1E-02 | 4,6E-02 | 5,3E-04 | 0,397 | 754 | 27 | 3,3E-02 | 4,2E-02 | 2,9E-02 | 5,6E-04 | 0,397 | 710 | 25 | 6,4E-02 | 7,0E-02 | 3,6E-02 | 9,9E-04 | 0,776 | 780 | 21 | 5,4E-02 | 6,3E-02 | 5,3E-02 | 9,2E-04 | 0,776 | 844 | 22 |
| 15 | 3,1E-02 | 2,8E-02 | 2,3E-02 | 4,8E-04 | 0,398 | 836 | 27 | 3,8E-02 | 4,1E-02 | 2,5E-02 | 5,6E-04 | 0,397 | 712 | 26 | 4,9E-02 | 4,5E-02 | 3,9E-02 | 7,7E-04 | 0,776 | 1005 | 23 | 6,2E-02 | 5,7E-02 | 4,4E-02 | 8,8E-04 | 0,775 | 883 | 23 |
| 18 | 2,8E-02 | 1,6E-02 | 3,5E-02 | 4,6E-04 | 0,397 | 857 | 29 | 2,8E-02 | 2,9E-02 | 4,7E-02 | 5,6E-04 | 0,397 | 705 | 27 | 4,4E-02 | 3,0E-02 | 5,2E-02 | 7,4E-04 | 0,775 | 1050 | 25 | 5,0E-02 | 4,0E-02 | 7,1E-02 | 8,7E-04 | 0,775 | 895 | 24 |
| 27 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 2,1E-02 | 3,5E-04 | 0,398 | 1137 | 33 | 1,9E-02 | 3,0E-02 | 2,2E-02 | 3,8E-04 | 0,398 | 1050 | 32 | 3,6E-02 | 3,0E-02 | 3,5E-02 | 5,9E-04 | 0,777 | 1309 | 28 | 3,5E-02 | 5,1E-02 | 3,9E-02 | 6,7E-04 | 0,776 | 1165 | 27 |
| 32 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 3,2E-04 | 0,383 | 1213 | 34 | 2,3E-02 | 2,5E-02 | 1,8E-02 | 3,6E-04 | 0,382 | 1075 | 32 | 3,2E-02 | 3,2E-02 | 2,9E-02 | 5,4E-04 | 0,746 | 1376 | 29 | 4,2E-02 | 4,2E-02 | 3,4E-02 | 6,3E-04 | 0,746 | 1182 | 27 |
| 40 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 1,3E-02 | 2,9E-04 | 0,383 | 1320 | 35 | 2,2E-02 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 3,0E-04 | 0,382 | 1288 | 33 | 3,1E-02 | 3,3E-02 | 2,3E-02 | 5,0E-04 | 0,747 | 1483 | 30 | 3,8E-02 | 3,0E-02 | 2,9E-02 | 5,4E-04 | 0,747 | 1385 | 28 |
| 46 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 2,4E-04 | 0,383 | 1622 | 38 | 1,4E-02 | 2,4E-02 | 1,7E-02 | 3,0E-04 | 0,383 | 1257 | 32 | 2,6E-02 | 2,7E-02 | 2,2E-02 | 4,4E-04 | 0,747 | 1712 | 31 | 2,8E-02 | 3,7E-02 | 3,0E-02 | 5,3E-04 | 0,747 | 1404 | 28 |
| 54 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 2,3E-04 | 0,384 | 1680 | 38 | 1,1E-02 | 2,3E-02 | 2,8E-02 | 3,5E-04 | 0,383 | 1106 | 30 | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 2,7E-02 | 4,2E-04 | 0,748 | 1800 | 31 | 2,4E-02 | 3,8E-02 | 4,2E-02 | 5,8E-04 | 0,748 | 1291 | 27 |
| 61 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 2,3E-04 | 0,383 | 1700 | 36 | 2,1E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 2,8E-04 | 0,383 | 1393 | 34 | 2,3E-02 | 2,7E-02 | 2,1E-02 | 4,1E-04 | 0,747 | 1810 | 30 | 3,5E-02 | 2,4E-02 | 3,0E-02 | 5,0E-04 | 0,746 | 1492 | 29 |
| 75 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,385 | 1623 | 36 | 1,8E-02 | 1,1E-02 | 2,0E-02 | 2,8E-04 | 0,384 | 1394 | 32 | 2,5E-02 | 2,4E-02 | 2,4E-02 | 4,2E-04 | 0,751 | 1770 | 30 | 3,0E-02 | 2,2E-02 | 3,4E-02 | 4,8E-04 | 0,751 | 1550 | 28 |
| 88 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 9,4E-03 | 2,1E-04 | 0,383 | 1850 | 38 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 9,9E-03 | 2,5E-04 | 0,383 | 1535 | 34 | 2,2E-02 | 2,6E-02 | 1,9E-02 | 3,9E-04 | 0,749 | 1906 | 31 | 3,0E-02 | 3,1E-02 | 2,2E-02 | 4,7E-04 | 0,749 | 1604 | 28 |
| 103 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,384 | 1831 | 33 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-04 | 0,383 | 1618 | 35 | 2,4E-02 | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 4,0E-04 | 0,748 | 1891 | 30 | 2,9E-02 | 2,7E-02 | 2,3E-02 | 4,5E-04 | 0,749 | 1675 | 29 |
| 112 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 9,3E-03 | 2,1E-04 | 0,383 | 1832 | 38 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 2,5E-04 | 0,383 | 1529 | 34 | 2,5E-02 | 2,2E-02 | 1,8E-02 | 3,7E-04 | 0,748 | 2024 | 27 | 3,1E-02 | 2,4E-02 | 2,6E-02 | 4,6E-04 | 0,747 | 1640 | 29 |
| 123 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 6,0E-03 | 1,6E-04 | 0,338 | 2103 | 39 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 2,1E-04 | 0,338 | 1620 | 33 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 1,3E-02 | 3,0E-04 | 0,663 | 2185 | 31 | 2,0E-02 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 3,9E-04 | 0,663 | 1720 | 28 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|-----|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|----------|-----|----|----------|----------|----------|---------|---------|-----|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | Moule 9 | | | | | | Moule 10 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 1 | 4,9E-02 | 5,8E-02 | 3,5E-02 | 8,3E-04 | 0,384 | 461 | 22 | 6,2E-02 | 5,3E-02 | 3,9E-02 | 8,3E-04 | 0,383 | 462 | 22 | 7,0E-02 | 9,4E-02 | 5,3E-02 | 1,3E-03 | 0,753 | 594 | 21 | 9,3E-02 | 9,0E-02 | 5,9E-02 | 1,3E-03 | 0,752 | 577 | 20 |
| 5 | 3,0E-02 | 5,1E-02 | 4,0E-02 | 7,1E-04 | 0,383 | 539 | 22 | 4,4E-02 | 6,4E-02 | 4,4E-02 | 8,2E-04 | 0,384 | 470 | 21 | 5,4E-02 | 8,1E-02 | 6,0E-02 | 1,1E-03 | 0,753 | 663 | 20 | 7,0E-02 | 9,8E-02 | 7,8E-02 | 1,3E-03 | 0,754 | 570 | 20 |
| 8 | 3,3E-02 | 3,5E-02 | 3,2E-02 | 5,9E-04 | 0,384 | 650 | 24 | 3,9E-02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Annexe 30 – Résultats d’essais à 35°C et 43% d’HR – Essais à 15 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 2,8E-04 | 0,426 | 1542 | 33 | 2,6E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-02 | 3,2E-04 | 0,426 | 1330 | 31 | 2,5E-02 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 4,2E-04 | 0,833 | 2002 | 29 | 3,5E-02 | 2,1E-02 | 3,2E-02 | 4,8E-04 | 0,832 | 1749 | 28 |
| 7 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,6E-04 | 0,426 | 1627 | 30 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 1,1E-02 | 2,5E-04 | 0,426 | 1734 | 32 | 2,4E-02 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 3,8E-04 | 0,833 | 2188 | 28 | 2,8E-02 | 2,4E-02 | 1,9E-02 | 3,8E-04 | 0,833 | 2190 | 28 |
| 10 | 1,4E-02 | 8,5E-03 | 8,2E-03 | 1,7E-04 | 0,426 | 2481 | 40 | 1,2E-02 | 9,8E-03 | 1,4E-02 | 2,0E-04 | 0,426 | 2172 | 37 | 2,2E-02 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 2,9E-04 | 0,833 | 2901 | 33 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 2,2E-02 | 3,3E-04 | 0,832 | 2538 | 30 |
| 13 | 1,0E-02 | 8,8E-03 | 9,1E-03 | 1,5E-04 | 0,426 | 2752 | 41 | 8,9E-03 | 9,5E-03 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,426 | 2605 | 41 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 2,7E-04 | 0,833 | 3142 | 33 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 2,0E-02 | 2,8E-04 | 0,832 | 2960 | 31 |
| 16 | 8,3E-03 | 7,1E-03 | 1,4E-02 | 1,6E-04 | 0,427 | 2625 | 38 | 9,7E-03 | 7,3E-03 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,426 | 2701 | 39 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 1,9E-02 | 2,7E-04 | 0,833 | 3115 | 31 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 2,0E-02 | 2,7E-04 | 0,833 | 3046 | 32 |
| 20 | 9,0E-03 | 5,6E-03 | 6,6E-03 | 1,2E-04 | 0,426 | 3613 | 50 | 1,2E-02 | 8,2E-03 | 7,1E-03 | 1,5E-04 | 0,426 | 2931 | 42 | 1,6E-02 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,833 | 3867 | 38 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 2,6E-04 | 0,832 | 3205 | 33 |
| 27 | 5,5E-03 | 6,3E-03 | 6,9E-03 | 1,0E-04 | 0,426 | 4107 | 52 | 7,3E-03 | 7,9E-03 | 6,1E-03 | 1,1E-04 | 0,426 | 3714 | 48 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,0E-04 | 0,833 | 4230 | 38 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,833 | 3823 | 36 |
| 55 | 5,9E-03 | 5,5E-03 | 4,3E-03 | 8,7E-05 | 0,427 | 4891 | 58 | 5,7E-03 | 6,0E-03 | 4,9E-03 | 8,9E-05 | 0,426 | 4776 | 55 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 7,6E-03 | 1,6E-04 | 0,832 | 5157 | 41 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 9,6E-03 | 1,7E-04 | 0,833 | 4766 | 40 |
| 85 | 3,8E-03 | 6,4E-03 | 6,0E-03 | 9,0E-05 | 0,425 | 4723 | 52 | 4,9E-03 | 6,2E-03 | 8,4E-03 | 1,1E-04 | 0,425 | 4045 | 48 | 7,2E-03 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,6E-04 | 0,832 | 5248 | 39 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 1,4E-02 | 1,9E-04 | 0,831 | 4455 | 37 |
| 119 | 3,9E-03 | 5,2E-03 | 7,3E-03 | 9,2E-05 | 0,426 | 4649 | 54 | 6,2E-03 | 4,5E-03 | 6,7E-03 | 9,4E-05 | 0,425 | 4545 | 49 | 7,1E-03 | 9,4E-03 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,832 | 5191 | 39 | 1,2E-02 | 9,1E-03 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,833 | 4769 | 37 |
| 157 | 5,8E-03 | 3,7E-03 | 4,9E-03 | 8,0E-05 | 0,425 | 5311 | 54 | 1,3E-02 | 5,0E-03 | 4,5E-03 | 1,2E-04 | 0,425 | 3549 | 42 | 1,1E-02 | 7,7E-03 | 9,8E-03 | 1,6E-04 | 0,832 | 5245 | 38 | 2,0E-02 | 1,0E-02 | 9,3E-03 | 2,1E-04 | 0,832 | 3964 | 34 |
| 184 | | | | | | | | 1,0E-02 | 8,9E-03 | 6,2E-03 | 1,4E-04 | 0,425 | 3095 | 33 | | | | | | | | | | | | | | |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 8,6E-03 | 8,0E-03 | 8,3E-03 | 1,4E-04 | 0,420 | 3033 | 48 | 1,3E-02 | 5,9E-03 | 1,1E-02 | 1,6E-04 | 0,420 | 2575 | 44 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,823 | 3624 | 39 | 1,9E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,823 | 3147 | 36 |
| 7 | 8,9E-03 | 8,1E-03 | 9,8E-03 | 1,5E-04 | 0,420 | 2830 | 38 | 1,0E-02 | 7,8E-03 | 5,5E-03 | 1,3E-04 | 0,420 | 3351 | 45 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 2,2E-04 | 0,823 | 3761 | 35 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 2,1E-04 | 0,822 | 3864 | 37 |
| 10 | 7,4E-03 | 4,5E-03 | 4,4E-03 | 9,1E-05 | 0,418 | 4613 | 66 | 6,1E-03 | 5,1E-03 | 7,0E-03 | 9,8E-05 | 0,418 | 4286 | 57 | 1,2E-02 | 8,3E-03 | 8,0E-03 | 1,6E-04 | 0,815 | 5163 | 47 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,819 | 4482 | 41 |
| 13 | 4,9E-03 | 4,4E-03 | 4,4E-03 | 7,6E-05 | 0,418 | 5495 | 71 | 4,3E-03 | 4,8E-03 | 5,8E-03 | 8,0E-05 | 0,417 | 5188 | 68 | 8,9E-03 | 9,0E-03 | 8,4E-03 | 1,5E-04 | 0,820 | 5609 | 48 | 8,1E-03 | 9,8E-03 | 1,1E-02 | 1,5E-04 | 0,821 | 5334 | 44 |
| 16 | 4,5E-03 | 4,1E-03 | 7,1E-03 | 8,7E-05 | 0,420 | 4812 | 60 | 4,6E-03 | 3,8E-03 | 6,3E-03 | 7,9E-05 | 0,418 | 5288 | 61 | 9,4E-03 | 7,3E-03 | 1,1E-02 | 1,5E-04 | 0,820 | 5424 | 43 | 9,2E-03 | 7,6E-03 | 1,1E-02 | 1,5E-04 | 0,820 | 5386 | 42 |
| 20 | 4,2E-03 | 4,6E-03 | 3,8E-03 | 7,0E-05 | 0,419 | 5972 | 91 | 5,9E-03 | 4,2E-03 | 3,9E-03 | 7,5E-05 | 0,417 | 5534 | 69 | 8,4E-03 | 5,8E-03 | 6,9E-03 | 1,2E-04 | 0,820 | 6984 | 57 | 1,1E-02 | 8,2E-03 | 7,7E-03 | 1,4E-04 | 0,815 | 5669 | 45 |
| 27 | 3,8E-03 | 3,7E-03 | 3,6E-03 | 6,1E-05 | 0,419 | 6822 | 97 | 3,7E-03 | 4,0E-03 | 4,0E-03 | 6,2E-05 | 0,417 | 6681 | 85 | 6,0E-03 | 6,4E-03 | 6,7E-03 | 1,1E-04 | 0,821 | 7710 | 57 | 7,5E-03 | 8,3E-03 | 6,0E-03 | 1,2E-04 | 0,816 | 6970 | 51 |
| 55 | 3,0E-03 | 3,1E-03 | 4,9E-03 | 6,1E-05 | 0,421 | 6892 | 106 | 3,2E-03 | 3,1E-03 | 3,8E-03 | 5,5E-05 | 0,418 | 7607 | 100 | 6,1E-03 | 5,8E-03 | 5,8E-03 | 9,8E-05 | 0,818 | 8353 | 63 | 6,2E-03 | 6,4E-03 | 5,1E-03 | 9,5E-05 | 0,820 | 8651 | 59 |
| 85 | 3,9E-03 | 3,0E-03 | 3,0E-03 | 5,5E-05 | 0,417 | 7561 | 90 | 4,1E-03 | 3,3E-03 | 4,5E-03 | 6,4E-05 | 0,419 | 6546 | 82 | 4,4E-03 | 5,9E-03 | 5,6E-03 | 8,8E-05 | 0,816 | 9252 | 57 | 5,5E-03 | 5,1E-03 | 8,4E-03 | 1,0E-04 | 0,817 | 7973 | 52 |
| 119 | 4,6E-03 | 2,9E-03 | 3,9E-03 | 6,3E-05 | 0,419 | 6631 | 94 | 3,1E-03 | 3,5E-03 | 3,2E-03 | 5,2E-05 | 0,418 | 7991 | 84 | 5,2E-03 | 5,3E-03 | 7,4E-03 | 9,9E-05 | 0,816 | 8251 | 56 | 6,6E-03 | 5,0E-03 | 6,2E-03 | 9,5E-05 | 0,820 | 8611 | 52 |
| 157 | 2,9E-03 | 3,5E-03 | 3,0E-03 | 5,2E-05 | 0,419 | 8034 | 95 | 8,3E-03 | 3,1E-03 | 3,6E-03 | 8,0E-05 | 0,417 | 5182 | 62 | 6,4E-03 | 4,3E-03 | 5,4E-03 | 9,0E-05 | 0,819 | 9105 | 55 | 1,3E-02 | 5,8E-03 | 5,0E-03 | 1,3E-04 | 0,819 | 6412 | 43 |
| 184 | | | | | | | | 6,2E-03 | 5,6E-03 | 3,2E-03 | 8,1E-05 | 0,418 | 5178 | 43 | | | | | | | | | | | | | | |



| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|-------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 5,2E-03 | 4,7E-03 | 4,9E-03 | 8,2E-05 | 0,338 | 4112 | 65 | 7,4E-03 | 3,6E-03 | 6,6E-03 | 9,5E-05 | 0,339 | 3563 | 59 | 9,1E-03 | 8,1E-03 | 8,3E-03 | 1,4E-04 | 0,662 | 4676 | 50 | 1,2E-02 | 7,2E-03 | 1,1E-02 | 1,6E-04 | 0,663 | 4102 | 45 |
| 7 | 5,3E-03 | 4,8E-03 | 6,6E-03 | 9,2E-05 | 0,338 | 3662 | 47 | 6,0E-03 | 4,6E-03 | 3,6E-03 | 7,6E-05 | 0,338 | 4428 | 60 | 8,5E-03 | 7,6E-03 | 9,2E-03 | 1,4E-04 | 0,662 | 4704 | 43 | 1,0E-02 | 8,2E-03 | 6,8E-03 | 1,3E-04 | 0,663 | 4923 | 46 |
| 10 | 4,7E-03 | 3,7E-03 | 3,6E-03 | 6,7E-05 | 0,338 | 5079 | 94 | 3,8E-03 | 3,5E-03 | 4,3E-03 | 6,2E-05 | 0,338 | 5456 | 80 | 7,8E-03 | 5,5E-03 | 5,4E-03 | 1,0E-04 | 0,690 | 6626 | 64 | 7,4E-03 | 6,8E-03 | 7,8E-03 | 1,2E-04 | 0,662 | 5592 | 52 |
| 13 | 3,4E-03 | 3,3E-03 | 3,2E-03 | 5,5E-05 | 0,338 | 6163 | 101 | 3,5E-03 | 3,5E-03 | 3,8E-03 | 5,8E-05 | 0,340 | 5888 | 95 | 5,8E-03 | 5,8E-03 | 5,5E-03 | 9,5E-05 | 0,662 | 6985 | 64 | 5,0E-03 | 6,3E-03 | 6,9E-03 | 9,8E-05 | 0,662 | 6780 | 59 |
| 16 | 2,8E-03 | 3,4E-03 | 4,3E-03 | 5,8E-05 | 0,338 | 5794 | 84 | 3,0E-03 | 2,9E-03 | 3,9E-03 | 5,3E-05 | 0,338 | 6410 | 84 | 6,1E-03 | 4,5E-03 | 6,8E-03 | 9,7E-05 | 0,662 | 6827 | 55 | 5,8E-03 | 4,8E-03 | 7,5E-03 | 9,7E-05 | 0,662 | 6817 | 53 |
| 20 | 3,0E-03 | 3,9E-03 | 3,0E-03 | 5,5E-05 | 0,338 | 6108 | 120 | 3,7E-03 | 3,4E-03 | 3,2E-03 | 5,6E-05 | 0,339 | 6095 | 94 | 5,5E-03 | 4,7E-03 | 4,4E-03 | 8,1E-05 | 0,663 | 8150 | 77 | 7,3E-03 | 5,3E-03 | 5,1E-03 | 9,6E-05 | 0,684 | 7156 | 57 |
| 27 | 3,2E-03 | 3,1E-03 | 2,8E-03 | 5,0E-05 | 0,339 | 6788 | 124 | 2,9E-03 | 2,9E-03 | 3,5E-03 | 5,0E-05 | 0,340 | 6806 | 113 | 3,8E-03 | 4,0E-03 | 4,3E-03 | 6,7E-05 | 0,663 | 9862 | 78 | 5,0E-03 | 5,6E-03 | 4,5E-03 | 8,1E-05 | 0,681 | 8366 | 68 |
| 55 | 2,4E-03 | 2,4E-03 | 4,1E-03 | 5,0E-05 | 0,338 | 6823 | 130 | 2,6E-03 | 2,4E-03 | 3,3E-03 | 4,5E-05 | 0,338 | 7511 | 125 | 4,2E-03 | 3,9E-03 | 4,9E-03 | 7,2E-05 | 0,661 | 9125 | 85 | 4,0E-03 | 4,1E-03 | 4,0E-03 | 6,5E-05 | 0,662 | 10153 | 79 |
| 85 | 3,4E-03 | 2,3E-03 | 2,3E-03 | 4,4E-05 | 0,337 | 7612 | 114 | 3,3E-03 | 2,7E-03 | 3,0E-03 | 4,8E-05 | 0,337 | 6992 | 108 | 3,8E-03 | 4,1E-03 | 3,8E-03 | 6,5E-05 | 0,662 | 10212 | 73 | 4,0E-03 | 3,6E-03 | 5,7E-03 | 7,1E-05 | 0,658 | 9233 | 68 |
| 119 | 3,9E-03 | 2,4E-03 | 2,8E-03 | 5,0E-05 | 0,338 | 6715 | 118 | 2,4E-03 | 3,0E-03 | 2,4E-03 | 4,2E-05 | 0,338 | 8057 | 110 | 4,6E-03 | 3,7E-03 | 5,2E-03 | 7,5E-05 | 0,679 | 9058 | 74 | 4,4E-03 | 3,7E-03 | 4,2E-03 | 6,6E-05 | 0,662 | 9962 | 68 |
| 157 | 2,2E-03 | 3,0E-03 | 2,4E-03 | 4,2E-05 | 0,339 | 8015 | 119 | 6,1E-03 | 2,7E-03 | 3,1E-03 | 6,4E-05 | 0,342 | 5355 | 80 | 4,5E-03 | 3,7E-03 | 3,7E-03 | 6,6E-05 | 0,662 | 10068 | 72 | 9,5E-03 | 3,9E-03 | 3,7E-03 | 9,3E-05 | 0,662 | 7144 | 43 |
| 184 | | | | | | | | 4,3E-03 | 3,9E-03 | 2,4E-03 | 5,7E-05 | 0,338 | 5913 | 53 | | | | | | | | 7,2E-03 | 8,7E-03 | 4,2E-03 | 1,1E-04 | 0,664 | 6139 | 55 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|-----|----------|----------|----------|---------|---------|-------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 5,1E-03 | 5,1E-03 | 5,0E-03 | 8,4E-05 | 0,384 | 4560 | 85 | 6,3E-03 | 4,6E-03 | 5,9E-03 | 9,0E-05 | 0,383 | 4246 | 76 | 8,7E-03 | 7,8E-03 | 7,9E-03 | 1,4E-04 | 0,748 | 5517 | 63 | 1,0E-02 | 7,2E-03 | 1,0E-02 | 1,5E-04 | 0,749 | 5075 | 56 |
| 7 | 5,3E-03 | 4,9E-03 | 6,7E-03 | 9,3E-05 | 0,401 | 4300 | 59 | 5,6E-03 | 5,0E-03 | 4,4E-03 | 8,1E-05 | 0,403 | 5006 | 78 | 7,6E-03 | 7,1E-03 | 8,9E-03 | 1,3E-04 | 0,747 | 5720 | 53 | 9,0E-03 | 7,7E-03 | 6,5E-03 | 1,3E-04 | 0,748 | 5970 | 58 |
| 10 | 4,7E-03 | 4,6E-03 | 4,5E-03 | 7,6E-05 | 0,383 | 5006 | 114 | 4,3E-03 | 4,3E-03 | 4,5E-03 | 7,1E-05 | 0,381 | 5406 | 100 | 7,0E-03 | 5,8E-03 | 5,6E-03 | 1,0E-04 | 0,752 | 7337 | 81 | 6,9E-03 | 6,3E-03 | 7,1E-03 | 1,1E-04 | 0,748 | 6827 | 66 |
| 13 | 4,2E-03 | 4,2E-03 | 4,0E-03 | 6,9E-05 | 0,381 | 5506 | 118 | 4,3E-03 | 4,3E-03 | 4,1E-03 | 6,8E-05 | 0,382 | 5600 | 114 | 5,5E-03 | 5,6E-03 | 5,3E-03 | 9,1E-05 | 0,749 | 8241 | 81 | 5,5E-03 | 6,1E-03 | 6,6E-03 | 9,8E-05 | 0,747 | 7618 | 75 |
| 16 | 3,4E-03 | 4,7E-03 | 4,3E-03 | 6,9E-05 | 0,382 | 5570 | 103 | 3,7E-03 | 3,9E-03 | 3,8E-03 | 6,2E-05 | 0,381 | 6181 | 102 | 6,3E-03 | 5,6E-03 | 6,2E-03 | 1,0E-04 | 0,748 | 7425 | 69 | 5,7E-03 | 4,9E-03 | 7,0E-03 | 9,5E-05 | 0,749 | 7919 | 67 |
| 20 | 3,6E-03 | 5,3E-03 | 4,0E-03 | 7,2E-05 | 0,381 | 5312 | 133 | 3,7E-03 | 4,3E-03 | 4,0E-03 | 6,4E-05 | 0,382 | 5955 | 112 | 5,3E-03 | 6,0E-03 | 5,0E-03 | 9,0E-05 | 0,749 | 8301 | 95 | 6,7E-03 | 5,3E-03 | 4,9E-03 | 9,1E-05 | 0,751 | 8211 | 71 |
| 27 | 4,3E-03 | 4,2E-03 | 3,6E-03 | 6,7E-05 | 0,382 | 5677 | 135 | 3,6E-03 | 3,5E-03 | 4,4E-03 | 6,2E-05 | 0,382 | 6212 | 127 | 4,9E-03 | 4,9E-03 | 4,5E-03 | 8,0E-05 | 0,747 | 9372 | 95 | 4,8E-03 | 5,3E-03 | 5,3E-03 | 8,3E-05 | 0,751 | 9093 | 85 |
| 55 | 3,1E-03 | 3,3E-03 | 5,3E-03 | 6,5E-05 | 0,383 | 5884 | 138 | 3,5E-03 | 3,2E-03 | 4,3E-03 | 5,9E-05 | 0,382 | 6480 | 134 | 4,2E-03 | 4,1E-03 | 6,0E-03 | 7,9E-05 | 0,751 | 9449 | 101 | 4,3E-03 | 4,3E-03 | 5,1E-03 | 7,4E-05 | 0,748 | 10081 | 95 |
| 85 | 4,2E-03 | 2,7E-03 | 2,6E-03 | 5,3E-05 | 0,373 | 7051 | 123 | 4,4E-03 | 3,3E-03 | 3,1E-03 | 5,7E-05 | 0,372 | 6484 | 119 | 4,5E-03 | 4,1E-03 | 3,9E-03 | 7,0E-05 | 0,728 | 10471 | 85 | 4,7E-03 | 4,0E-03 | 5,4E-03 | 7,6E-05 | 0,727 | 9601 | 81 |
| 119 | 5,1E-03 | 3,1E-03 | 3,1E-03 | 6,3E-05 | 0,382 | 6072 | 128 | 3,1E-03 | 3,9E-03 | 2,9E-03 | 5,4E-05 | 0,382 | 7093 | 122 | 5,3E-03 | 4,0E-03 | 5,1E-03 | 8,0E-05 | 0,751 | 9341 | 90 | 4,5E-03 | 4,7E-03 | 4,3E-03 | 7,2E-05 | 0,749 | 10380 | 83 |
| 157 | 2,9E-03 | 3,9E-03 | 3,2E-03 | 5,6E-05 | 0,381 | 6847 | 128 | 6,1E-03 | 3,4E-03 | 3,9E-03 | 7,2E-05 | 0,383 | 5350 | 95 | 4,5E-03 | 4,4E-03 | 3,9E-03 | 7,1E-05 | 0,750 | 10526 | 87 | 9,6E-03 | 4,1E-03 | 4,5E-03 | 9,8E-05 | 0,750 | 7673 | 65 |
| 184 | | | | | | | | 4,2E-03 | 4,1E-03 | 3,1E-03 | 6,1E-05 | 0,382 | 6266 | 65 | | | | | | | | 7,0E-03 | 8,9E-03 | 4,3E-03 | 1,1E-04 | 0,749 | 6892 | 42 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|-----|----------|----------|----------|---------|---------|-------|-----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 5,3E-03 | 5,5E-03 | 5,3E-03 | 8,9E-05 | 0,423 | 4744 | 100 | 6,1E-03 | 5,3E-03 | 5,4E-03 | 9,0E-05 | 0,423 | 4698 | 92 | 8,2E-03 | 7,2E-03 | 7,3E-03 | 1,3E-04 | 0,826 | 6552 | 75 | 9,7E-03 | 6,9E-03 | 9,7E-03 | 1,4E-04 | 0,827 | 5864 | 67 |
| 7 | 5,2E-03 | 4,8E-03 | 6,7E-03 | 9,3E-05 | 0,422 | 4562 | 73 | 5,3E-03 | 5,0E-03 | 4,7E-03 | 8,1E-05 | 0,422 | 5224 | 93 | 7,0E-03 | 6,7E-03 | 8,8E-03 | 1,3E-04 | 0,826 | 6589 | 65 | 8,4E-03 | 7,3E-03 | 6,2E-03 | 1,2E-04 | 0,825 | 7004 | 70 |
| 10 | 5,1E-03 | 5,5E-03 | 5,3E-03 | 8,8E-05 | 0,422 | 4779 | 125 | 4,8E-03 | 5,1E-03 | 4,9E-03 | 8,0E-05 | 0,421 | 5289 | 113 | 7,0E-03 | 7,1E-03 | 6,7E-03 | 1,2E-04 | 0,826 | 7139 | 95 | 6,8E-03 | 6,7E-03 | 6,9E-03 | 1,1E-04 | 0,826 | 7526 | 77 |
| 13 | 4,9E-03 | 5,1E-03 | 4,8E-03 | 8,2E-05 | 0,422 | 5123 | 128 | 5,2E-03 | 5,1E-03 | 4,7E-03 | 8,1E-05 | 0,422 | 5241 | 124 | 6,6E-03 | 6,5E-03 | 6,3E-03 | 1,1E-04 | 0,828 | 7693 | 93 | 6,7E-03 | 6,4E-03 | 6,5E-03 | 1,0E-04 | 0,826 | 7884 | 87 |
| 16 | 3,8E-03 | 5,4E-03 | 4,4E-03 | 7,5E-05 | 0,421 | 5588 | 115 | 4,4E-03 | 4,5E-03 | 4,2E-03 | 7,0E-05 | 0,421 | 5984 | 114 | 6,3E-03 | 6,7E-03 | 6,2E-03 | 1,1E-04 | 0,826 | 7742 | 81 | 5,7E-03 | 5,8E-03 | 7,3E-03 | 1,0E-04 | 0,827 | 8174 | 78 |
| 20 | 4,4E-03 | 6,0E-03 | 4,6E-03 | 8,4E-05 | 0,422 | 5042 | 138 | 4,2E-03 | 5,0E-03 | 4,8E-03 | 7,5E-05 | 0,422 | 5596 | 121 | 5,7E-03 | 7,1E-03 | 5,9E-03 | 1,0E-04 | 0,828 | 7986 | 106 | 6,9E-03 | 6,4E-03 | 5,7E-03 | 1,0E-04 | 0,828 | 8110 | 84 |
| 27 | 5,0E-03 | 4,9E-03 | 4,2E-03 | 7,9E-05 | 0,422 | 5347 | 139 | 4,3E-03 | 4,2E-03 | 5,1E-03 | 7,3E-05 | 0,423 | 5805 | 133 | 5,9E-03 | 6,0E-03 | 5,4E-03 | 9,6E-05 | 0,828 | 8644 | 105 | 5,5E-03 | 5,4E-03 | 6,5E-03 | 9,3E-05 | 0,826 | 8861 | 96 |
| 55 | 3,8E-03 | 3,9E-03 | 6,0E-03 | 7,6E-05 | 0,422 | 5551 | 140 | 4,1E-03 | 3,8E-03 | 4,9E-03 | 6,9E-05 | 0,422 | 6112 | 138 | 4,8E-03 | 5,0E-03 | 7,1E-03 | 9,4E-05 | 0,826 | 8800 | 109 | 5,3E-03 | 4,8E-03 | 6,3E-03 | 8,9E-05 | 0,828 | 9342 | 105 |
| 85 | 4,7E-03 | 3,0E-03 | 2,9E-03 | 5,9E-05 | 0,383 | 6535 | 127 | 4,7E-03 | 3,5E-03 | 3,3E-03 | 6,2E-05 | 0,382 | 6166 | 121 | 4,8E-03 | 4,6E-03 | 4,4E-03 | 7,7E-05 | 0,766 | 9954 | 89 | 5,2E-03 | 4,3E-03 | 5,8E-03 | 8,2E-05 | 0,766 | 9315 | 86 |
| 119 | 5,8E-03 | 3,8E-03 | 3,6E-03 | 7,3E-05 | 0,423 | 5766 | 131 | 3,8E-03 | 4,6E-03 | 3,6E-03 | 6,5E-05 | 0,422 | 6533 | 127 | 6,5E-03 | 4,8E-03 | 5,7E-03 | 9,4E-05 | 0,829 | 8791 | 98 | 4,8E-03 | 5,7E-03 | 4,6E-03 | 8,1E-05 | 0,827 | 10186 | 93 |
| 157 | 3,5E-03 | 4,5E-03 | 3,8E-03 | 6,6E-05 | 0,422 | 6385 | 132 | 6,6E-03 | 4,0E-03 | 4,4E-03 | 8,1E-05 | 0,423 | 5218 | 105 | 4,9E-03 | 5,5E-03 | 4,9E-03 | 8,5E-05 | 0,827 | 9753 | 96 | 1,0E-02 | 4,7E-03 | 5,4E-03 | 1,1E-04 | 0,825 | 7630 | 76 |
| 184 | | | | | | | | 4,6E-03 | 4,4E-03 | 3,9E-03 | 6,9E-05 | 0,422 | 6133 | 77 | | | | | | | | 7,7E-03 | 9,8E-03 | 4,8E-03 | 1,2E-04 | 0,827 | 6894 | 50 |



Annexe 31 – Résultats d’essais à 35°C et 43% d’HR – Essais à 20 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 3,0E-04 | 0,426 | 1437 | 31 | 2,8E-02 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,426 | 1288 | 30 | 2,4E-02 | 2,8E-02 | 2,9E-02 | 4,4E-04 | 0,834 | 1877 | 28 | 4,0E-02 | 2,4E-02 | 2,9E-02 | 5,0E-04 | 0,834 | 1666 | 26 |
| 7 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-02 | 2,6E-04 | 0,426 | 1643 | 31 | 2,0E-02 | 1,2E-02 | 2,3E-02 | 3,0E-04 | 0,426 | 1441 | 29 | 2,0E-02 | 2,2E-02 | 3,0E-02 | 4,0E-04 | 0,833 | 2090 | 27 | 2,7E-02 | 2,4E-02 | 3,7E-02 | 4,7E-04 | 0,833 | 1768 | 24 |
| 10 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-02 | 2,2E-04 | 0,427 | 1897 | 32 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-04 | 0,426 | 1763 | 33 | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 2,7E-02 | 3,6E-04 | 0,833 | 2312 | 27 | 2,8E-02 | 2,4E-02 | 2,1E-02 | 4,0E-04 | 0,833 | 2105 | 27 |
| 13 | 1,4E-02 | 9,5E-03 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,427 | 2239 | 37 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,426 | 2024 | 35 | 2,2E-02 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 3,2E-04 | 0,833 | 2633 | 30 | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 3,5E-04 | 0,833 | 2374 | 29 |
| 16 | 1,1E-02 | 1,7E-02 | 9,3E-03 | 2,1E-04 | 0,426 | 2064 | 35 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,426 | 2146 | 36 | 1,8E-02 | 2,3E-02 | 1,6E-02 | 3,2E-04 | 0,833 | 2624 | 30 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 3,3E-04 | 0,833 | 2545 | 30 |
| 20 | 8,2E-03 | 8,6E-03 | 9,8E-03 | 1,5E-04 | 0,427 | 2887 | 41 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,7E-04 | 0,426 | 2470 | 38 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 2,6E-04 | 0,833 | 3240 | 32 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 3,0E-04 | 0,834 | 2794 | 30 |
| 27 | 6,8E-03 | 1,0E-02 | 7,8E-03 | 1,4E-04 | 0,426 | 3097 | 42 | 9,0E-03 | 9,8E-03 | 1,1E-02 | 1,6E-04 | 0,426 | 2681 | 40 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 2,4E-04 | 0,833 | 3496 | 33 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 2,7E-04 | 0,833 | 3035 | 32 |
| 55 | 6,8E-03 | 4,6E-03 | 6,7E-03 | 1,0E-04 | 0,426 | 4232 | 51 | 6,4E-03 | 7,8E-03 | 1,1E-02 | 1,3E-04 | 0,426 | 3175 | 42 | 1,2E-02 | 9,6E-03 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,834 | 4496 | 38 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 2,3E-04 | 0,832 | 3631 | 34 |
| 85 | 6,2E-03 | 6,1E-03 | 6,4E-03 | 1,0E-04 | 0,425 | 4100 | 49 | 4,9E-03 | 7,3E-03 | 8,9E-03 | 1,1E-04 | 0,425 | 3750 | 50 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,831 | 4298 | 37 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 2,1E-04 | 0,832 | 3896 | 36 |
| 119 | 4,2E-03 | 7,3E-03 | 4,5E-03 | 8,9E-05 | 0,426 | 4775 | 58 | 4,6E-03 | 1,2E-02 | 7,6E-03 | 1,3E-04 | 0,426 | 3285 | 43 | 7,8E-03 | 1,3E-02 | 9,0E-03 | 1,6E-04 | 0,834 | 5081 | 40 | 9,7E-03 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,832 | 3845 | 35 |
| 157 | 7,2E-03 | 5,9E-03 | 4,0E-03 | 9,5E-05 | 0,426 | 4467 | 52 | 1,0E-02 | 6,2E-03 | 4,9E-03 | 1,1E-04 | 0,425 | 3727 | 44 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 7,8E-03 | 1,8E-04 | 0,831 | 4620 | 36 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,0E-04 | 0,832 | 4163 | 35 |
| 184 | | | | | | | | 8,0E-03 | 7,4E-03 | 5,7E-03 | 1,1E-04 | 0,425 | 3765 | 44 | | | | | | | | | | | | | | |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|-----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 7,8E-03 | 9,5E-03 | 9,9E-03 | 1,5E-04 | 0,412 | 2735 | 45 | 1,5E-02 | 7,3E-03 | 9,7E-03 | 1,7E-04 | 0,420 | 2407 | 42 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,5E-04 | 0,821 | 3294 | 37 | 2,4E-02 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 2,9E-04 | 0,822 | 2835 | 35 |
| 7 | 6,5E-03 | 6,8E-03 | 1,3E-02 | 1,4E-04 | 0,420 | 2901 | 42 | 1,0E-02 | 6,7E-03 | 1,4E-02 | 1,7E-04 | 0,420 | 2526 | 38 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-02 | 2,3E-04 | 0,820 | 3500 | 35 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 2,3E-02 | 2,8E-04 | 0,824 | 2924 | 31 |
| 10 | 5,4E-03 | 5,9E-03 | 1,1E-02 | 1,2E-04 | 0,418 | 3421 | 46 | 9,9E-03 | 7,0E-03 | 6,2E-03 | 1,2E-04 | 0,419 | 3359 | 47 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 2,1E-04 | 0,822 | 3830 | 35 | 1,7E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,3E-04 | 0,821 | 3616 | 36 |
| 13 | 7,4E-03 | 4,7E-03 | 5,5E-03 | 9,8E-05 | 0,418 | 4279 | 58 | 6,7E-03 | 6,3E-03 | 6,6E-03 | 1,1E-04 | 0,419 | 3971 | 52 | 1,3E-02 | 9,4E-03 | 9,8E-03 | 1,8E-04 | 0,820 | 4516 | 41 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,0E-04 | 0,819 | 4073 | 38 |
| 16 | 5,0E-03 | 8,5E-03 | 4,8E-03 | 1,0E-04 | 0,420 | 4130 | 53 | 6,5E-03 | 5,6E-03 | 6,1E-03 | 9,8E-05 | 0,419 | 4270 | 54 | 9,8E-03 | 1,2E-02 | 9,8E-03 | 1,8E-04 | 0,820 | 4624 | 40 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,820 | 4434 | 39 |
| 20 | 3,9E-03 | 4,2E-03 | 5,0E-03 | 7,2E-05 | 0,420 | 5812 | 68 | 5,3E-03 | 5,4E-03 | 5,1E-03 | 8,5E-05 | 0,419 | 4929 | 59 | 8,0E-03 | 8,2E-03 | 9,7E-03 | 1,4E-04 | 0,821 | 5713 | 45 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 1,7E-04 | 0,822 | 4853 | 40 |
| 27 | 3,9E-03 | 4,8E-03 | 3,9E-03 | 7,0E-05 | 0,418 | 5987 | 69 | 4,4E-03 | 4,6E-03 | 5,2E-03 | 7,6E-05 | 0,420 | 5497 | 62 | 7,0E-03 | 9,1E-03 | 7,7E-03 | 1,3E-04 | 0,818 | 6185 | 45 | 9,0E-03 | 9,4E-03 | 9,7E-03 | 1,5E-04 | 0,819 | 5416 | 42 |
| 55 | 3,4E-03 | 3,7E-03 | 3,3E-03 | 5,8E-05 | 0,418 | 7266 | 93 | 3,5E-03 | 3,6E-03 | 5,5E-03 | 6,8E-05 | 0,418 | 6137 | 66 | 6,4E-03 | 5,4E-03 | 6,3E-03 | 1,0E-04 | 0,819 | 8138 | 56 | 6,5E-03 | 6,9E-03 | 1,0E-02 | 1,3E-04 | 0,819 | 6506 | 45 |
| 85 | 3,6E-03 | 3,3E-03 | 3,2E-03 | 5,6E-05 | 0,417 | 7478 | 85 | 4,6E-03 | 3,5E-03 | 4,2E-03 | 6,7E-05 | 0,416 | 6239 | 87 | 6,1E-03 | 6,2E-03 | 6,8E-03 | 1,1E-04 | 0,816 | 7684 | 51 | 6,0E-03 | 7,1E-03 | 8,0E-03 | 1,1E-04 | 0,816 | 7174 | 50 |
| 119 | 4,6E-03 | 3,9E-03 | 3,2E-03 | 6,6E-05 | 0,419 | 6396 | 104 | 4,2E-03 | 7,2E-03 | 3,7E-03 | 8,1E-05 | 0,419 | 5164 | 66 | 5,4E-03 | 7,8E-03 | 4,9E-03 | 1,0E-04 | 0,820 | 8199 | 60 | 5,3E-03 | 1,1E-02 | 7,1E-03 | 1,3E-04 | 0,818 | 6521 | 46 |
| 157 | 3,7E-03 | 3,1E-03 | 4,3E-03 | 6,2E-05 | 0,418 | 6773 | 89 | 5,9E-03 | 3,4E-03 | 3,6E-03 | 7,0E-05 | 0,418 | 6004 | 69 | 8,0E-03 | 6,5E-03 | 5,0E-03 | 1,1E-04 | 0,819 | 7567 | 50 | 8,3E-03 | 6,1E-03 | 6,1E-03 | 1,1E-04 | 0,821 | 7437 | 48 |
| 184 | | | | | | | | 4,2E-03 | 3,7E-03 | 3,6E-03 | 6,1E-05 | 0,420 | 6842 | 69 | | | | | | | | | | | | | | |



| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 5,0E-03 | 5,9E-03 | 6,1E-03 | 9,5E-05 | 0,333 | 3510 | 59 | 9,2E-03 | 4,3E-03 | 5,8E-03 | 1,0E-04 | 0,339 | 3259 | 55 | 8,7E-03 | 9,5E-03 | 9,9E-03 | 1,6E-04 | 0,662 | 4239 | 48 | 1,5E-02 | 8,2E-03 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,663 | 3621 | 42 |
| 7 | 3,9E-03 | 4,1E-03 | 8,2E-03 | 9,0E-05 | 0,338 | 3749 | 55 | 6,2E-03 | 4,1E-03 | 8,8E-03 | 1,0E-04 | 0,338 | 3302 | 49 | 7,2E-03 | 8,1E-03 | 1,2E-02 | 1,5E-04 | 0,662 | 4306 | 43 | 9,3E-03 | 9,3E-03 | 1,5E-02 | 1,8E-04 | 0,662 | 3621 | 38 |
| 10 | 3,6E-03 | 3,9E-03 | 7,1E-03 | 8,0E-05 | 0,340 | 4225 | 61 | 6,1E-03 | 4,3E-03 | 3,8E-03 | 7,6E-05 | 0,338 | 4442 | 64 | 6,4E-03 | 7,5E-03 | 1,1E-02 | 1,4E-04 | 0,662 | 4761 | 44 | 1,1E-02 | 8,1E-03 | 7,9E-03 | 1,4E-04 | 0,662 | 4571 | 45 |
| 13 | 4,8E-03 | 3,6E-03 | 3,8E-03 | 6,8E-05 | 0,341 | 5036 | 81 | 4,0E-03 | 3,9E-03 | 4,1E-03 | 6,5E-05 | 0,339 | 5251 | 71 | 8,9E-03 | 6,1E-03 | 6,4E-03 | 1,2E-04 | 0,662 | 5576 | 53 | 7,4E-03 | 8,6E-03 | 8,4E-03 | 1,3E-04 | 0,662 | 5057 | 47 |
| 16 | 3,2E-03 | 5,0E-03 | 3,3E-03 | 6,4E-05 | 0,338 | 5313 | 74 | 4,0E-03 | 3,5E-03 | 3,7E-03 | 6,0E-05 | 0,338 | 5607 | 74 | 6,3E-03 | 7,4E-03 | 6,3E-03 | 1,1E-04 | 0,661 | 5944 | 51 | 7,6E-03 | 6,8E-03 | 7,6E-03 | 1,2E-04 | 0,662 | 5598 | 49 |
| 20 | 3,0E-03 | 3,1E-03 | 3,3E-03 | 5,2E-05 | 0,339 | 6466 | 95 | 3,2E-03 | 3,4E-03 | 3,3E-03 | 5,3E-05 | 0,338 | 6342 | 82 | 5,2E-03 | 5,2E-03 | 6,2E-03 | 9,2E-05 | 0,661 | 7204 | 59 | 7,0E-03 | 6,6E-03 | 6,6E-03 | 1,1E-04 | 0,662 | 6101 | 51 |
| 27 | 3,1E-03 | 3,1E-03 | 2,8E-03 | 5,0E-05 | 0,338 | 6744 | 96 | 3,0E-03 | 3,1E-03 | 3,3E-03 | 5,1E-05 | 0,338 | 6669 | 85 | 4,7E-03 | 6,0E-03 | 5,2E-03 | 8,8E-05 | 0,662 | 7491 | 60 | 6,0E-03 | 6,0E-03 | 6,3E-03 | 9,8E-05 | 0,661 | 6730 | 53 |
| 55 | 2,7E-03 | 3,2E-03 | 2,6E-03 | 4,7E-05 | 0,338 | 7157 | 120 | 2,8E-03 | 2,7E-03 | 3,5E-03 | 4,9E-05 | 0,339 | 6923 | 89 | 4,3E-03 | 4,0E-03 | 4,2E-03 | 7,0E-05 | 0,662 | 9512 | 76 | 4,3E-03 | 4,6E-03 | 6,7E-03 | 8,4E-05 | 0,662 | 7928 | 57 |
| 85 | 2,9E-03 | 2,6E-03 | 2,5E-03 | 4,4E-05 | 0,338 | 7608 | 112 | 4,0E-03 | 2,9E-03 | 2,7E-03 | 5,1E-05 | 0,337 | 6547 | 114 | 4,1E-03 | 4,2E-03 | 4,7E-03 | 7,2E-05 | 0,664 | 9194 | 66 | 4,3E-03 | 4,7E-03 | 5,4E-03 | 7,8E-05 | 0,666 | 8583 | 64 |
| 119 | 4,0E-03 | 2,8E-03 | 2,7E-03 | 5,3E-05 | 0,339 | 6435 | 127 | 3,6E-03 | 5,0E-03 | 2,5E-03 | 6,0E-05 | 0,338 | 5662 | 89 | 4,5E-03 | 5,5E-03 | 3,3E-03 | 7,4E-05 | 0,663 | 8964 | 80 | 4,3E-03 | 8,0E-03 | 4,6E-03 | 9,1E-05 | 0,662 | 7277 | 59 |
| 157 | 2,5E-03 | 2,4E-03 | 3,6E-03 | 4,8E-05 | 0,338 | 7068 | 113 | 4,1E-03 | 2,8E-03 | 3,1E-03 | 5,4E-05 | 0,339 | 6276 | 92 | 5,7E-03 | 4,5E-03 | 4,2E-03 | 8,0E-05 | 0,662 | 8293 | 64 | 6,0E-03 | 3,9E-03 | 3,7E-03 | 7,3E-05 | 0,662 | 9029 | 61 |
| 184 | | | | | | | | 2,7E-03 | 2,7E-03 | 2,9E-03 | 4,5E-05 | 0,339 | 7538 | 92 | | | | | | | | 6,0E-03 | 5,1E-03 | 4,0E-03 | 8,1E-05 | 0,672 | 8268 | 58 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|-------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 3,2E-03 | 3,6E-03 | 3,6E-03 | 5,8E-05 | 0,251 | 4337 | 78 | 8,1E-03 | 4,9E-03 | 5,5E-03 | 9,9E-05 | 0,384 | 3863 | 70 | 8,3E-03 | 8,8E-03 | 9,0E-03 | 1,5E-04 | 0,748 | 5158 | 60 | 1,3E-02 | 7,7E-03 | 1,0E-02 | 1,7E-04 | 0,748 | 4521 | 52 |
| 7 | 4,5E-03 | 4,9E-03 | 8,0E-03 | 9,6E-05 | 0,401 | 4158 | 70 | 5,7E-03 | 4,9E-03 | 8,4E-03 | 1,0E-04 | 0,397 | 3895 | 62 | 6,7E-03 | 7,6E-03 | 1,1E-02 | 1,4E-04 | 0,749 | 5232 | 53 | 8,6E-03 | 9,1E-03 | 1,5E-02 | 1,7E-04 | 0,754 | 4358 | 46 |
| 10 | 3,9E-03 | 4,4E-03 | 6,3E-03 | 8,2E-05 | 0,382 | 4678 | 79 | 5,5E-03 | 4,6E-03 | 4,3E-03 | 7,7E-05 | 0,382 | 4945 | 81 | 6,2E-03 | 7,4E-03 | 1,0E-02 | 1,3E-04 | 0,748 | 5593 | 54 | 1,0E-02 | 7,5E-03 | 7,6E-03 | 1,4E-04 | 0,748 | 5535 | 55 |
| 13 | 4,5E-03 | 4,4E-03 | 4,4E-03 | 7,4E-05 | 0,382 | 5182 | 101 | 4,3E-03 | 4,3E-03 | 4,3E-03 | 7,0E-05 | 0,381 | 5487 | 89 | 8,2E-03 | 5,8E-03 | 6,0E-03 | 1,1E-04 | 0,749 | 6712 | 67 | 6,9E-03 | 8,0E-03 | 7,9E-03 | 1,2E-04 | 0,750 | 6138 | 58 |
| 16 | 3,9E-03 | 4,9E-03 | 4,2E-03 | 7,2E-05 | 0,389 | 5383 | 93 | 4,2E-03 | 4,3E-03 | 4,1E-03 | 6,7E-05 | 0,381 | 5668 | 92 | 6,1E-03 | 6,2E-03 | 6,5E-03 | 1,0E-04 | 0,748 | 7164 | 65 | 7,3E-03 | 6,6E-03 | 7,2E-03 | 1,1E-04 | 0,749 | 6602 | 61 |
| 20 | 3,8E-03 | 4,1E-03 | 4,1E-03 | 6,7E-05 | 0,382 | 5732 | 113 | 4,0E-03 | 4,0E-03 | 4,2E-03 | 6,6E-05 | 0,386 | 5849 | 101 | 5,2E-03 | 5,2E-03 | 6,2E-03 | 9,2E-05 | 0,747 | 8109 | 73 | 7,0E-03 | 6,5E-03 | 6,4E-03 | 1,1E-04 | 0,747 | 6973 | 62 |
| 27 | 4,1E-03 | 3,5E-03 | 3,5E-03 | 6,2E-05 | 0,382 | 6214 | 114 | 3,8E-03 | 3,8E-03 | 3,7E-03 | 6,1E-05 | 0,382 | 6280 | 103 | 5,0E-03 | 5,7E-03 | 5,0E-03 | 8,7E-05 | 0,749 | 8564 | 74 | 5,8E-03 | 5,7E-03 | 5,6E-03 | 9,2E-05 | 0,749 | 8100 | 66 |
| 55 | 3,5E-03 | 4,1E-03 | 3,4E-03 | 6,1E-05 | 0,382 | 6283 | 131 | 3,9E-03 | 3,4E-03 | 3,6E-03 | 5,9E-05 | 0,382 | 6494 | 106 | 4,4E-03 | 4,8E-03 | 4,2E-03 | 7,5E-05 | 0,750 | 10051 | 92 | 4,6E-03 | 4,5E-03 | 6,2E-03 | 8,2E-05 | 0,749 | 9098 | 71 |
| 85 | 3,6E-03 | 3,3E-03 | 3,0E-03 | 5,5E-05 | 0,372 | 6788 | 125 | 4,9E-03 | 3,3E-03 | 2,9E-03 | 5,9E-05 | 0,374 | 6294 | 125 | 4,2E-03 | 4,0E-03 | 4,7E-03 | 7,2E-05 | 0,730 | 10184 | 78 | 4,8E-03 | 4,4E-03 | 5,3E-03 | 7,8E-05 | 0,728 | 9311 | 77 |
| 119 | 5,2E-03 | 3,2E-03 | 3,5E-03 | 6,6E-05 | 0,382 | 5799 | 135 | 4,7E-03 | 5,2E-03 | 3,2E-03 | 7,0E-05 | 0,381 | 5420 | 105 | 5,6E-03 | 5,5E-03 | 4,0E-03 | 8,4E-05 | 0,749 | 8912 | 95 | 5,2E-03 | 7,8E-03 | 4,6E-03 | 9,4E-05 | 0,750 | 7945 | 74 |
| 157 | 2,9E-03 | 3,1E-03 | 4,8E-03 | 6,0E-05 | 0,381 | 6338 | 124 | 3,9E-03 | 3,7E-03 | 4,0E-03 | 6,2E-05 | 0,382 | 6124 | 107 | 5,6E-03 | 4,5E-03 | 5,1E-03 | 8,4E-05 | 0,750 | 8895 | 79 | 6,5E-03 | 4,6E-03 | 4,5E-03 | 8,4E-05 | 0,749 | 8951 | 75 |
| 184 | | | | | | | | 3,1E-03 | 3,4E-03 | 3,9E-03 | 5,6E-05 | 0,383 | 6822 | 106 | | | | | | | | 5,9E-03 | 4,9E-03 | 4,7E-03 | 8,3E-05 | 0,751 | 9009 | 72 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|------|-----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 5,2E-03 | 5,6E-03 | 5,6E-03 | 9,1E-05 | 0,424 | 4650 | 97 | 7,1E-03 | 5,4E-03 | 5,3E-03 | 9,6E-05 | 0,422 | 4415 | 85 | 7,9E-03 | 8,2E-03 | 8,5E-03 | 1,4E-04 | 0,827 | 6048 | 71 | 1,3E-02 | 7,4E-03 | 1,0E-02 | 1,6E-04 | 0,826 | 5131 | 62 |
| 7 | 4,7E-03 | 5,0E-03 | 7,2E-03 | 9,4E-05 | 0,422 | 4512 | 84 | 5,2E-03 | 5,1E-03 | 7,5E-03 | 9,6E-05 | 0,423 | 4412 | 76 | 6,4E-03 | 7,3E-03 | 1,1E-02 | 1,4E-04 | 0,827 | 5972 | 64 | 8,0E-03 | 8,6E-03 | 1,4E-02 | 1,6E-04 | 0,826 | 5028 | 55 |
| 10 | 4,5E-03 | 5,1E-03 | 6,2E-03 | 8,8E-05 | 0,422 | 4802 | 94 | 5,4E-03 | 5,2E-03 | 5,0E-03 | 8,3E-05 | 0,423 | 5065 | 96 | 6,0E-03 | 7,2E-03 | 1,0E-02 | 1,3E-04 | 0,827 | 6328 | 65 | 1,0E-02 | 7,2E-03 | 7,3E-03 | 1,3E-04 | 0,827 | 6273 | 66 |
| 13 | 4,9E-03 | 5,2E-03 | 5,0E-03 | 8,4E-05 | 0,423 | 5034 | 114 | 4,8E-03 | 4,9E-03 | 4,7E-03 | 7,7E-05 | 0,422 | 5457 | 103 | 8,1E-03 | 6,5E-03 | 6,4E-03 | 1,2E-04 | 0,828 | 7081 | 79 | 6,7E-03 | 7,7E-03 | 7,8E-03 | 1,2E-04 | 0,828 | 6948 | 69 |
| 16 | 4,6E-03 | 5,0E-03 | 4,9E-03 | 8,1E-05 | 0,423 | 5249 | 107 | 4,6E-03 | 4,9E-03 | 4,5E-03 | 7,6E-05 | 0,421 | 5574 | 106 | 6,3E-03 | 6,4E-03 | 6,4E-03 | 1,1E-04 | 0,827 | 7788 | 78 | 7,1E-03 | 6,5E-03 | 7,0E-03 | 1,1E-04 | 0,826 | 7447 | 72 |
| 20 | 4,6E-03 | 4,8E-03 | 4,7E-03 | 7,8E-05 | 0,420 | 5357 | 122 | 4,5E-03 | 4,5E-03 | 4,7E-03 | 7,4E-05 | 0,422 | 5719 | 113 | 5,6E-03 | 5,8E-03 | 6,0E-03 | 9,6E-05 | 0,826 | 8567 | 86 | 6,8E-03 | 6,2E-03 | 6,2E-03 | 1,0E-04 | 0,827 | 7991 | 73 |
| 27 | 5,0E-03 | 4,0E-03 | 4,2E-03 | 7,3E-05 | 0,422 | 5742 | 122 | 4,4E-03 | 4,5E-03 | 4,3E-03 | 7,1E-05 | 0,422 | 5959 | 115 | 5,8E-03 | 5,7E-03 | 5,2E-03 | 9,3E-05 | 0,826 | 8892 | 87 | 5,7E-03 | 5,6E-03 | 5,7E-03 | 9,1E-05 | 0,826 | 9036 | 79 |
| 55 | 4,2E-03 | 5,0E-03 | 4,1E-03 | 7,4E-05 | 0,421 | 5703 | 135 | 4,6E-03 | 4,0E-03 | 4,0E-03 | 6,8E-05 | 0,422 | 6170 | 116 | 5,3E-03 | 5,8E-03 | 5,1E-03 | 9,0E-05 | 0,827 | 9184 | 101 | 5,5E-03 | 5,3E-03 | 6,4E-03 | 9,3E-05 | 0,827 | 8904 | 83 |
| 85 | 4,1E-03 | 3,7E-03 | 3,3E-03 | 6,2E-05 | 0,386 | 6260 | 128 | 5,3E-03 | 3,5E-03 | 3,2E-03 | 6,4E-05 | 0,383 | 5949 | 128 | 4,6E-03 | 4,4E-03 | 5,1E-03 | 7,8E-05 | 0,765 | 9766 | 84 | 5,2E-03 | 4,7E-03 | 5,6E-03 | 8,3E-05 | 0,764 | 9205 | 83 |
| 119 | 5,9E-03 | 3,7E-03 | 4,4E-03 | 7,8E-05 | 0,421 | 5429 | 138 | 5,4E-03 | 5,8E-03 | 3,9E-03 | 8,1E-05 | 0,422 | 5216 | 114 | 6,6E-03 | 5,7E-03 | 4,9E-03 | 9,6E-05 | 0,825 | 8613 | 105 | 6,3E-03 | 8,1E-03 | 4,7E-03 | 1,0E-04 | 0,826 | 8062 | 85 |
| 157 | 3,7E-03 | 3,7E-03 | 5,5E-03 | 7,2E-05 | 0,420 | 5848 | 129 | 4,2E-03 | 4,3E-03 | 4,5E-03 | 7,0E-05 | 0,421 | 6015 | 116 | 6,0E-03 | 4,6E-03 | 6,1E-03 | 9,3E-05 | 0,825 | 8906 | 89 | 6,8E-03 | 5,2E-03 | 5,3E-03 | 9,3E-05 | 0,826 | 8865 | 86 |
| 184 | | | | | | | | 3,5E-03 | 4,0E-03 | 4,5E-03 | 6,4E-05 | 0,423 | 6582 | 115 | | | | | | | | 6,4E-03 | 5,1E-03 | 5,8E-03 | 9,3E-05 | 0,826 | 8901 | 83 |



Annexe 32 – Résultats d'essais à 35°C et 43% d'HR – Essais à 35 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 2,4E-02 | 3,1E-02 | 3,9E-02 | 5,2E-04 | 0,426 | 819 | 26 | 3,3E-02 | 2,4E-02 | 5,3E-02 | 6,0E-04 | 0,425 | 713 | 24 | 3,6E-02 | 4,4E-02 | 5,3E-02 | 7,4E-04 | 0,833 | 1125 | 23 | 4,6E-02 | 4,0E-02 | 7,5E-02 | 8,7E-04 | 0,833 | 957 | 22 |
| 7 | 1,8E-02 | 2,1E-02 | 2,6E-02 | 3,6E-04 | 0,425 | 1184 | 28 | 2,7E-02 | 2,9E-02 | 2,4E-02 | 4,3E-04 | 0,426 | 987 | 24 | 2,9E-02 | 3,4E-02 | 4,0E-02 | 5,7E-04 | 0,832 | 1453 | 25 | 4,3E-02 | 4,5E-02 | 4,1E-02 | 7,0E-04 | 0,833 | 1193 | 22 |
| 10 | 2,0E-02 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 3,0E-04 | 0,426 | 1434 | 29 | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 1,9E-02 | 3,8E-04 | 0,426 | 1124 | 25 | 3,3E-02 | 2,7E-02 | 2,9E-02 | 4,9E-04 | 0,833 | 1687 | 25 | 4,4E-02 | 4,0E-02 | 3,3E-02 | 6,2E-04 | 0,832 | 1333 | 22 |
| 13 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 3,0E-04 | 0,425 | 1441 | 29 | 2,2E-02 | 2,5E-02 | 2,0E-02 | 3,6E-04 | 0,426 | 1176 | 25 | 3,1E-02 | 2,9E-02 | 2,7E-02 | 4,8E-04 | 0,832 | 1719 | 25 | 3,6E-02 | 4,0E-02 | 3,5E-02 | 6,0E-04 | 0,833 | 1396 | 22 |
| 16 | 1,7E-02 | 2,4E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,426 | 1292 | 25 | 1,5E-02 | 2,2E-02 | 2,8E-02 | 3,5E-04 | 0,426 | 1222 | 26 | 2,6E-02 | 3,4E-02 | 3,0E-02 | 5,0E-04 | 0,833 | 1661 | 23 | 2,8E-02 | 3,5E-02 | 4,4E-02 | 5,7E-04 | 0,834 | 1455 | 23 |
| 20 | 1,4E-02 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 2,6E-04 | 0,426 | 1641 | 31 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 2,8E-02 | 3,3E-04 | 0,427 | 1301 | 27 | 2,4E-02 | 2,6E-02 | 2,8E-02 | 4,3E-04 | 0,832 | 1920 | 26 | 3,4E-02 | 2,6E-02 | 4,2E-02 | 5,5E-04 | 0,833 | 1521 | 23 |
| 27 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,426 | 1969 | 33 | 1,6E-02 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 3,0E-04 | 0,426 | 1413 | 28 | 2,6E-02 | 1,9E-02 | 2,3E-02 | 3,8E-04 | 0,832 | 2212 | 27 | 2,9E-02 | 3,2E-02 | 5,0E-02 | 5,0E-04 | 0,832 | 1662 | 24 |
| 55 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 9,2E-03 | 1,9E-04 | 0,425 | 2296 | 36 | 1,4E-02 | 1,7E-02 | 9,9E-03 | 2,2E-04 | 0,426 | 1951 | 35 | 1,9E-02 | 2,3E-02 | 1,8E-02 | 3,4E-04 | 0,832 | 2473 | 29 | 2,4E-02 | 2,9E-02 | 1,9E-02 | 3,8E-04 | 0,833 | 2172 | 28 |
| 85 | 9,6E-03 | 7,6E-03 | 1,3E-02 | 1,7E-04 | 0,425 | 2569 | 40 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,4E-04 | 0,425 | 1782 | 32 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 2,1E-02 | 2,9E-04 | 0,831 | 2820 | 31 | 2,2E-02 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 3,9E-04 | 0,831 | 2124 | 27 |
| 119 | 8,5E-03 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,6E-04 | 0,425 | 2625 | 40 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 2,2E-04 | 0,425 | 1943 | 33 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 2,8E-04 | 0,832 | 2977 | 32 | 2,0E-02 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 3,7E-04 | 0,832 | 2271 | 28 |
| 157 | 9,6E-03 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,425 | 2386 | 37 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,426 | 1963 | 33 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 2,1E-02 | 3,1E-04 | 0,832 | 2677 | 30 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 3,7E-04 | 0,832 | 2230 | 27 |
| 184 | 1,4E-02 | 9,6E-03 | 7,6E-03 | 1,8E-04 | 0,425 | 2413 | 36 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 2,3E-04 | 0,426 | 1816 | 31 | 2,4E-02 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 3,1E-04 | 0,832 | 2687 | 29 | 2,6E-02 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 4,0E-04 | 0,832 | 2074 | 26 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | | Moule 1 | | | | | | | Moule 2 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,4E-02 | 1,7E-02 | 2,3E-02 | 3,0E-04 | 0,419 | 1390 | 33 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 3,3E-02 | 3,7E-04 | 0,418 | 1134 | 31 | 2,3E-02 | 2,6E-02 | 3,3E-02 | 4,6E-04 | 0,819 | 1797 | 29 | 3,0E-02 | 2,8E-02 | 4,7E-02 | 5,6E-04 | 0,820 | 1460 | 28 |
| 7 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,6E-02 | 2,1E-04 | 0,419 | 2025 | 38 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 2,7E-04 | 0,417 | 1563 | 33 | 1,8E-02 | 2,1E-02 | 2,5E-02 | 3,5E-04 | 0,818 | 2319 | 32 | 2,8E-02 | 2,9E-02 | 2,8E-02 | 4,6E-04 | 0,818 | 1796 | 29 |
| 10 | 1,2E-02 | 8,7E-03 | 9,5E-03 | 1,7E-04 | 0,417 | 2513 | 41 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 2,3E-04 | 0,417 | 1819 | 34 | 2,1E-02 | 1,6E-02 | 1,8E-02 | 3,1E-04 | 0,818 | 2669 | 33 | 3,0E-02 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 4,1E-04 | 0,820 | 1997 | 29 |
| 13 | 1,1E-02 | 9,7E-03 | 8,8E-03 | 1,6E-04 | 0,418 | 2542 | 40 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,419 | 1930 | 34 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 3,0E-04 | 0,821 | 2733 | 32 | 2,4E-02 | 2,6E-02 | 2,3E-02 | 3,9E-04 | 0,816 | 2097 | 29 |
| 16 | 8,2E-03 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,415 | 2177 | 32 | 8,8E-03 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 2,1E-04 | 0,417 | 2028 | 35 | 1,5E-02 | 2,2E-02 | 2,0E-02 | 3,2E-04 | 0,817 | 2579 | 29 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 2,9E-02 | 3,8E-04 | 0,821 | 2177 | 29 |
| 20 | 7,4E-03 | 8,2E-03 | 9,3E-03 | 1,4E-04 | 0,416 | 3001 | 44 | 9,7E-03 | 8,8E-03 | 1,7E-02 | 1,9E-04 | 0,418 | 2205 | 37 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 2,6E-04 | 0,819 | 3103 | 34 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 2,8E-02 | 3,5E-04 | 0,818 | 2328 | 30 |
| 27 | 8,6E-03 | 5,5E-03 | 6,7E-03 | 1,2E-04 | 0,418 | 3610 | 46 | 8,9E-03 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-04 | 0,419 | 2431 | 37 | 1,7E-02 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,818 | 3619 | 34 | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 3,2E-04 | 0,819 | 2592 | 30 |
| 55 | 5,4E-03 | 7,1E-03 | 4,5E-03 | 9,4E-05 | 0,419 | 4465 | 53 | 6,7E-03 | 9,7E-03 | 5,2E-03 | 1,2E-04 | 0,418 | 3613 | 50 | 1,0E-02 | 1,3E-02 | 9,1E-03 | 1,8E-04 | 0,814 | 4576 | 39 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 1,2E-02 | 2,3E-04 | 0,819 | 3542 | 36 |
| 85 | 4,9E-03 | 4,2E-03 | 6,5E-03 | 8,7E-05 | 0,419 | 4826 | 63 | 6,5E-03 | 8,1E-03 | 8,3E-03 | 1,2E-04 | 0,419 | 3393 | 44 | 1,0E-02 | 8,3E-03 | 1,3E-02 | 1,7E-04 | 0,815 | 4764 | 41 | 1,2E-02 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 2,3E-04 | 0,818 | 3532 | 34 |
| 119 | 4,3E-03 | 5,1E-03 | 4,9E-03 | 7,9E-05 | 0,419 | 5270 | 63 | 5,5E-03 | 8,8E-03 | 6,9E-03 | 1,1E-04 | 0,418 | 3694 | 48 | 9,3E-03 | 9,8E-03 | 9,3E-03 | 1,6E-04 | 0,818 | 5179 | 42 | 1,1E-02 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,818 | 3762 | 35 |
| 157 | 5,0E-03 | 5,3E-03 | 7,0E-03 | 9,6E-05 | 0,419 | 4355 | 52 | 7,1E-03 | 7,1E-03 | 6,9E-03 | 1,1E-04 | 0,418 | 3671 | 46 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,819 | 4384 | 37 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 2,3E-04 | 0,820 | 3609 | 34 |
| 184 | 8,2E-03 | 4,8E-03 | 4,0E-03 | 9,4E-05 | 0,416 | 4406 | 52 | 8,3E-03 | 7,6E-03 | 7,8E-03 | 1,3E-04 | 0,415 | 3250 | 42 | 1,5E-02 | 1,0E-02 | 8,2E-03 | 1,9E-04 | 0,814 | 4306 | 36 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 1,6E-02 | 2,5E-04 | 0,814 | 3258 | 32 |



| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 9,1E-03 | 1,0E-02 | 1,5E-02 | 1,9E-04 | 0,338 | 1787 | 39 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 2,1E-02 | 2,3E-04 | 0,338 | 1441 | 36 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 2,2E-02 | 3,0E-04 | 0,664 | 2236 | 34 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 3,0E-02 | 3,6E-04 | 0,661 | 1812 | 31 |
| 7 | 6,2E-03 | 7,0E-03 | 9,8E-03 | 1,3E-04 | 0,338 | 2647 | 48 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,339 | 1975 | 40 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 2,3E-04 | 0,661 | 2888 | 38 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 3,0E-04 | 0,664 | 2213 | 33 |
| 10 | 7,5E-03 | 5,4E-03 | 6,0E-03 | 1,1E-04 | 0,338 | 3206 | 53 | 1,2E-02 | 9,1E-03 | 6,9E-03 | 1,5E-04 | 0,338 | 2283 | 42 | 1,4E-02 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,662 | 3291 | 39 | 2,1E-02 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 2,7E-04 | 0,662 | 2458 | 34 |
| 13 | 6,8E-03 | 6,0E-03 | 5,4E-03 | 1,0E-04 | 0,338 | 3325 | 52 | 8,5E-03 | 9,8E-03 | 7,3E-03 | 1,4E-04 | 0,338 | 2462 | 42 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 1,9E-04 | 0,662 | 3410 | 39 | 1,6E-02 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,671 | 2576 | 33 |
| 16 | 5,0E-03 | 1,0E-02 | 7,6E-03 | 1,3E-04 | 0,351 | 2784 | 38 | 5,8E-03 | 7,9E-03 | 1,1E-02 | 1,3E-04 | 0,338 | 2546 | 43 | 9,6E-03 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,669 | 3128 | 33 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 2,0E-02 | 2,5E-04 | 0,662 | 2637 | 33 |
| 20 | 4,8E-03 | 5,2E-03 | 5,9E-03 | 8,8E-05 | 0,344 | 3908 | 58 | 6,1E-03 | 5,7E-03 | 1,1E-02 | 1,2E-04 | 0,338 | 2777 | 47 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,661 | 3820 | 41 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-02 | 2,3E-04 | 0,664 | 2842 | 35 |
| 27 | 5,9E-03 | 3,3E-03 | 4,2E-03 | 7,5E-05 | 0,338 | 4534 | 59 | 5,5E-03 | 7,1E-03 | 7,6E-03 | 1,1E-04 | 0,339 | 3122 | 45 | 1,2E-02 | 7,1E-03 | 8,2E-03 | 1,5E-04 | 0,662 | 4411 | 41 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 2,1E-04 | 0,662 | 3154 | 35 |
| 55 | 3,3E-03 | 4,4E-03 | 3,3E-03 | 6,1E-05 | 0,338 | 5557 | 71 | 3,9E-03 | 6,3E-03 | 3,8E-03 | 7,6E-05 | 0,339 | 4481 | 66 | 6,7E-03 | 8,5E-03 | 6,0E-03 | 1,2E-04 | 0,657 | 5589 | 49 | 8,3E-03 | 1,2E-02 | 7,6E-03 | 1,5E-04 | 0,661 | 4325 | 42 |
| 85 | 3,1E-03 | 3,2E-03 | 4,0E-03 | 5,7E-05 | 0,337 | 5874 | 85 | 3,9E-03 | 5,0E-03 | 5,1E-03 | 7,5E-05 | 0,337 | 4502 | 56 | 6,6E-03 | 5,5E-03 | 8,5E-03 | 1,1E-04 | 0,673 | 5874 | 50 | 7,8E-03 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 1,5E-04 | 0,658 | 4330 | 40 |
| 119 | 3,1E-03 | 3,2E-03 | 3,2E-03 | 5,3E-05 | 0,338 | 6393 | 86 | 3,3E-03 | 5,6E-03 | 4,1E-03 | 7,0E-05 | 0,338 | 4829 | 62 | 6,1E-03 | 6,6E-03 | 6,1E-03 | 1,0E-04 | 0,667 | 6371 | 52 | 7,3E-03 | 1,1E-02 | 8,4E-03 | 1,4E-04 | 0,663 | 4618 | 42 |
| 157 | 3,0E-03 | 3,5E-03 | 5,3E-03 | 6,5E-05 | 0,338 | 5181 | 66 | 4,4E-03 | 4,3E-03 | 4,4E-03 | 7,1E-05 | 0,338 | 4793 | 59 | 6,4E-03 | 7,2E-03 | 9,3E-03 | 1,3E-04 | 0,662 | 5194 | 44 | 9,8E-03 | 8,4E-03 | 9,8E-03 | 1,5E-04 | 0,662 | 4392 | 40 |
| 184 | 5,4E-03 | 3,2E-03 | 3,2E-03 | 6,6E-05 | 0,343 | 5199 | 69 | 5,5E-03 | 4,9E-03 | 5,1E-03 | 8,3E-05 | 0,355 | 4294 | 52 | 1,1E-02 | 7,0E-03 | 5,6E-03 | 1,3E-04 | 0,695 | 5357 | 43 | 1,2E-02 | 9,4E-03 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,697 | 4088 | 36 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 8,2E-03 | 8,9E-03 | 1,3E-02 | 1,7E-04 | 0,382 | 2298 | 47 | 1,1E-02 | 8,9E-03 | 1,8E-02 | 2,0E-04 | 0,382 | 1886 | 43 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 2,7E-04 | 0,749 | 2823 | 39 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 2,7E-02 | 3,3E-04 | 0,748 | 2288 | 36 |
| 7 | 5,8E-03 | 6,3E-03 | 8,7E-03 | 1,2E-04 | 0,381 | 3308 | 61 | 9,1E-03 | 9,1E-03 | 9,5E-03 | 1,5E-04 | 0,382 | 2559 | 49 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 2,1E-04 | 0,751 | 3649 | 46 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 1,8E-02 | 2,7E-04 | 0,751 | 2798 | 39 |
| 10 | 6,6E-03 | 4,9E-03 | 5,4E-03 | 9,4E-05 | 0,382 | 4053 | 67 | 1,1E-02 | 7,8E-03 | 6,1E-03 | 1,3E-04 | 0,382 | 2911 | 52 | 1,2E-02 | 9,6E-03 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,750 | 4113 | 48 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 2,5E-04 | 0,750 | 3009 | 40 |
| 13 | 6,1E-03 | 5,6E-03 | 5,1E-03 | 9,3E-05 | 0,381 | 4099 | 66 | 7,7E-03 | 8,7E-03 | 6,5E-03 | 1,2E-04 | 0,381 | 3093 | 52 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 9,9E-03 | 1,8E-04 | 0,748 | 4139 | 47 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,752 | 3171 | 39 |
| 16 | 4,6E-03 | 9,6E-03 | 6,9E-03 | 1,2E-04 | 0,384 | 3284 | 46 | 5,4E-03 | 6,9E-03 | 9,7E-03 | 1,2E-04 | 0,382 | 3234 | 52 | 8,8E-03 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,751 | 3769 | 39 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 2,3E-04 | 0,747 | 3194 | 39 |
| 20 | 4,4E-03 | 4,6E-03 | 5,2E-03 | 7,9E-05 | 0,382 | 4858 | 74 | 5,4E-03 | 5,1E-03 | 9,6E-03 | 1,1E-04 | 0,382 | 3515 | 58 | 9,4E-03 | 9,4E-03 | 9,9E-03 | 1,6E-04 | 0,750 | 4700 | 49 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-02 | 2,1E-04 | 0,750 | 3494 | 41 |
| 27 | 5,4E-03 | 3,8E-03 | 4,2E-03 | 7,5E-05 | 0,382 | 5113 | 73 | 5,2E-03 | 6,4E-03 | 6,8E-03 | 9,9E-05 | 0,381 | 3832 | 55 | 1,1E-02 | 6,7E-03 | 7,5E-03 | 1,4E-04 | 0,749 | 5338 | 50 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,750 | 3890 | 41 |
| 55 | 3,6E-03 | 4,1E-03 | 4,2E-03 | 6,6E-05 | 0,382 | 5762 | 88 | 4,1E-03 | 5,8E-03 | 5,1E-03 | 8,1E-05 | 0,381 | 4722 | 83 | 4,2E-03 | 5,4E-03 | 3,6E-03 | 7,3E-05 | 0,412 | 5658 | 52 | 7,5E-03 | 1,2E-02 | 7,3E-03 | 1,4E-04 | 0,751 | 5263 | 51 |
| 85 | 3,7E-03 | 4,1E-03 | 3,7E-03 | 6,4E-05 | 0,371 | 5838 | 103 | 4,0E-03 | 4,5E-03 | 4,6E-03 | 7,0E-05 | 0,371 | 5295 | 70 | 6,2E-03 | 5,1E-03 | 7,9E-03 | 1,1E-04 | 0,733 | 6908 | 60 | 7,1E-03 | 9,5E-03 | 9,5E-03 | 1,4E-04 | 0,730 | 5199 | 47 |
| 119 | 3,9E-03 | 3,6E-03 | 3,8E-03 | 6,3E-05 | 0,383 | 6072 | 105 | 3,9E-03 | 5,2E-03 | 4,1E-03 | 7,1E-05 | 0,382 | 5378 | 78 | 5,9E-03 | 6,3E-03 | 5,8E-03 | 1,0E-04 | 0,752 | 7527 | 64 | 6,8E-03 | 1,1E-02 | 7,8E-03 | 1,4E-04 | 0,750 | 5544 | 51 |
| 157 | 3,6E-03 | 3,7E-03 | 5,5E-03 | 7,2E-05 | 0,382 | 5334 | 81 | 4,2E-03 | 4,2E-03 | 4,2E-03 | 6,7E-05 | 0,382 | 5656 | 73 | 6,3E-03 | 6,7E-03 | 9,3E-03 | 1,2E-04 | 0,750 | 6048 | 53 | 9,2E-03 | 7,7E-03 | 9,3E-03 | 1,4E-04 | 0,749 | 5305 | 47 |
| 184 | 4,9E-03 | 3,6E-03 | 3,8E-03 | 6,9E-05 | 0,383 | 5570 | 86 | 5,1E-03 | 4,4E-03 | 4,6E-03 | 7,6E-05 | 0,384 | 5067 | 63 | 1,0E-02 | 6,7E-03 | 5,3E-03 | 1,2E-04 | 0,752 | 6020 | 51 | 1,1E-02 | 8,8E-03 | 9,8E-03 | 1,6E-04 | 0,752 | 4720 | 43 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|-----------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | Moule 1 | | | | | | Moule 2 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 8,0E-03 | 8,4E-03 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,420 | 2657 | 56 | 9,9E-03 | 8,5E-03 | 1,6E-02 | 1,9E-04 | 0,422 | 2270 | 52 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,825 | 3228 | 46 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 2,5E-02 | 3,2E-04 | 0,827 | 2599 | 42 |
| 7 | 5,8E-03 | 5,8E-03 | 8,1E-03 | 1,1E-04 | 0,422 | 3874 | 74 | 8,4E-03 | 8,3E-03 | 9,0E-03 | 1,4E-04 | 0,423 | 3063 | 59 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 2,0E-04 | 0,827 | 4103 | 55 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 1,8E-02 | 2,7E-04 | 0,826 | 3116 | 46 |
| 10 | 6,3E-03 | 5,3E-03 | 5,3E-03 | 9,4E-05 | 0,421 | 4495 | 81 | 1,0E-02 | 7,2E-03 | 5,9E-03 | 1,2E-04 | 0,422 | 3393 | 63 | 1,2E-02 | 9,0E-03 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,826 | 4745 | 57 | 1,9E-02 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-04 | 0,825 | 3371 | 46 |
| 13 | 5,7E-03 | 5,3E-03 | 5,1E-03 | 8,9E-05 | 0,421 | 4730 | 80 | 7,4E-03 | 8,2E-03 | 5,9E-03 | 1,2E-04 | 0,422 | 3653 | 63 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 9,6E-03 | 1,8E-04 | 0,827 | 4653 | 55 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,828 | 3485 | 46 |
| 16 | 5,0E-03 | 9,6E-03 | 6,7E-03 | 1,2E-04 | 0,422 | 3584 | 55 | 5,2E-03 | 6,5E-03 | 9,1E-03 | 1,1E-04 | 0,421 | 3783 | 63 | 8,5E-03 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,0E-04 | 0,823 | 4140 | 46 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 2,3E-04 | 0,826 | 3557 | 46 |
| 20 | 4,7E-03 | 5,1E-03 | 5,3E-03 | 8,4E-05 | 0,421 | 5034 | 88 | 5,4E-03 | 5,2E-03 | 9,1E-03 | 1,1E-04 | 0,421 | 3971 | 69 | 9,4E-03 | 9,0E-03 | 9,7E-03 | 1,6E-04 | 0,828 | 5296 | 58 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 1,7E-02 | 2,1E-04 | 0,826 | 3900 | 48 |
| 27 | 5,5E-03 | 4,5E-03 | 4,5E-03 | 8,1E-05 | 0,422 | 5239 | 87 | 5,1E-03 | 6,0E-03 | 6,5E-03 | 9,4E-05 | 0,422 | 4487 | 67 | 1,2E-02 | 6,9E-03 | 7,5E-03 | 1,4E-04 | 0,824 | 5729 | 58 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,827 | 4287 | 48 |
| 55 | 4,0E-03 | 4,2E-03 | 5,0E-03 | 7,4E-05 | 0,422 | 5746 | 101 | 4,6E-03 | 5,6E-03 | 5,9E-03 | 8,6E-05 | 0,422 | 4895 | 97 | 5,5E-03 | 7,3E-03 | 5,6E-03 | 1,0E-04 | 0,670 | 6547 | 68 | 7,2E-03 | 1,2E-02 | 7,2E-03 | 1,4E-04 | 0,824 | 5772 | 60 |
| 85 | 4,0E-03 | 4,5E-03 | 3,8E-03 | 6,8E-05 | 0,384 | 5636 | 112 | 4,1E-03 | 4,2E-03 | 4,4E-03 | 6,8E-05 | 0,381 | 5636 | 82 | 6,1E-03 | 5,1E-03 | 7,8E-03 | 1,0E-04 | 0,758 | 7224 | 67 | 6,9E-03 | 9,1E-03 | 9,1E-03 | 1,4E-04 | 0,762 | 5626 | 53 |
| 119 | 4,8E-03 | 4,0E-03 | 4,6E-03 | 7,5E-05 | 0,421 | 5645 | 115 | 4,6E-03 | 5,1E-03 | 4,5E-03 | 7,7E-05 | 0,423 | 5507 | 91 | 5,9E-03 | 6,3E-03 | 5,6E-03 | 9,9E-05 | 0,827 | 8386 | 76 | 6,6E-03 | 1,0E-02 | 7,5E-03 | 1,3E-04 | 0,826 | 6264 | 60 |
| 157 | 4,4E-03 | 4,2E-03 | 6,0E-03 | 8,2E-05 | 0,421 | 5160 | 93 | 4,6E-03 | 4,6E-03 | 4,2E-03 | 7,2E-05 | 0,421 | 5843 | 86 | 6,3E-03 | 6,5E-03 | 9,4E-03 | 1,2E-04 | 0,826 | 6717 | 63 | 9,4E-03 | 7,6E-03 | 9,7E-03 | 1,4E-04 | 0,827 | 5753 | 55 |
| 184 | 5,2E-03 | 4,3E-03 | 4,7E-03 | 7,9E-05 | 0,420 | 5328 | 98 | 4,9E-03 | 5,0E-03 | 4,6E-03 | 7,8E-05 | 0,422 | 5435 | 75 | 1,1E-02 | 6,7E-03 | 5,6E-03 | 1,3E-04 | 0,825 | 6490 | 60 | 1,1E-02 | 8,6E-03 | 9,9E-03 | 1,6E-04</ | | | |

Annexe 33 – Résultats d'essais à 20°C et 43% d'HR – Essais à 15 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|--------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 3,8E-02 | 1,2E-02 | 2,5E-02 | 4,1E-04 | 0,426 | 1042 | 28 | 1,7E-02 | 2,2E-02 | 2,7E-02 | 3,6E-04 | 0,426 | 1175 | 30 | 5,0E-02 | 2,3E-02 | 3,8E-02 | 6,0E-04 | 0,833 | 1397 | 26 | 2,7E-02 | 3,3E-02 | 3,7E-02 | 5,3E-04 | 0,833 | 1576 | 27 |
| 7 | 9,9E-03 | 1,8E-02 | 3,3E-02 | 3,3E-04 | 0,426 | 1303 | 29 | 2,5E-02 | 1,2E-02 | 2,5E-02 | 3,4E-04 | 0,426 | 1271 | 25 | 1,7E-02 | 2,7E-02 | 4,3E-02 | 4,7E-04 | 0,833 | 1779 | 26 | 3,3E-02 | 2,3E-02 | 3,1E-02 | 4,8E-04 | 0,833 | 1749 | 24 |
| 10 | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,426 | 1481 | 27 | 2,3E-02 | 1,6E-02 | 2,2E-02 | 3,3E-04 | 0,426 | 1296 | 25 | 3,0E-02 | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 4,4E-04 | 0,833 | 1881 | 24 | 3,2E-02 | 2,5E-02 | 2,8E-02 | 4,6E-04 | 0,833 | 1798 | 23 |
| 13 | 1,7E-02 | 3,6E-02 | 1,0E-02 | 3,4E-04 | 0,427 | 1244 | 24 | 1,4E-02 | 1,6E-02 | 7,8E-03 | 2,1E-04 | 0,426 | 2051 | 32 | 2,6E-02 | 4,8E-02 | 2,0E-02 | 5,0E-04 | 0,833 | 1652 | 22 | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 1,4E-02 | 3,2E-04 | 0,833 | 2610 | 28 |
| 16 | 2,5E-02 | 2,4E-02 | 1,1E-02 | 3,2E-04 | 0,427 | 1321 | 23 | 1,2E-02 | 7,9E-03 | 1,2E-02 | 1,7E-04 | 0,426 | 2456 | 35 | 1,9E-02 | 2,4E-02 | 3,9E-02 | 4,4E-04 | 0,834 | 1898 | 22 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 1,9E-02 | 2,8E-04 | 0,833 | 2931 | 29 |
| 20 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 2,2E-04 | 0,427 | 1950 | 30 | 1,7E-02 | 7,2E-03 | 1,4E-02 | 2,1E-04 | 0,426 | 2052 | 31 | 2,1E-02 | 2,6E-02 | 2,2E-02 | 3,7E-04 | 0,833 | 2278 | 24 | 2,5E-02 | 1,4E-02 | 2,1E-02 | 3,3E-04 | 0,834 | 2552 | 27 |
| 27 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 1,0E-02 | 2,1E-04 | 0,426 | 2065 | 30 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,426 | 2205 | 32 | 2,1E-02 | 2,4E-02 | 1,8E-02 | 3,4E-04 | 0,833 | 2477 | 25 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 3,0E-04 | 0,833 | 2807 | 28 |
| 55 | 2,2E-02 | 9,5E-03 | 6,8E-03 | 2,1E-04 | 0,426 | 2047 | 29 | 1,6E-02 | 8,1E-03 | 7,1E-03 | 1,7E-04 | 0,426 | 2535 | 35 | 2,8E-02 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 3,1E-04 | 0,832 | 2652 | 25 | 2,3E-02 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 2,7E-04 | 0,832 | 3027 | 29 |
| 85 | 7,8E-03 | 1,1E-02 | 1,8E-02 | 2,0E-04 | 0,426 | 2137 | 30 | 9,5E-03 | 8,7E-03 | 9,9E-03 | 1,5E-04 | 0,425 | 2773 | 36 | 1,2E-02 | 2,4E-02 | 3,2E-02 | 3,6E-04 | 0,831 | 2295 | 23 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 2,6E-04 | 0,832 | 3247 | 30 |
| 119 | 5,0E-03 | 2,0E-02 | 5,7E-02 | 4,4E-04 | 0,426 | 958 | 18 | 7,7E-03 | 1,3E-02 | 9,1E-03 | 1,7E-04 | 0,426 | 2572 | 37 | 1,1E-02 | 3,4E-02 | 5,7E-02 | 5,5E-04 | 0,832 | 1518 | 18 | 1,4E-02 | 2,0E-02 | 1,6E-02 | 2,8E-04 | 0,833 | 2999 | 30 |
| 157 | 2,8E-02 | 7,6E-03 | 1,1E-02 | 2,6E-04 | 0,425 | 1657 | 24 | 7,9E-03 | 1,1E-02 | 9,3E-03 | 1,6E-04 | 0,425 | 2665 | 36 | 4,1E-02 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 4,0E-04 | 0,832 | 2102 | 21 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 2,8E-04 | 0,832 | 3015 | 29 |
| 184 | 5,3E-02 | 7,4E-03 | 9,4E-03 | 3,8E-04 | 0,426 | 1120 | 17 | 3,3E-02 | 9,3E-03 | 8,3E-03 | 2,9E-04 | 0,425 | 1465 | 23 | 9,0E-02 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 6,6E-04 | 0,833 | 1266 | 15 | 4,0E-02 | 1,8E-02 | 1,4E-02 | 4,2E-04 | 0,832 | 2003 | 22 |
| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 2,2E-02 | 6,2E-03 | 1,4E-02 | 2,3E-04 | 0,420 | 1837 | 38 | 9,0E-03 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 1,8E-04 | 0,421 | 2296 | 41 | 3,0E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-02 | 3,5E-04 | 0,823 | 2319 | 32 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 3,0E-04 | 0,823 | 2774 | 34 |
| 7 | 5,0E-03 | 9,9E-03 | 2,0E-02 | 1,9E-04 | 0,420 | 2227 | 38 | 1,5E-02 | 6,1E-03 | 1,6E-02 | 2,1E-04 | 0,420 | 2038 | 30 | 9,9E-03 | 1,6E-02 | 2,7E-02 | 2,8E-04 | 0,822 | 2910 | 33 | 2,1E-02 | 1,3E-02 | 2,0E-02 | 2,9E-04 | 0,822 | 2791 | 29 |
| 10 | 1,2E-02 | 9,2E-03 | 9,7E-03 | 1,6E-04 | 0,419 | 2570 | 35 | 1,5E-02 | 8,7E-03 | 1,4E-02 | 2,0E-04 | 0,420 | 2073 | 29 | 2,0E-02 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 2,7E-04 | 0,822 | 3020 | 29 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,823 | 2859 | 28 |
| 13 | 9,8E-03 | 2,6E-02 | 5,2E-03 | 2,2E-04 | 0,420 | 1886 | 28 | 8,0E-03 | 9,5E-03 | 4,3E-03 | 1,2E-04 | 0,418 | 3520 | 41 | 1,7E-02 | 3,4E-02 | 1,1E-02 | 3,3E-04 | 0,822 | 2472 | 25 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 7,6E-03 | 1,9E-04 | 0,819 | 4361 | 35 |
| 16 | 1,8E-02 | 1,7E-02 | 8,5E-03 | 2,3E-04 | 0,419 | 1804 | 27 | 6,8E-03 | 4,0E-03 | 5,8E-03 | 9,0E-05 | 0,420 | 4641 | 49 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 2,7E-02 | 2,9E-04 | 0,820 | 2875 | 26 | 1,2E-02 | 7,4E-03 | 1,1E-02 | 1,6E-04 | 0,820 | 4978 | 36 |
| 20 | 6,7E-03 | 8,4E-03 | 7,4E-03 | 1,2E-04 | 0,417 | 3438 | 38 | 1,1E-02 | 4,2E-03 | 7,4E-03 | 1,3E-04 | 0,417 | 3328 | 38 | 1,1E-02 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 2,3E-04 | 0,818 | 3532 | 27 | 1,7E-02 | 7,5E-03 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,819 | 4081 | 32 |
| 27 | 7,6E-03 | 8,5E-03 | 5,5E-03 | 1,2E-04 | 0,417 | 3595 | 36 | 5,3E-03 | 6,1E-03 | 7,0E-03 | 1,0E-04 | 0,419 | 4181 | 41 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 2,1E-04 | 0,818 | 3916 | 28 | 9,8E-03 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,817 | 4840 | 34 |
| 55 | 1,6E-02 | 5,2E-03 | 3,6E-03 | 1,3E-04 | 0,420 | 3169 | 34 | 9,1E-03 | 4,1E-03 | 3,5E-03 | 9,1E-05 | 0,419 | 4581 | 48 | 2,0E-02 | 9,7E-03 | 8,1E-03 | 2,0E-04 | 0,819 | 4009 | 28 | 1,4E-02 | 8,9E-03 | 6,7E-03 | 1,6E-04 | 0,820 | 5123 | 36 |
| 85 | 4,0E-03 | 5,6E-03 | 1,2E-02 | 1,2E-04 | 0,417 | 3531 | 36 | 4,4E-03 | 4,0E-03 | 5,0E-03 | 7,4E-05 | 0,417 | 5645 | 51 | 6,6E-03 | 1,5E-02 | 2,3E-02 | 2,4E-04 | 0,819 | 3368 | 25 | 8,0E-03 | 8,2E-03 | 9,7E-03 | 1,4E-04 | 0,818 | 5768 | 37 |
| 119 | 5,6E-03 | 1,2E-02 | 4,6E-02 | 3,4E-04 | 0,417 | 1210 | 18 | 3,8E-03 | 7,8E-03 | 4,3E-03 | 8,7E-05 | 0,417 | 4816 | 53 | 1,0E-02 | 2,4E-02 | 4,4E-02 | 4,2E-04 | 0,819 | 1931 | 19 | 7,8E-03 | 1,3E-02 | 9,3E-03 | 1,6E-04 | 0,817 | 5020 | 36 |
| 157 | 2,1E-02 | 3,8E-03 | 6,1E-03 | 1,7E-04 | 0,419 | 2468 | 25 | 3,9E-03 | 5,9E-03 | 4,6E-03 | 8,3E-05 | 0,420 | 5049 | 48 | 3,1E-02 | 7,4E-03 | 1,1E-02 | 2,7E-04 | 0,821 | 3066 | 22 | 8,7E-03 | 1,1E-02 | 8,9E-03 | 1,6E-04 | 0,817 | 5024 | 34 |
| 184 | 4,6E-02 | 3,4E-03 | 5,7E-03 | 3,0E-04 | 0,416 | 1382 | 16 | 2,5E-02 | 5,8E-03 | 4,1E-03 | 2,0E-04 | 0,415 | 2057 | 24 | 7,4E-02 | 9,5E-03 | 1,1E-02 | 5,2E-04 | 0,817 | 1573 | 14 | 3,0E-02 | 1,2E-02 | 8,0E-03 | 2,9E-04 | 0,817 | 2825 | 23 |
| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,4E-02 | 4,0E-03 | 8,5E-03 | 1,4E-04 | 0,338 | 2402 | 47 | 6,0E-03 | 6,9E-03 | 8,4E-03 | 1,2E-04 | 0,368 | 3151 | 54 | 1,9E-02 | 8,4E-03 | 1,4E-02 | 2,2E-04 | 0,663 | 2960 | 39 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,663 | 3561 | 42 |
| 7 | 3,6E-03 | 6,2E-03 | 1,3E-02 | 1,2E-04 | 0,339 | 2779 | 49 | 1,0E-02 | 3,9E-03 | 1,1E-02 | 1,4E-04 | 0,339 | 2494 | 37 | 6,2E-03 | 1,0E-02 | 1,7E-02 | 1,8E-04 | 0,663 | 3642 | 41 | 1,3E-02 | 8,5E-03 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,662 | 3425 | 35 |
| 10 | 7,6E-03 | 5,7E-03 | 6,0E-03 | 1,0E-04 | 0,339 | 3260 | 44 | 9,8E-03 | 5,4E-03 | 9,2E-03 | 1,3E-04 | 0,338 | 2546 | 35 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 9,4E-03 | 1,8E-04 | 0,662 | 3749 | 35 | 1,3E-02 | 9,4E-03 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,663 | 3529 | 34 |
| 13 | 6,3E-03 | 1,8E-02 | 3,5E-03 | 1,5E-04 | 0,339 | 2239 | 33 | 5,2E-03 | 6,4E-03 | 3,4E-03 | 8,2E-05 | 0,338 | 4103 | 52 | 1,1E-02 | 2,3E-02 | 7,5E-03 | 2,3E-04 | 0,663 | 2936 | 29 | 8,3E-03 | 9,7E-03 | 4,7E-03 | 1,2E-04 | 0,662 | 5341 | 42 |
| 16 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 6,7E-03 | 1,7E-04 | 0,339 | 2008 | 31 | 4,4E-03 | 3,0E-03 | 3,6E-03 | 6,0E-05 | 0,338 | 5617 | 65 | 7,8E-03 | 9,4E-03 | 1,9E-02 | 2,0E-04 | 0,662 | 3373 | 29 | 8,4E-03 | 4,7E-03 | 7,0E-03 | 1,1E-04 | 0,661 | 6036 | 44 |
| 20 | 4,3E-03 | 5,8E-03 | 5,0E-03 | 8,1E-05 | 0,341 | 4226 | 48 | 8,0E-03 | 3,6E-03 | 4,9E-03 | 9,0E-05 | 0,340 | 3780 | 46 | 8,2E-03 | 1,2E-02 | 9,5E-03 | 1,6E-04 | 0,668 | 4184 | 32 | 1,2E-02 | 4,9E-03 | 8,3E-03 | 1,4E-04 | 0,661 | 4828 | 37 |
| 27 | 5,1E-03 | 5,8E-03 | 3,7E-03 | 7,8E-05 | 0,341 | 4376 | 44 | 3,3E-03 | 3,7E-03 | 4,5E-03 | 6,3E-05 | 0,339 | 5392 | 51 | 8,7E-03 | 1,0E-02 | 7,6E-03 | 1,4E-04 | 0,664 | 4607 | 32 | 6,6E-03 | 6,7E-03 | 7,3E-03 | 1,1E-04 | 0,664 | 5906 | 41 |
| 55 | 1,1E-02 | 3,3E-03 | 2,9E-03 | 9,4E-05 | 0,338 | 3589 | 40 | 6,1E-03 | 2,6E-03 | 2,8E-03 | 6,3E-05 | 0,338 | 5381 | 62 | 1,5E-02 | 6,5E-03 | 5,4E-03 | 1,4E-04 | 0,662 | 4589 | 31 | 9,2E-03 | 6,0E-03 | 4,4E-03 | 1,1E-04 | 0,661 | 6163 | 44 |
| 85 | 2,8E-03 | 3,7E-03 | 8,9E-03 | 8,3E-05 | 0,337 | 4077 | 42 | 2,8E-03 | 2,6E-03 | 3,3E-03 | 4,8E-05 | 0,337 | 7074 | 68 | 4,4E-03 | 1,1E-02 | 1,7E-02 | 1,7E-04 | 0,659 | 3819 | 27 | 5,4E-03 | 5,5E-03 | 6,6E-03 | 9,5E-05 | 0,659 | 6937 | 46 |
| 119 | 5,1E-03 | 8,3E-03 | 3,6E-02 | 2,6E-04 | 0,338 | 1280 | 19 | 2,9E-03 | 5,6E-03 | 2,8E-03 | 6,0E-05 | 0,339 | 5619 | 70 | 8,6E-03 | 1,8E-02 | 3,4E-02 | 3,2E-04 | 0,662 | 2038 | 21 | 5,2E-03 | 9,0E-03 | 6,2E-03 | 1,1E-04 | 0,679 | 6077 | 44 |
| 157 | 1,6E-02 | 2,8E-03 | 3,9E-03 | 1,2E-04 | 0,338 | 2754 | 28 | 2,6E-03 | 3,9E-03 | 3,0E-03 | 5,4E-05 | 0,338 | 6266 | 62 | 2,2E-02 | 4,8E-03 | 7,7E-03 | 1,9E-04 | 0,662 | 3475 | 24 | 6,0E-03 | 7,4E-03 | 6,1E-03 | 1,1E-04 | 0,675 | 6018 | 41 |
| 184 | 3,7E-02 | 2,6E-03 | 4,9E-03 | 2,4E-04 | 0,350 | 1435 | 17 | 2,0E-02 | 4,2E-03 | 3,1E-03 | 1,6E-04 | 0,350 | 2236 | 26 | 5,9E-02 | 6,9E-03 | 7,8E-03 | 4,0E-04 | 0,677 | 1689 | 15 | 2,3E-02 | 9,1E-03 | 5,4E-03 | 2,2E-04 | 0,666 | 3084</ | |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,2E-02 | 4,7E-03 | 7,6E-03 | 1,3E-04 | 0,389 | 2995 | 59 | 4,4E-03 | 4,9E-03 | 5,6E-03 | 8,1E-05 | 0,316 | 3876 | 68 | 1,7E-02 | 8,2E-03 | 1,3E-02 | 2,0E-04 | 0,751 | 3740 | 47 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,748 | 4314 | 52 |
| 7 | 4,6E-03 | 5,5E-03 | 1,1E-02 | 1,2E-04 | 0,383 | 3304 | 63 | 9,7E-03 | 5,0E-03 | 1,0E-02 | 1,4E-04 | 0,386 | 2807 | 45 | 6,2E-03 | 9,9E-03 | 1,5E-02 | 1,7E-04 | 0,747 | 4398 | 50 | 1,3E-02 | 8,4E-03 | 1,3E-02 | 1,8E-04 | 0,748 | 4062 | 42 |
| 10 | 7,2E-03 | 5,3E-03 | 5,5E-03 | 9,7E-05 | 0,381 | 3946 | 56 | 9,4E-03 | 5,4E-03 | 9,1E-03 | 1,3E-04 | 0,388 | 2974 | 42 | 1,3E-02 | 9,6E-03 | 8,7E-03 | 1,7E-04 | 0,748 | 4461 | 43 | 1,2E-02 | 9,3E-03 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,759 | 4184 | 41 |
| 13 | 6,1E-03 | 1,8E-02 | 4,0E-03 | 1,5E-04 | 0,384 | 2538 | 40 | 4,9E-03 | 6,1E-03 | 4,5E-03 | 8,5E-05 | 0,382 | 4503 | 64 | 1,1E-02 | 2,3E-02 | 7,2E-03 | 2,2E-04 | 0,748 | 3415 | 34 | 7,9E-03 | 9,2E-03 | 5,5E-03 | 1,2E-04 | 0,749 | 6074 | 51 |
| 16 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 9,0E-03 | 1,8E-04 | 0,381 | 2080 | 36 | 4,3E-03 | 4,1E-03 | 3,6E-03 | 6,6E-05 | 0,381 | 5800 | 81 | 7,6E-03 | 9,0E-03 | 1,9E-02 | 1,9E-04 | 0,748 | 3899 | 35 | 8,2E-03 | 5,0E-03 | 6,7E-03 | 1,1E-04 | 0,749 | 6879 | 54 |
| 20 | 3,9E-03 | 5,4E-03 | 4,5E-03 | 7,4E-05 | 0,383 | 5154 | 60 | 7,9E-03 | 4,5E-03 | 4,5E-03 | 9,2E-05 | 0,382 | 4143 | 57 | 7,7E-03 | 1,2E-02 | 8,9E-03 | 1,5E-04 | 0,750 | 4942 | 38 | 1,2E-02 | 5,4E-03 | 7,8E-03 | 1,4E-04 | 0,748 | 5468 | 45 |
| 27 | 4,6E-03 | 5,4E-03 | 3,4E-03 | 7,2E-05 | 0,382 | 5331 | 54 | 3,4E-03 | 3,5E-03 | 4,4E-03 | 6,1E-05 | 0,381 | 6211 | 64 | 8,2E-03 | 1,0E-02 | 7,2E-03 | 1,4E-04 | 0,749 | 5445 | 38 | 6,4E-03 | 6,3E-03 | 6,8E-03 | 1,1E-04 | 0,750 | 7052 | 50 |
| 55 | 1,2E-02 | 4,0E-03 | 3,8E-03 | 1,0E-04 | 0,383 | 3669 | 49 | 5,7E-03 | 3,5E-03 | 3,5E-03 | 6,9E-05 | 0,382 | 5511 | 78 | 1,5E-02 | 6,4E-03 | 5,3E-03 | 1,4E-04 | 0,749 | 5183 | 37 | 8,6E-03 | 6,0E-03 | 4,5E-03 | 1,0E-04 | 0,748 | 7152 | 55 |
| 85 | 3,3E-03 | 3,5E-03 | 8,6E-03 | 8,3E-05 | 0,374 | 4523 | 51 | 2,9E-03 | 2,9E-03 | 3,2E-03 | 4,9E-05 | 0,373 | 7611 | 83 | 5,3E-03 | 1,0E-02 | 1,7E-02 | 1,7E-04 | 0,728 | 4225 | 32 | 5,3E-03 | 5,3E-03 | 6,4E-03 | 9,3E-05 | 0,726 | 7825 | 55 |
| 119 | 6,3E-03 | 8,1E-03 | 3,8E-02 | 2,8E-04 | 0,382 | 1362 | 22 | 3,7E-03 | 5,1E-03 | 3,2E-03 | 6,6E-05 | 0,383 | 5820 | 86 | 1,0E-02 | 1,8E-02 | 3,5E-02 | 3,4E-04 | 0,749 | 2199 | 25 | 4,9E-03 | 8,6E-03 | 6,0E-03 | 1,1E-04 | 0,751 | 7034 | 54 |
| 157 | 1,6E-02 | 3,0E-03 | 3,9E-03 | 1,3E-04 | 0,381 | 3009 | 33 | 3,2E-03 | 3,8E-03 | 3,2E-03 | 5,9E-05 | 0,381 | 6496 | 76 | 2,2E-02 | 4,3E-03 | 7,6E-03 | 1,9E-04 | 0,749 | 4002 | 29 | 5,8E-03 | 7,1E-03 | 6,0E-03 | 1,1E-04 | 0,750 | 6880 | 49 |
| 184 | 3,9E-02 | 2,9E-03 | 5,3E-03 | 2,6E-04 | 0,383 | 1475 | 19 | 2,0E-02 | 4,2E-03 | 3,5E-03 | 1,6E-04 | 0,383 | 2364 | 30 | 6,1E-02 | 7,4E-03 | 8,3E-03 | 4,2E-04 | 0,751 | 1787 | 17 | 2,4E-02 | 9,2E-03 | 5,2E-03 | 2,2E-04 | 0,749 | 3395 | 29 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|-----------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,0E-02 | 5,1E-03 | 6,7E-03 | 1,2E-04 | 0,422 | 3521 | 71 | 5,2E-03 | 5,5E-03 | 6,0E-03 | 9,2E-05 | 0,422 | 4609 | 82 | 1,5E-02 | 7,7E-03 | 1,2E-02 | 1,892E-04 | 0,826 | 4366 | 56 | 1,0E-02 | 9,6E-03 | 1,0E-02 | 1,6E-04 | 0,827 | 5181 | 61 |
| 7 | 5,3E-03 | 5,5E-03 | 1,1E-02 | 1,1E-04 | 0,422 | 3672 | 77 | 9,2E-03 | 5,6E-03 | 1,0E-02 | 1,4E-04 | 0,422 | 3110 | 54 | 6,7E-03 | 9,5E-03 | 1,4E-02 | 1,631E-04 | 0,826 | 5060 | 61 | 1,2E-02 | 8,1E-03 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,827 | 4699 | 50 |
| 10 | 6,8E-03 | 5,0E-03 | 5,2E-03 | 9,1E-05 | 0,422 | 4620 | 68 | 8,9E-03 | 4,9E-03 | 8,6E-03 | 1,2E-04 | 0,423 | 3452 | 51 | 1,3E-02 | 9,4E-03 | 8,7E-03 | 1,680E-04 | 0,826 | 4917 | 51 | 1,2E-02 | 8,9E-03 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,827 | 4720 | 49 |
| 13 | 5,9E-03 | 1,8E-02 | 4,3E-03 | 1,5E-04 | 0,422 | 2780 | 48 | 5,0E-03 | 6,1E-03 | 5,4E-03 | 9,0E-05 | 0,422 | 4687 | 77 | 1,1E-02 | 8,9E-03 | 7,0E-03 | 1,437E-04 | 0,825 | 5742 | 41 | 8,1E-03 | 9,3E-03 | 8,7E-03 | 1,4E-04 | 0,826 | 5885 | 61 |
| 16 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 2,0E-04 | 0,421 | 2149 | 41 | 4,1E-03 | 4,7E-03 | 4,0E-03 | 7,0E-05 | 0,421 | 5996 | 95 | 7,4E-03 | 9,2E-03 | 8,3E-03 | 1,341E-04 | 0,824 | 6147 | 41 | 8,7E-03 | 7,7E-03 | 6,6E-03 | 1,2E-04 | 0,826 | 6683 | 65 |
| 20 | 4,2E-03 | 5,5E-03 | 4,5E-03 | 7,6E-05 | 0,420 | 5545 | 72 | 8,2E-03 | 5,3E-03 | 4,7E-03 | 9,9E-05 | 0,422 | 4247 | 68 | 7,6E-03 | 1,2E-02 | 9,0E-03 | 1,533E-04 | 0,824 | 5378 | 45 | 1,2E-02 | 6,3E-03 | 7,8E-03 | 1,4E-04 | 0,826 | 5831 | 53 |
| 27 | 4,7E-03 | 5,3E-03 | 3,7E-03 | 7,4E-05 | 0,422 | 5683 | 65 | 3,8E-03 | 3,8E-03 | 4,6E-03 | 6,7E-05 | 0,423 | 6327 | 76 | 8,5E-03 | 8,0E-03 | 7,6E-03 | 1,296E-04 | 0,827 | 6377 | 46 | 6,6E-03 | 6,4E-03 | 6,9E-03 | 1,1E-04 | 0,827 | 7726 | 60 |
| 55 | 1,2E-02 | 4,4E-03 | 4,5E-03 | 1,1E-04 | 0,422 | 3727 | 59 | 5,9E-03 | 4,0E-03 | 4,2E-03 | 7,7E-05 | 0,423 | 5486 | 91 | 5,8E-03 | 6,4E-03 | 5,3E-03 | 9,392E-05 | 0,826 | 8790 | 44 | 8,6E-03 | 6,1E-03 | 5,4E-03 | 1,1E-04 | 0,827 | 7641 | 66 |
| 85 | 3,7E-03 | 3,4E-03 | 8,1E-03 | 8,2E-05 | 0,387 | 4722 | 60 | 3,1E-03 | 3,1E-03 | 3,3E-03 | 5,2E-05 | 0,382 | 7348 | 94 | 5,6E-03 | 9,8E-03 | 1,6E-02 | 1,7E-04 | 0,756 | 4533 | 36 | 5,5E-03 | 5,6E-03 | 6,6E-03 | 9,7E-05 | 0,767 | 7899 | 61 |
| 119 | 7,5E-03 | 8,6E-03 | 4,1E-02 | 3,1E-04 | 0,421 | 1378 | 26 | 4,3E-03 | 5,3E-03 | 3,9E-03 | 7,3E-05 | 0,421 | 5734 | 99 | 1,2E-02 | 2,0E-02 | 3,8E-02 | 3,8E-04 | 0,825 | 2190 | 30 | 5,4E-03 | 8,9E-03 | 6,0E-03 | 1,1E-04 | 0,827 | 7469 | 64 |
| 157 | 1,7E-02 | 3,6E-03 | 4,1E-03 | 1,4E-04 | 0,421 | 3093 | 41 | 3,9E-03 | 4,1E-03 | 3,6E-03 | 6,7E-05 | 0,422 | 6325 | 88 | 2,3E-02 | 4,4E-03 | 8,3E-03 | 1,9E-04 | 0,826 | 4281 | 36 | 6,0E-03 | 7,5E-03 | 6,3E-03 | 1,1E-04 | 0,826 | 7236 | 58 |
| 184 | 4,3E-02 | 3,9E-03 | 6,4E-03 | 2,9E-04 | 0,421 | 1452 | 24 | 2,2E-02 | 4,4E-03 | 4,0E-03 | 1,7E-04 | 0,421 | 2422 | 37 | 6,7E-02 | 7,8E-03 | 8,9E-03 | 4,5E-04 | 0,826 | 1817 | 21 | 2,5E-02 | 1,0E-02 | 5,7E-03 | 2,4E-04 | 0,826 | 3505 | 35 |



Annexe 34 – Résultats d'essais à 20°C et 43% d'HR – Essais à 20 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 2,8E-02 | 3,5E-02 | 2,5E-02 | 4,7E-04 | 0,426 | 898 | 27 | 2,1E-02 | 3,2E-02 | 3,2E-02 | 4,6E-04 | 0,426 | 919 | 28 | 3,9E-02 | 5,1E-02 | 3,8E-02 | 6,9E-04 | 0,832 | 1210 | 25 | 3,3E-02 | 4,6E-02 | 4,5E-02 | 6,8E-04 | 0,833 | 1229 | 25 |
| 7 | 1,8E-02 | 3,5E-02 | 1,9E-02 | 3,9E-04 | 0,426 | 1102 | 27 | 1,5E-02 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 3,3E-04 | 0,426 | 1292 | 28 | 2,8E-02 | 4,4E-02 | 3,2E-02 | 5,6E-04 | 0,833 | 1493 | 24 | 2,7E-02 | 3,3E-02 | 3,4E-02 | 5,1E-04 | 0,833 | 1621 | 25 |
| 10 | 1,8E-02 | 3,0E-02 | 1,8E-02 | 3,5E-04 | 0,426 | 1207 | 26 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 1,5E-02 | 3,0E-04 | 0,426 | 1397 | 27 | 2,9E-02 | 4,3E-02 | 2,8E-02 | 5,3E-04 | 0,832 | 1561 | 23 | 3,0E-02 | 3,2E-02 | 2,5E-02 | 4,7E-04 | 0,833 | 1758 | 24 |
| 13 | 1,7E-02 | 2,6E-02 | 2,8E-02 | 3,8E-04 | 0,426 | 1116 | 24 | 1,9E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,426 | 1742 | 30 | 2,7E-02 | 4,0E-02 | 4,1E-02 | 5,8E-04 | 0,833 | 1433 | 21 | 2,7E-02 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 3,9E-04 | 0,833 | 2152 | 26 |
| 16 | 2,8E-02 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 3,4E-04 | 0,426 | 1238 | 24 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 2,5E-04 | 0,426 | 1720 | 29 | 4,5E-02 | 2,7E-02 | 3,2E-02 | 5,6E-04 | 0,833 | 1500 | 21 | 2,8E-02 | 2,0E-02 | 2,6E-02 | 4,0E-04 | 0,832 | 2078 | 24 |
| 20 | 4,3E-02 | 2,3E-02 | 1,6E-02 | 4,4E-04 | 0,426 | 963 | 21 | 1,8E-02 | 1,4E-02 | 1,7E-02 | 2,7E-04 | 0,426 | 1585 | 26 | 4,1E-02 | 2,4E-02 | 2,2E-02 | 4,7E-04 | 0,833 | 1771 | 22 | 2,7E-02 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 4,1E-04 | 0,834 | 2014 | 23 |
| 27 | 3,1E-02 | 1,6E-02 | 1,1E-02 | 3,1E-04 | 0,426 | 1362 | 24 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 2,2E-04 | 0,426 | 1947 | 31 | 1,8E-02 | 4,8E-02 | 2,6E-02 | 5,0E-04 | 0,833 | 1679 | 20 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 3,5E-04 | 0,832 | 2368 | 26 |
| 55 | 2,7E-02 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 2,7E-04 | 0,426 | 1575 | 26 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 9,3E-03 | 2,0E-04 | 0,426 | 2083 | 34 | 4,1E-02 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 4,4E-04 | 0,833 | 1887 | 22 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 1,8E-02 | 3,4E-04 | 0,832 | 2419 | 28 |
| 85 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-02 | 2,4E-04 | 0,425 | 1799 | 29 | 1,8E-02 | 8,2E-03 | 1,6E-02 | 2,3E-04 | 0,425 | 1880 | 31 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 2,7E-02 | 3,8E-04 | 0,832 | 2166 | 24 | 2,6E-02 | 1,5E-02 | 2,4E-02 | 3,5E-04 | 0,831 | 2341 | 27 |
| 119 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 2,4E-02 | 2,5E-04 | 0,426 | 1676 | 24 | 6,5E-03 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,7E-04 | 0,426 | 2573 | 36 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 3,4E-02 | 3,8E-04 | 0,833 | 2202 | 22 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,8E-04 | 0,833 | 3026 | 30 |
| 157 | 1,7E-02 | 1,3E-02 | 9,9E-03 | 2,2E-04 | 0,425 | 1976 | 29 | 1,9E-02 | 6,1E-03 | 1,5E-02 | 2,3E-04 | 0,425 | 1872 | 31 | 2,7E-02 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 3,5E-04 | 0,832 | 2348 | 24 | 2,8E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-02 | 3,5E-04 | 0,832 | 2361 | 27 |
| 184 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 2,5E-04 | 0,426 | 1726 | 28 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 2,3E-04 | 0,426 | 1873 | 30 | 2,9E-02 | 2,4E-02 | 2,1E-02 | 4,0E-04 | 0,832 | 2069 | 23 | 2,3E-02 | 2,5E-02 | 1,9E-02 | 3,8E-04 | 0,832 | 2164 | 24 |
| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,5E-02 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 2,7E-04 | 0,420 | 1581 | 35 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 2,5E-04 | 0,420 | 1661 | 36 | 2,3E-02 | 3,1E-02 | 2,3E-02 | 4,1E-04 | 0,822 | 1988 | 30 | 2,0E-02 | 2,6E-02 | 2,6E-02 | 4,0E-04 | 0,820 | 2065 | 31 |
| 7 | 9,7E-03 | 2,1E-02 | 1,1E-02 | 2,3E-04 | 0,419 | 1855 | 34 | 8,1E-03 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 1,9E-04 | 0,420 | 2189 | 36 | 1,7E-02 | 2,8E-02 | 1,9E-02 | 3,4E-04 | 0,819 | 2388 | 30 | 1,7E-02 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 3,2E-04 | 0,818 | 2576 | 31 |
| 10 | 1,0E-02 | 1,8E-02 | 1,0E-02 | 2,1E-04 | 0,418 | 2033 | 33 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 7,9E-03 | 1,8E-04 | 0,419 | 2304 | 33 | 1,8E-02 | 2,8E-02 | 1,7E-02 | 3,3E-04 | 0,821 | 2456 | 29 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 3,0E-04 | 0,819 | 2749 | 29 |
| 13 | 9,4E-03 | 1,6E-02 | 1,8E-02 | 2,3E-04 | 0,417 | 1786 | 28 | 1,2E-02 | 6,4E-03 | 6,4E-03 | 1,3E-04 | 0,418 | 3094 | 37 | 1,7E-02 | 2,6E-02 | 2,8E-02 | 3,8E-04 | 0,820 | 2150 | 25 | 1,7E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,3E-04 | 0,819 | 3523 | 31 |
| 16 | 1,9E-02 | 8,5E-03 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,416 | 1916 | 28 | 9,4E-03 | 6,0E-03 | 1,1E-02 | 1,4E-04 | 0,418 | 2959 | 34 | 3,2E-02 | 1,6E-02 | 2,2E-02 | 3,8E-04 | 0,817 | 2163 | 24 | 1,7E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-02 | 2,5E-04 | 0,818 | 3267 | 28 |
| 20 | 3,1E-02 | 1,5E-02 | 8,9E-03 | 3,0E-04 | 0,416 | 1401 | 24 | 1,1E-02 | 8,0E-03 | 1,0E-02 | 1,6E-04 | 0,417 | 2597 | 29 | 2,9E-02 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 3,2E-04 | 0,816 | 2577 | 24 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,6E-04 | 0,818 | 3098 | 26 |
| 27 | 2,3E-02 | 1,7E-02 | 5,4E-03 | 1,9E-04 | 0,418 | 2156 | 28 | 6,0E-03 | 7,4E-03 | 7,6E-03 | 1,2E-04 | 0,417 | 3629 | 39 | 1,1E-02 | 3,4E-02 | 1,8E-02 | 3,3E-04 | 0,820 | 2456 | 22 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,817 | 3949 | 32 |
| 55 | 1,9E-02 | 7,5E-03 | 5,6E-03 | 1,7E-04 | 0,418 | 2432 | 29 | 6,9E-03 | 7,5E-03 | 4,5E-03 | 1,0E-04 | 0,417 | 4037 | 47 | 2,9E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,9E-04 | 0,819 | 2778 | 23 | 1,0E-02 | 1,3E-02 | 9,0E-03 | 1,8E-04 | 0,816 | 4638 | 35 |
| 85 | 7,2E-03 | 6,9E-03 | 1,1E-02 | 1,4E-04 | 0,416 | 3032 | 35 | 1,0E-02 | 4,0E-03 | 9,4E-03 | 1,3E-04 | 0,418 | 3271 | 39 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,5E-04 | 0,821 | 3290 | 26 | 1,5E-02 | 8,7E-03 | 1,6E-02 | 2,2E-04 | 0,817 | 3715 | 31 |
| 119 | 6,2E-03 | 6,1E-03 | 1,7E-02 | 1,6E-04 | 0,417 | 2688 | 25 | 3,4E-03 | 6,0E-03 | 6,7E-03 | 8,8E-05 | 0,417 | 4750 | 48 | 9,2E-03 | 1,2E-02 | 2,6E-02 | 2,5E-04 | 0,820 | 3242 | 22 | 7,1E-03 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,6E-04 | 0,821 | 5115 | 36 |
| 157 | 1,0E-02 | 7,0E-03 | 4,8E-03 | 1,2E-04 | 0,418 | 3430 | 34 | 1,2E-02 | 3,6E-03 | 8,4E-03 | 1,4E-04 | 0,418 | 3058 | 38 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 9,5E-03 | 2,2E-04 | 0,818 | 3673 | 26 | 1,9E-02 | 6,8E-03 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,819 | 3731 | 31 |
| 184 | 1,1E-02 | 7,6E-03 | 7,7E-03 | 1,4E-04 | 0,415 | 2898 | 32 | 7,2E-03 | 9,0E-03 | 5,8E-03 | 1,3E-04 | 0,415 | 3291 | 36 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 2,6E-04 | 0,818 | 3160 | 26 | 1,4E-02 | 1,7E-02 | 1,2E-02 | 2,5E-04 | 0,818 | 3334 | 27 |
| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 9,4E-03 | 1,3E-02 | 8,4E-03 | 1,6E-04 | 0,338 | 2066 | 42 | 7,5E-03 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,5E-04 | 0,339 | 2205 | 45 | 1,5E-02 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,662 | 2506 | 35 | 1,4E-02 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 2,6E-04 | 0,662 | 2595 | 37 |
| 7 | 6,0E-03 | 1,4E-02 | 6,8E-03 | 1,4E-04 | 0,338 | 2379 | 42 | 5,1E-03 | 8,3E-03 | 8,7E-03 | 1,2E-04 | 0,339 | 2810 | 45 | 1,1E-02 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,662 | 2956 | 36 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 2,1E-04 | 0,662 | 3168 | 37 |
| 10 | 6,3E-03 | 1,2E-02 | 6,2E-03 | 1,3E-04 | 0,339 | 2578 | 41 | 8,4E-03 | 8,2E-03 | 4,9E-03 | 1,2E-04 | 0,338 | 2871 | 41 | 1,1E-02 | 1,8E-02 | 1,1E-02 | 2,2E-04 | 0,663 | 3039 | 34 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 2,0E-04 | 0,662 | 3347 | 35 |
| 13 | 6,0E-03 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,5E-04 | 0,338 | 2191 | 34 | 8,2E-03 | 4,1E-03 | 4,1E-03 | 8,9E-05 | 0,338 | 3787 | 45 | 1,1E-02 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 2,6E-04 | 0,662 | 2565 | 28 | 1,2E-02 | 8,5E-03 | 8,2E-03 | 1,6E-04 | 0,661 | 4232 | 37 |
| 16 | 1,4E-02 | 5,0E-03 | 8,3E-03 | 1,5E-04 | 0,346 | 2287 | 32 | 6,4E-03 | 3,7E-03 | 6,9E-03 | 9,3E-05 | 0,338 | 3634 | 40 | 2,3E-02 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 2,7E-04 | 0,668 | 2511 | 27 | 1,2E-02 | 7,3E-03 | 1,2E-02 | 1,7E-04 | 0,661 | 3890 | 32 |
| 20 | 2,7E-02 | 1,2E-02 | 6,0E-03 | 2,4E-04 | 0,342 | 1397 | 27 | 7,7E-03 | 5,4E-03 | 7,1E-03 | 1,1E-04 | 0,338 | 3074 | 33 | 2,1E-02 | 1,1E-02 | 9,4E-03 | 2,2E-04 | 0,673 | 3025 | 28 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,661 | 3613 | 29 |
| 27 | 1,7E-02 | 4,7E-03 | 3,5E-03 | 1,4E-04 | 0,339 | 2494 | 32 | 3,8E-03 | 4,6E-03 | 5,0E-03 | 7,4E-05 | 0,338 | 4596 | 48 | 7,1E-03 | 2,4E-02 | 1,2E-02 | 2,3E-04 | 0,662 | 2850 | 24 | 7,9E-03 | 9,0E-03 | 8,4E-03 | 1,4E-04 | 0,666 | 4817 | 37 |
| 55 | 1,4E-02 | 4,7E-03 | 3,8E-03 | 1,2E-04 | 0,338 | 2796 | 31 | 4,2E-03 | 4,9E-03 | 3,1E-03 | 6,7E-05 | 0,339 | 5094 | 60 | 2,1E-02 | 8,9E-03 | 9,0E-03 | 2,1E-04 | 0,663 | 3178 | 26 | 6,7E-03 | 8,4E-03 | 5,9E-03 | 1,1E-04 | 0,644 | 5622 | 44 |
| 85 | 4,7E-03 | 4,7E-03 | 8,1E-03 | 9,4E-05 | 0,337 | 3587 | 40 | 6,7E-03 | 2,7E-03 | 6,6E-03 | 8,7E-05 | 0,337 | 3853 | 47 | 8,8E-03 | 1,0E-02 | 1,3E-02 | 1,7E-04 | 0,659 | 3797 | 29 | 1,0E-02 | 5,8E-03 | 1,2E-02 | 1,5E-04 | 0,660 | 4344 | 36 |
| 119 | 3,8E-03 | 4,2E-03 | 1,2E-02 | 1,1E-04 | 0,338 | 3125 | 28 | 2,9E-03 | 4,0E-03 | 4,4E-03 | 6,2E-05 | 0,339 | 5507 | 62 | 5,8E-03 | 8,7E-03 | 1,9E-02 | 1,8E-04 | 0,662 | 3653 | 24 | 4,4E-03 | 7,7E-03 | 7,6E-03 | 1,1E-04 | 0,663 | 6162 | 43 |
| 157 | 7,3E-03 | 4,7E-03 | 3,0E-03 | 8,2E-05 | 0,338 | 4126 | 40 | 8,4E-03 | 3,1E-03 | 5,2E-03 | 9,5E-05 | 0,338 | 3547 | 47 | 1,3E-02 | 9,3E-03 | 6,3E-03 | 1,5E-04 | 0,663 | 4279 | 30 | 1,3E-02 | 4,5E-03 | 8,8E-03 | 1,5E-04 | 0,662 | 4342 | 37 |
| 184 | 7,6E-03 | 5,1E-03 | 5,0E-03 | 9,7E-05 | 0,353 | 3631 | 37 | 4,8E-03 | 6,3E-03 | 3,8E-03 | 8,5E-05 | 0,357 | 4178 | 43 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 8,2E-03 | 1,8E-04 | 0,662 | 3674 | 28 | 9,8E- | | | | | | |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 8,2E-03 | 1,1E-02 | 7,4E-03 | 1,4E-04 | 0,381 | 2656 | 51 | 6,9E-03 | 8,8E-03 | 9,2E-03 | 1,4E-04 | 0,383 | 2807 | 55 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,748 | 3125 | 41 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 2,3E-04 | 0,749 | 3317 | 44 |
| 7 | 5,7E-03 | 1,2E-02 | 6,0E-03 | 1,3E-04 | 0,381 | 3024 | 52 | 5,2E-03 | 7,5E-03 | 7,7E-03 | 1,1E-04 | 0,381 | 3416 | 56 | 1,0E-02 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 2,0E-04 | 0,750 | 3751 | 43 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,750 | 3962 | 44 |
| 10 | 5,8E-03 | 1,1E-02 | 5,6E-03 | 1,2E-04 | 0,381 | 3194 | 51 | 7,8E-03 | 7,4E-03 | 4,9E-03 | 1,1E-04 | 0,381 | 3461 | 51 | 1,1E-02 | 1,7E-02 | 9,9E-03 | 2,0E-04 | 0,748 | 3708 | 41 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 9,4E-03 | 1,8E-04 | 0,750 | 4127 | 43 |
| 13 | 5,3E-03 | 9,2E-03 | 1,2E-02 | 1,4E-04 | 0,382 | 2702 | 40 | 7,8E-03 | 3,7E-03 | 4,0E-03 | 8,5E-05 | 0,382 | 4504 | 55 | 1,0E-02 | 1,6E-02 | 1,9E-02 | 2,4E-04 | 0,749 | 3089 | 33 | 1,1E-02 | 7,9E-03 | 7,7E-03 | 1,5E-04 | 0,750 | 5092 | 44 |
| 16 | 1,5E-02 | 5,0E-03 | 7,9E-03 | 1,5E-04 | 0,383 | 2587 | 38 | 5,9E-03 | 3,7E-03 | 6,6E-03 | 8,8E-05 | 0,381 | 4325 | 49 | 2,3E-02 | 1,0E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,751 | 2883 | 31 | 1,1E-02 | 6,9E-03 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,750 | 4625 | 37 |
| 20 | 3,4E-02 | 1,5E-02 | 5,2E-03 | 2,9E-04 | 0,381 | 1318 | 30 | 7,4E-03 | 5,0E-03 | 6,7E-03 | 1,0E-04 | 0,382 | 3662 | 38 | 2,1E-02 | 1,1E-02 | 8,7E-03 | 2,1E-04 | 0,750 | 3498 | 32 | 1,2E-02 | 9,9E-03 | 1,0E-02 | 1,8E-04 | 0,749 | 4233 | 34 |
| 27 | 1,8E-02 | 4,5E-03 | 3,9E-03 | 1,4E-04 | 0,382 | 2704 | 37 | 3,6E-03 | 4,3E-03 | 4,6E-03 | 6,8E-05 | 0,382 | 5607 | 60 | 6,9E-03 | 2,4E-02 | 1,2E-02 | 2,3E-04 | 0,749 | 3265 | 27 | 7,5E-03 | 8,4E-03 | 7,8E-03 | 1,3E-04 | 0,750 | 5797 | 45 |
| 55 | 1,4E-02 | 4,5E-03 | 4,1E-03 | 1,2E-04 | 0,382 | 3115 | 37 | 3,9E-03 | 4,5E-03 | 3,7E-03 | 6,6E-05 | 0,383 | 5783 | 75 | 2,1E-02 | 8,5E-03 | 8,9E-03 | 2,0E-04 | 0,749 | 3658 | 30 | 4,4E-03 | 5,8E-03 | 3,9E-03 | 7,7E-05 | 0,473 | 6129 | 53 |
| 85 | 4,1E-03 | 4,3E-03 | 7,5E-03 | 8,6E-05 | 0,373 | 4353 | 48 | 5,9E-03 | 3,4E-03 | 6,0E-03 | 8,4E-05 | 0,372 | 4442 | 57 | 8,1E-03 | 1,0E-02 | 1,3E-02 | 1,7E-04 | 0,727 | 4367 | 34 | 9,4E-03 | 5,5E-03 | 1,1E-02 | 1,4E-04 | 0,730 | 5227 | 43 |
| 119 | 3,3E-03 | 4,1E-03 | 1,2E-02 | 1,1E-04 | 0,382 | 3604 | 33 | 3,7E-03 | 3,9E-03 | 4,3E-03 | 6,5E-05 | 0,383 | 5930 | 77 | 5,5E-03 | 8,9E-03 | 2,0E-02 | 1,8E-04 | 0,750 | 4054 | 28 | 4,5E-03 | 7,5E-03 | 7,3E-03 | 1,1E-04 | 0,747 | 7042 | 52 |
| 157 | 7,1E-03 | 4,4E-03 | 3,4E-03 | 8,1E-05 | 0,382 | 4686 | 49 | 8,2E-03 | 3,9E-03 | 4,9E-03 | 9,8E-05 | 0,382 | 3899 | 57 | 1,3E-02 | 9,0E-03 | 5,9E-03 | 1,5E-04 | 0,751 | 4977 | 35 | 1,3E-02 | 4,9E-03 | 8,4E-03 | 1,5E-04 | 0,749 | 4989 | 44 |
| 184 | 7,3E-03 | 4,7E-03 | 4,5E-03 | 9,0E-05 | 0,383 | 4233 | 45 | 4,4E-03 | 6,1E-03 | 3,6E-03 | 8,1E-05 | 0,384 | 4754 | 52 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 7,7E-03 | 1,8E-04 | 0,750 | 4261 | 33 | 9,4E-03 | 1,2E-02 | 7,5E-03 | 1,7E-04 | 0,749 | 4490 | 35 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 7,6E-03 | 1,0E-02 | 6,8E-03 | 1,3E-04 | 0,422 | 3210 | 61 | 6,1E-03 | 7,8E-03 | 8,2E-03 | 1,2E-04 | 0,423 | 3493 | 66 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,827 | 3599 | 48 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 2,2E-04 | 0,826 | 3823 | 51 |
| 7 | 5,2E-03 | 1,1E-02 | 5,6E-03 | 1,2E-04 | 0,422 | 3663 | 64 | 5,7E-03 | 6,9E-03 | 7,1E-03 | 1,1E-04 | 0,423 | 3941 | 69 | 1,0E-02 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 2,0E-04 | 0,827 | 4197 | 51 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,827 | 4401 | 53 |
| 10 | 5,6E-03 | 1,0E-02 | 5,5E-03 | 1,1E-04 | 0,423 | 3695 | 61 | 7,5E-03 | 7,0E-03 | 5,3E-03 | 1,1E-04 | 0,422 | 3905 | 62 | 1,0E-02 | 1,7E-02 | 9,7E-03 | 2,0E-04 | 0,828 | 4162 | 49 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 9,2E-03 | 1,8E-04 | 0,827 | 4542 | 51 |
| 13 | 5,1E-03 | 8,3E-03 | 1,1E-02 | 1,3E-04 | 0,422 | 3155 | 49 | 7,8E-03 | 3,9E-03 | 4,4E-03 | 8,8E-05 | 0,422 | 4799 | 67 | 1,0E-02 | 1,6E-02 | 1,9E-02 | 2,4E-04 | 0,828 | 3429 | 39 | 1,2E-02 | 8,1E-03 | 7,6E-03 | 1,5E-04 | 0,827 | 5518 | 52 |
| 16 | 1,6E-02 | 5,6E-03 | 7,9E-03 | 1,6E-04 | 0,422 | 2686 | 44 | 5,6E-03 | 4,1E-03 | 6,6E-03 | 8,9E-05 | 0,423 | 4741 | 58 | 2,5E-02 | 1,0E-02 | 1,5E-02 | 2,7E-04 | 0,827 | 3089 | 37 | 1,1E-02 | 6,7E-03 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,824 | 5022 | 44 |
| 20 | 3,5E-02 | 1,3E-02 | 5,0E-03 | 2,8E-04 | 0,422 | 1486 | 36 | 7,5E-03 | 4,9E-03 | 6,8E-03 | 1,0E-04 | 0,422 | 4030 | 46 | 2,1E-02 | 1,1E-02 | 9,0E-03 | 2,2E-04 | 0,826 | 3743 | 37 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 1,8E-04 | 0,827 | 4557 | 40 |
| 27 | 1,9E-02 | 5,0E-03 | 4,6E-03 | 1,5E-04 | 0,422 | 2739 | 44 | 4,0E-03 | 4,1E-03 | 4,5E-03 | 6,9E-05 | 0,421 | 6093 | 72 | 7,2E-03 | 2,6E-02 | 1,3E-02 | 2,5E-04 | 0,827 | 3348 | 31 | 7,7E-03 | 8,5E-03 | 7,9E-03 | 1,3E-04 | 0,827 | 6294 | 54 |
| 55 | 1,4E-02 | 4,7E-03 | 4,7E-03 | 1,3E-04 | 0,421 | 3300 | 45 | 4,1E-03 | 4,5E-03 | 4,4E-03 | 7,1E-05 | 0,423 | 5913 | 88 | 2,1E-02 | 8,8E-03 | 9,5E-03 | 2,1E-04 | 0,827 | 3922 | 35 | 4,2E-03 | 5,8E-03 | 3,9E-03 | 7,6E-05 | 0,534 | 7049 | 57 |
| 85 | 3,8E-03 | 4,1E-03 | 6,7E-03 | 7,9E-05 | 0,383 | 4880 | 57 | 5,3E-03 | 3,8E-03 | 5,6E-03 | 8,1E-05 | 0,384 | 4765 | 67 | 8,0E-03 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,6E-04 | 0,761 | 4761 | 38 | 9,0E-03 | 5,6E-03 | 1,0E-02 | 1,4E-04 | 0,764 | 5601 | 48 |
| 119 | 3,5E-03 | 4,3E-03 | 1,3E-02 | 1,1E-04 | 0,422 | 3807 | 40 | 4,3E-03 | 4,0E-03 | 4,6E-03 | 7,1E-05 | 0,422 | 5934 | 90 | 5,4E-03 | 9,3E-03 | 2,1E-02 | 1,9E-04 | 0,826 | 4272 | 34 | 5,3E-03 | 8,0E-03 | 7,7E-03 | 1,1E-04 | 0,828 | 7209 | 61 |
| 157 | 7,2E-03 | 4,4E-03 | 3,8E-03 | 8,5E-05 | 0,422 | 4979 | 59 | 8,7E-03 | 4,6E-03 | 5,0E-03 | 1,0E-04 | 0,422 | 4022 | 69 | 1,4E-02 | 9,6E-03 | 6,2E-03 | 1,6E-04 | 0,827 | 5145 | 41 | 1,4E-02 | 5,8E-03 | 9,0E-03 | 1,6E-04 | 0,826 | 5080 | 52 |
| 184 | 7,3E-03 | 4,8E-03 | 4,7E-03 | 9,2E-05 | 0,422 | 4602 | 54 | 4,5E-03 | 6,1E-03 | 3,9E-03 | 8,3E-05 | 0,422 | 5061 | 63 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 7,6E-03 | 1,8E-04 | 0,826 | 4601 | 39 | 9,8E-03 | 1,3E-02 | 7,5E-03 | 1,7E-04 | 0,826 | 4798 | 42 |



Annexe 35 – Résultats d'essais à 20°C et 43% d'HR – Essais à 35 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 2,2E-02 | 3,8E-02 | 3,2E-02 | 5,0E-04 | 0,426 | 857 | 23 | 2,6E-02 | 3,5E-02 | 4,1E-02 | 5,6E-04 | 0,426 | 763 | 23 | 3,8E-02 | 5,6E-02 | 4,9E-02 | 7,7E-04 | 0,833 | 1088 | 20 | 4,3E-02 | 5,1E-02 | 5,9E-02 | 8,4E-04 | 0,833 | 997 | 21 |
| 7 | 3,3E-02 | 3,0E-02 | 2,5E-02 | 4,7E-04 | 0,426 | 901 | 22 | 3,0E-02 | 2,8E-02 | 3,3E-02 | 4,9E-04 | 0,426 | 864 | 21 | 5,0E-02 | 4,4E-02 | 3,7E-02 | 7,0E-04 | 0,833 | 1185 | 21 | 4,5E-02 | 4,5E-02 | 4,8E-02 | 7,5E-04 | 0,833 | 1106 | 20 |
| 10 | 3,0E-02 | 3,3E-02 | 2,6E-02 | 4,8E-04 | 0,427 | 889 | 21 | 3,1E-02 | 2,7E-02 | 3,1E-02 | 4,8E-04 | 0,426 | 883 | 21 | 4,4E-02 | 5,1E-02 | 3,9E-02 | 7,2E-04 | 0,833 | 1150 | 19 | 4,5E-02 | 4,2E-02 | 4,5E-02 | 7,2E-04 | 0,833 | 1158 | 20 |
| 13 | 1,7E-02 | 4,0E-02 | 4,1E-02 | 5,2E-04 | 0,426 | 811 | 20 | 2,3E-02 | 2,7E-02 | 3,1E-02 | 4,4E-04 | 0,426 | 970 | 21 | 2,9E-02 | 5,4E-02 | 5,9E-02 | 7,6E-04 | 0,832 | 1092 | 18 | 3,5E-02 | 4,4E-02 | 4,3E-02 | 6,6E-04 | 0,833 | 1259 | 19 |
| 16 | 2,0E-02 | 1,9E-02 | 4,1E-02 | 4,3E-04 | 0,426 | 987 | 22 | 2,7E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-02 | 3,8E-04 | 0,426 | 1111 | 23 | 3,4E-02 | 3,3E-02 | 6,0E-02 | 6,8E-04 | 0,833 | 1222 | 19 | 4,0E-02 | 2,8E-02 | 3,7E-02 | 5,7E-04 | 0,833 | 1454 | 21 |
| 20 | 2,9E-02 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 4,2E-04 | 0,427 | 1020 | 22 | 2,8E-02 | 2,7E-02 | 2,4E-02 | 4,3E-04 | 0,427 | 998 | 20 | 4,6E-02 | 3,8E-02 | 3,5E-02 | 6,4E-04 | 0,833 | 1306 | 19 | 3,9E-02 | 3,9E-02 | 3,7E-02 | 6,3E-04 | 0,833 | 1327 | 19 |
| 27 | 2,9E-02 | 2,8E-02 | 1,8E-02 | 4,0E-04 | 0,426 | 1072 | 23 | 2,0E-02 | 2,7E-02 | 2,6E-02 | 4,0E-04 | 0,426 | 1069 | 22 | 4,2E-02 | 3,3E-02 | 2,9E-02 | 5,6E-04 | 0,833 | 1494 | 20 | 3,3E-02 | 3,8E-02 | 3,8E-02 | 5,9E-04 | 0,833 | 1409 | 20 |
| 55 | 2,4E-02 | 1,9E-02 | 2,6E-02 | 3,8E-04 | 0,426 | 1135 | 22 | 1,9E-02 | 2,6E-02 | 2,1E-02 | 3,5E-04 | 0,426 | 1205 | 24 | 3,7E-02 | 3,1E-02 | 3,7E-02 | 5,7E-04 | 0,833 | 1466 | 19 | 3,0E-02 | 3,7E-02 | 3,1E-02 | 5,4E-04 | 0,833 | 1549 | 22 |
| 85 | 1,7E-02 | 4,3E-02 | 2,6E-02 | 4,6E-04 | 0,425 | 922 | 21 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 2,2E-02 | 3,3E-04 | 0,425 | 1288 | 25 | 2,8E-02 | 5,5E-02 | 3,6E-02 | 6,4E-04 | 0,831 | 1299 | 19 | 3,2E-02 | 2,8E-02 | 3,4E-02 | 5,1E-04 | 0,831 | 1620 | 22 |
| 119 | 2,4E-02 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,426 | 1297 | 24 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 2,9E-04 | 0,426 | 1492 | 28 | 3,6E-02 | 2,8E-02 | 2,9E-02 | 5,0E-04 | 0,833 | 1664 | 20 | 3,0E-02 | 4,4E-02 | 2,9E-02 | 4,5E-04 | 0,832 | 1836 | 23 |
| 157 | 2,2E-02 | 2,7E-02 | 1,7E-02 | 3,6E-04 | 0,426 | 1197 | 23 | 2,2E-02 | 2,6E-02 | 1,6E-02 | 3,6E-04 | 0,426 | 1166 | 24 | 3,3E-02 | 4,1E-02 | 2,8E-02 | 5,6E-04 | 0,833 | 1490 | 20 | 3,5E-02 | 3,9E-02 | 2,8E-02 | 5,9E-04 | 0,832 | 1420 | 20 |
| 184 | 3,8E-02 | 1,6E-02 | 2,1E-02 | 4,1E-04 | 0,426 | 1032 | 21 | 2,0E-02 | 2,4E-02 | 1,9E-02 | 3,6E-04 | 0,426 | 1188 | 24 | 5,8E-02 | 2,4E-02 | 3,4E-02 | 6,4E-04 | 0,832 | 1306 | 18 | 3,0E-02 | 3,5E-02 | 3,1E-02 | 5,5E-04 | 0,833 | 1506 | 22 |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,3E-02 | 2,5E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-04 | 0,420 | 1337 | 30 | 1,6E-02 | 2,1E-02 | 2,7E-02 | 3,5E-04 | 0,420 | 1197 | 30 | 2,4E-02 | 3,6E-02 | 3,1E-02 | 4,9E-04 | 0,810 | 1660 | 26 | 3,0E-02 | 3,3E-02 | 3,9E-02 | 5,5E-04 | 0,821 | 1479 | 27 |
| 7 | 2,2E-02 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 3,0E-04 | 0,420 | 1392 | 29 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 3,3E-04 | 0,420 | 1275 | 27 | 3,4E-02 | 2,9E-02 | 2,5E-02 | 4,7E-04 | 0,820 | 1733 | 26 | 3,1E-02 | 3,1E-02 | 3,3E-02 | 5,2E-04 | 0,823 | 1574 | 25 |
| 10 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 1,7E-02 | 3,1E-04 | 0,420 | 1339 | 27 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-04 | 0,418 | 1330 | 27 | 2,9E-02 | 3,6E-02 | 2,7E-02 | 5,0E-04 | 0,820 | 1644 | 24 | 3,1E-02 | 2,8E-02 | 3,1E-02 | 4,9E-04 | 0,819 | 1660 | 25 |
| 13 | 1,0E-02 | 2,6E-02 | 2,8E-02 | 3,5E-04 | 0,418 | 1209 | 25 | 1,4E-02 | 1,7E-02 | 2,1E-02 | 2,9E-04 | 0,418 | 1458 | 25 | 2,0E-02 | 3,6E-02 | 4,3E-02 | 5,3E-04 | 0,821 | 1542 | 23 | 2,4E-02 | 3,0E-02 | 3,0E-02 | 4,6E-04 | 0,819 | 1785 | 23 |
| 16 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,8E-02 | 2,9E-04 | 0,420 | 1468 | 27 | 1,8E-02 | 1,0E-02 | 1,6E-02 | 2,4E-04 | 0,420 | 1741 | 30 | 2,3E-02 | 2,3E-02 | 4,4E-02 | 4,8E-04 | 0,820 | 1703 | 23 | 2,8E-02 | 1,8E-02 | 2,5E-02 | 3,9E-04 | 0,821 | 2122 | 27 |
| 20 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,6E-04 | 0,420 | 1587 | 27 | 1,9E-02 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 2,8E-04 | 0,419 | 1482 | 25 | 3,4E-02 | 2,5E-02 | 2,2E-02 | 4,4E-04 | 0,822 | 1864 | 23 | 2,7E-02 | 2,7E-02 | 2,6E-02 | 4,4E-04 | 0,822 | 1877 | 23 |
| 27 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 1,0E-02 | 2,4E-04 | 0,419 | 1717 | 28 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 2,6E-04 | 0,420 | 1636 | 27 | 3,0E-02 | 2,1E-02 | 1,9E-02 | 3,8E-04 | 0,818 | 2168 | 25 | 2,3E-02 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 4,0E-04 | 0,823 | 2059 | 24 |
| 55 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 2,4E-04 | 0,419 | 1759 | 27 | 1,1E-02 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-04 | 0,419 | 1960 | 32 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 2,6E-02 | 3,9E-04 | 0,818 | 2113 | 23 | 2,0E-02 | 2,5E-02 | 2,0E-02 | 3,5E-04 | 0,817 | 2314 | 27 |
| 85 | 9,8E-03 | 3,0E-02 | 1,6E-02 | 3,0E-04 | 0,418 | 1376 | 24 | 1,2E-02 | 9,7E-03 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,416 | 2173 | 34 | 1,9E-02 | 3,9E-02 | 2,4E-02 | 4,4E-04 | 0,816 | 1860 | 22 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 2,3E-02 | 3,3E-04 | 0,816 | 2444 | 28 |
| 119 | 1,6E-02 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 2,0E-04 | 0,418 | 2111 | 28 | 1,1E-02 | 9,4E-03 | 9,2E-03 | 1,6E-04 | 0,418 | 2600 | 36 | 2,5E-02 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 3,3E-04 | 0,819 | 2451 | 23 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,819 | 2844 | 29 |
| 157 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 9,8E-03 | 2,2E-04 | 0,417 | 1866 | 29 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 9,6E-03 | 2,3E-04 | 0,416 | 1835 | 30 | 2,2E-02 | 2,9E-02 | 1,9E-02 | 3,8E-04 | 0,819 | 2139 | 24 | 2,3E-02 | 2,8E-02 | 1,9E-02 | 4,1E-04 | 0,819 | 2013 | 25 |
| 184 | 3,0E-02 | 8,9E-03 | 1,3E-02 | 2,8E-04 | 0,418 | 1486 | 24 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 2,2E-04 | 0,420 | 1921 | 31 | 4,4E-02 | 1,5E-02 | 2,3E-02 | 4,5E-04 | 0,819 | 1803 | 21 | 2,0E-02 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 3,7E-04 | 0,822 | 2236 | 27 |

| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | | Moule 4 | | | | | | | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 8,5E-03 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 2,0E-04 | 0,339 | 1695 | 37 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 2,2E-04 | 0,338 | 1509 | 36 | 1,6E-02 | 2,4E-02 | 2,1E-02 | 3,3E-04 | 0,649 | 1989 | 29 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 2,6E-02 | 3,7E-04 | 0,662 | 1813 | 31 |
| 7 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 2,0E-04 | 0,339 | 1735 | 35 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 2,2E-04 | 0,338 | 1558 | 32 | 2,3E-02 | 2,0E-02 | 1,6E-02 | 3,2E-04 | 0,662 | 2088 | 30 | 2,1E-02 | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 3,5E-04 | 0,663 | 1890 | 29 |
| 10 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 2,1E-04 | 0,339 | 1639 | 33 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,338 | 1613 | 33 | 1,9E-02 | 2,5E-02 | 1,8E-02 | 3,4E-04 | 0,662 | 1964 | 28 | 2,1E-02 | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 3,3E-04 | 0,663 | 1981 | 29 |
| 13 | 6,9E-03 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 2,3E-04 | 0,338 | 1464 | 30 | 9,2E-03 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 1,9E-04 | 0,338 | 1747 | 29 | 1,3E-02 | 2,4E-02 | 3,0E-02 | 3,6E-04 | 0,662 | 1833 | 26 | 1,6E-02 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 3,2E-04 | 0,662 | 2100 | 26 |
| 16 | 8,4E-03 | 7,8E-03 | 1,9E-02 | 1,9E-04 | 0,338 | 1763 | 32 | 1,2E-02 | 6,5E-03 | 1,0E-02 | 1,6E-04 | 0,338 | 2145 | 36 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 3,1E-02 | 3,3E-04 | 0,662 | 1997 | 26 | 1,9E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 2,6E-04 | 0,662 | 2517 | 31 |
| 20 | 1,4E-02 | 1,0E-02 | 8,3E-03 | 1,8E-04 | 0,338 | 1925 | 31 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,9E-04 | 0,338 | 1778 | 28 | 2,4E-02 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 3,0E-04 | 0,663 | 2191 | 26 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 3,0E-04 | 0,662 | 2205 | 26 |
| 27 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 6,8E-03 | 1,6E-04 | 0,339 | 2107 | 33 | 8,5E-03 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,339 | 1988 | 32 | 2,1E-02 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,6E-04 | 0,662 | 2520 | 28 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 2,8E-04 | 0,660 | 2363 | 27 |
| 55 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,339 | 2120 | 31 | 6,9E-03 | 1,1E-02 | 7,5E-03 | 1,4E-04 | 0,338 | 2447 | 38 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 2,7E-04 | 0,662 | 2471 | 26 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,669 | 2803 | 32 |
| 85 | 6,3E-03 | 2,2E-02 | 1,1E-02 | 2,1E-04 | 0,337 | 1621 | 27 | 7,6E-03 | 6,1E-03 | 8,8E-03 | 1,2E-04 | 0,339 | 2756 | 42 | 1,3E-02 | 2,8E-02 | 1,7E-02 | 3,1E-04 | 0,660 | 2163 | 25 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 2,2E-04 | 0,662 | 2955 | 33 |
| 119 | 1,1E-02 | 6,9E-03 | 6,8E-03 | 1,3E-04 | 0,338 | 2578 | 33 | 7,0E-03 | 6,0E-03 | 6,2E-03 | 1,0E-04 | 0,339 | 3234 | 44 | 1,7E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,661 | 2857 | 26 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,662 | 3387 | 34 |
| 157 | 8,9E-03 | 1,2E-02 | 6,5E-03 | 1,5E-04 | 0,339 | 2251 | 34 | 8,7E-03 | 1,1E-02 | 6,4E-03 | 1,5E-04 | 0,344 | 2262 | 36 | 1,5E-02 | 2,1E-02 | 1,3E-02 | 2,6E-04 | 0,662 | 2502 | 27 | 1,6E-02 | 2,0E-02 | 1,3E-02 | 2,8E-04 | 0,662 | 2344 | 28 |
| 184 | 2,3E-02 | 5,5E-03 | 8,5E-03 | 2,0E-04 | 0,338 | 1673 | 26 | 7,7E-03 | 9,7E-03 | 7,2E-03 | 1,4E-04 | 0,338 | 2398 | 38 | 3,3E-02 | 1,0E-02 | 1,6E-02 | 3,3E-04 | 0,661 | 2031 | 23 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 2,5E-04 | 0 | | |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 7,6E-03 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,381 | 2137 | 44 | 9,8E-03 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 2,0E-04 | 0,381 | 1893 | 43 | 1,0E-02 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-04 | 0,492 | 2472 | 35 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,3E-02 | 3,3E-04 | 0,748 | 2251 | 36 |
| 7 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 9,5E-03 | 1,8E-04 | 0,388 | 2121 | 42 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 2,1E-04 | 0,391 | 1885 | 38 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 2,9E-04 | 0,749 | 2599 | 35 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 3,3E-04 | 0,748 | 2289 | 34 |
| 10 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,384 | 1984 | 39 | 1,3E-02 | 9,7E-03 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,382 | 1998 | 39 | 1,8E-02 | 2,3E-02 | 1,7E-02 | 3,1E-04 | 0,749 | 2392 | 32 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 3,1E-04 | 0,748 | 2424 | 34 |
| 13 | 6,5E-03 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,1E-04 | 0,383 | 1809 | 36 | 8,4E-03 | 1,0E-02 | 1,5E-02 | 1,8E-04 | 0,382 | 2113 | 34 | 1,3E-02 | 2,1E-02 | 2,9E-02 | 3,4E-04 | 0,748 | 2203 | 30 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 3,0E-04 | 0,749 | 2519 | 30 |
| 16 | 7,9E-03 | 7,1E-03 | 1,9E-02 | 1,8E-04 | 0,383 | 2100 | 38 | 1,2E-02 | 6,5E-03 | 9,6E-03 | 1,5E-04 | 0,389 | 2539 | 43 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 3,1E-02 | 3,2E-04 | 0,749 | 2371 | 30 | 1,8E-02 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 2,5E-04 | 0,749 | 3019 | 36 |
| 20 | 1,4E-02 | 1,0E-02 | 7,6E-03 | 1,7E-04 | 0,386 | 2245 | 36 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 9,9E-03 | 1,8E-04 | 0,381 | 2099 | 33 | 2,4E-02 | 1,7E-02 | 1,3E-02 | 2,9E-04 | 0,747 | 2566 | 30 | 1,8E-02 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 2,9E-04 | 0,748 | 2599 | 31 |
| 27 | 1,2E-02 | 9,1E-03 | 6,6E-03 | 1,5E-04 | 0,382 | 2571 | 39 | 8,1E-03 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,6E-04 | 0,382 | 2377 | 38 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 2,5E-04 | 0,750 | 2999 | 32 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 2,1E-04 | 0,619 | 2957 | 33 |
| 55 | 9,5E-03 | 6,7E-03 | 1,2E-02 | 1,5E-04 | 0,382 | 2544 | 36 | 6,2E-03 | 1,0E-02 | 6,7E-03 | 1,3E-04 | 0,382 | 3032 | 46 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,750 | 2936 | 30 | 1,2E-02 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,750 | 3394 | 37 |
| 85 | 5,7E-03 | 2,0E-02 | 9,5E-03 | 1,9E-04 | 0,371 | 1936 | 31 | 6,7E-03 | 5,4E-03 | 7,8E-03 | 1,1E-04 | 0,374 | 3456 | 51 | 1,2E-02 | 2,6E-02 | 1,5E-02 | 2,8E-04 | 0,728 | 2559 | 28 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 2,1E-04 | 0,728 | 3542 | 38 |
| 119 | 1,0E-02 | 6,4E-03 | 6,2E-03 | 1,2E-04 | 0,382 | 3117 | 39 | 6,3E-03 | 5,3E-03 | 5,6E-03 | 9,4E-05 | 0,382 | 4070 | 53 | 1,7E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,749 | 3359 | 30 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,749 | 4090 | 40 |
| 157 | 8,1E-03 | 1,1E-02 | 5,9E-03 | 1,4E-04 | 0,383 | 2749 | 40 | 7,8E-03 | 1,1E-02 | 6,0E-03 | 1,4E-04 | 0,383 | 2738 | 43 | 1,4E-02 | 2,0E-02 | 1,2E-02 | 2,5E-04 | 0,749 | 2978 | 32 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 1,2E-02 | 2,7E-04 | 0,749 | 2805 | 33 |
| 184 | 2,4E-02 | 5,0E-03 | 7,7E-03 | 2,0E-04 | 0,382 | 1887 | 29 | 7,5E-03 | 9,3E-03 | 6,9E-03 | 1,4E-04 | 0,390 | 2865 | 45 | 3,4E-02 | 9,7E-03 | 1,5E-02 | 3,2E-04 | 0,749 | 2320 | 27 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,747 | 3175 | 37 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | Moule 3 | | | | | | Moule 4 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 7,1E-03 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,423 | 2552 | 53 | 9,2E-03 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 1,9E-04 | 0,423 | 2258 | 51 | 1,5E-02 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,825 | 2853 | 43 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,3E-02 | 3,3E-04 | 0,827 | 2508 | 42 |
| 7 | 1,2E-02 | 9,8E-03 | 8,6E-03 | 1,7E-04 | 0,422 | 2555 | 51 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,422 | 2247 | 45 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 2,8E-04 | 0,825 | 2927 | 42 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 3,2E-04 | 0,826 | 2603 | 39 |
| 10 | 1,0E-02 | 1,3E-02 | 9,9E-03 | 1,8E-04 | 0,423 | 2347 | 47 | 1,3E-02 | 9,1E-03 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,421 | 2322 | 47 | 1,7E-02 | 2,3E-02 | 1,7E-02 | 3,1E-04 | 0,826 | 2672 | 38 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 3,1E-04 | 0,826 | 2680 | 40 |
| 13 | 6,2E-03 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 2,0E-04 | 0,423 | 2116 | 42 | 8,2E-03 | 9,6E-03 | 1,5E-02 | 1,8E-04 | 0,423 | 2399 | 40 | 1,3E-02 | 2,0E-02 | 2,9E-02 | 3,4E-04 | 0,827 | 2463 | 35 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 3,0E-04 | 0,825 | 2785 | 36 |
| 16 | 7,2E-03 | 6,4E-03 | 1,8E-02 | 1,7E-04 | 0,422 | 2454 | 45 | 1,1E-02 | 5,7E-03 | 8,7E-03 | 1,4E-04 | 0,422 | 3009 | 51 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 3,1E-02 | 3,2E-04 | 0,826 | 2610 | 35 | 1,8E-02 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 2,4E-04 | 0,824 | 3379 | 43 |
| 20 | 1,4E-02 | 9,9E-03 | 6,9E-03 | 1,6E-04 | 0,422 | 2573 | 43 | 1,3E-02 | 9,9E-03 | 9,7E-03 | 1,8E-04 | 0,422 | 2380 | 38 | 2,4E-02 | 1,7E-02 | 1,3E-02 | 2,9E-04 | 0,826 | 2848 | 34 | 1,8E-02 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 2,8E-04 | 0,827 | 2907 | 36 |
| 27 | 1,2E-02 | 8,5E-03 | 6,6E-03 | 1,4E-04 | 0,422 | 2935 | 46 | 8,0E-03 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 1,5E-04 | 0,422 | 2723 | 45 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 2,5E-04 | 0,826 | 3297 | 37 | 1,5E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,6E-04 | 0,826 | 3230 | 39 |
| 55 | 9,1E-03 | 6,4E-03 | 1,2E-02 | 1,5E-04 | 0,422 | 2894 | 42 | 5,9E-03 | 9,8E-03 | 6,4E-03 | 1,2E-04 | 0,421 | 3492 | 55 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 2,6E-04 | 0,827 | 3163 | 34 | 1,2E-02 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,826 | 3751 | 44 |
| 85 | 5,4E-03 | 1,9E-02 | 8,5E-03 | 1,8E-04 | 0,384 | 2167 | 36 | 6,1E-03 | 4,9E-03 | 7,1E-03 | 9,9E-05 | 0,384 | 3878 | 60 | 1,2E-02 | 2,5E-02 | 1,4E-02 | 2,7E-04 | 0,757 | 2798 | 32 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 1,4E-02 | 2,0E-04 | 0,760 | 3856 | 44 |
| 119 | 1,0E-02 | 6,3E-03 | 6,1E-03 | 1,2E-04 | 0,422 | 3516 | 46 | 6,1E-03 | 5,0E-03 | 5,5E-03 | 9,1E-05 | 0,422 | 4638 | 64 | 1,7E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,827 | 3692 | 36 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,827 | 4490 | 47 |
| 157 | 7,9E-03 | 1,1E-02 | 5,6E-03 | 1,4E-04 | 0,422 | 3113 | 48 | 7,5E-03 | 1,0E-02 | 5,6E-03 | 1,3E-04 | 0,423 | 3153 | 51 | 1,4E-02 | 2,0E-02 | 1,2E-02 | 2,5E-04 | 0,827 | 3258 | 37 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 1,3E-02 | 2,7E-04 | 0,826 | 3077 | 38 |
| 184 | 2,7E-02 | 4,8E-03 | 7,4E-03 | 2,1E-04 | 0,422 | 1998 | 34 | 7,0E-03 | 8,6E-03 | 6,4E-03 | 1,3E-04 | 0,422 | 3331 | 54 | 3,6E-02 | 9,5E-03 | 1,5E-02 | 2,0E-04 | 0,826 | 4137 | 31 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,826 | 3529 | 43 |



Annexe 36 – Résultats d’essais à 15°C et 43% d’HR – Essais à 15 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 2,8E-02 | 2,5E-02 | 2,4E-02 | 4,2E-04 | 0,425 | 1016 | 28 | 2,9E-02 | 2,4E-02 | 3,1E-02 | 4,6E-04 | 0,426 | 918 | 28 | 4,2E-02 | 3,9E-02 | 3,6E-02 | 6,3E-04 | 0,833 | 1321 | 25 | 4,3E-02 | 3,5E-02 | 4,3E-02 | 6,6E-04 | 0,833 | 1257 | 26 |
| 7 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 1,7E-02 | 2,9E-04 | 0,425 | 1478 | 32 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 3,0E-04 | 0,426 | 1425 | 31 | 3,2E-02 | 2,8E-02 | 2,7E-02 | 4,6E-04 | 0,833 | 1794 | 27 | 2,9E-02 | 2,8E-02 | 2,8E-02 | 4,6E-04 | 0,832 | 1800 | 26 |
| 10 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 2,7E-04 | 0,426 | 1606 | 31 | 1,8E-02 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 2,7E-04 | 0,426 | 1558 | 31 | 2,7E-02 | 2,8E-02 | 2,5E-02 | 4,3E-04 | 0,832 | 1933 | 26 | 2,9E-02 | 2,3E-02 | 2,7E-02 | 4,3E-04 | 0,833 | 1923 | 26 |
| 13 | 1,7E-02 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,426 | 1964 | 34 | 2,1E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,5E-04 | 0,426 | 1689 | 32 | 2,7E-02 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 3,7E-04 | 0,832 | 2234 | 28 | 3,3E-02 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 4,1E-04 | 0,832 | 2053 | 27 |
| 16 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 2,6E-04 | 0,426 | 1654 | 28 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 2,3E-02 | 2,7E-04 | 0,426 | 1562 | 28 | 2,8E-02 | 2,6E-02 | 2,4E-02 | 4,2E-04 | 0,834 | 1978 | 24 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 3,5E-02 | 4,3E-04 | 0,832 | 1934 | 24 |
| 20 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,426 | 1760 | 30 | 1,4E-02 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 2,5E-04 | 0,426 | 1730 | 30 | 2,8E-02 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 4,0E-04 | 0,832 | 2103 | 26 | 2,3E-02 | 2,7E-02 | 2,2E-02 | 3,9E-04 | 0,833 | 2127 | 26 |
| 27 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 1,8E-04 | 0,426 | 2384 | 36 | 1,1E-02 | 1,9E-02 | 1,4E-02 | 2,4E-04 | 0,426 | 1805 | 31 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 1,9E-02 | 3,2E-04 | 0,832 | 2585 | 29 | 1,8E-02 | 2,9E-02 | 2,1E-02 | 3,7E-04 | 0,833 | 2223 | 27 |
| 55 | 9,7E-03 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,7E-04 | 0,426 | 2521 | 36 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 2,0E-04 | 0,426 | 2177 | 35 | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 3,0E-04 | 0,834 | 2790 | 29 | 2,2E-02 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 3,3E-04 | 0,832 | 2545 | 29 |
| 85 | 7,8E-03 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,6E-04 | 0,425 | 2733 | 36 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 2,1E-04 | 0,425 | 2034 | 30 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 2,7E-04 | 0,831 | 3043 | 30 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 3,5E-04 | 0,831 | 2345 | 27 |
| 119 | 1,0E-02 | 1,4E-02 | 1,0E-02 | 1,9E-04 | 0,426 | 2297 | 35 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 2,1E-04 | 0,426 | 2009 | 34 | 1,8E-02 | 2,4E-02 | 1,7E-02 | 3,2E-04 | 0,833 | 2577 | 27 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 1,8E-02 | 3,5E-04 | 0,833 | 2412 | 28 |
| 157 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 7,5E-03 | 1,5E-04 | 0,426 | 2810 | 39 | 1,5E-02 | 9,5E-03 | 8,8E-03 | 1,8E-04 | 0,425 | 2367 | 37 | 1,8E-02 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 2,7E-04 | 0,833 | 3040 | 30 | 2,2E-02 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 2,9E-04 | 0,832 | 2832 | 30 |
| 184 | | | | | | | | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 6,8E-03 | 1,9E-04 | 0,426 | 2299 | 34 | | | | | | | | | | | | | | |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,418 | 1821 | 36 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 1,6E-02 | 2,5E-04 | 0,418 | 1687 | 36 | 2,6E-02 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 3,7E-04 | 0,820 | 2195 | 31 | 2,5E-02 | 2,0E-02 | 2,4E-02 | 3,8E-04 | 0,813 | 2157 | 31 |
| 7 | 9,7E-03 | 9,1E-03 | 8,9E-03 | 1,5E-04 | 0,418 | 2802 | 43 | 9,7E-03 | 9,4E-03 | 9,9E-03 | 1,6E-04 | 0,420 | 2648 | 42 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 2,7E-04 | 0,815 | 3035 | 34 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 2,7E-04 | 0,818 | 3040 | 34 |
| 10 | 9,3E-03 | 9,1E-03 | 7,9E-03 | 1,4E-04 | 0,419 | 2968 | 42 | 1,0E-02 | 7,1E-03 | 9,5E-03 | 1,5E-04 | 0,419 | 2858 | 43 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,819 | 3182 | 33 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 1,6E-02 | 2,6E-04 | 0,819 | 3209 | 34 |
| 13 | 9,4E-03 | 5,7E-03 | 6,1E-03 | 1,1E-04 | 0,418 | 3665 | 49 | 1,3E-02 | 6,6E-03 | 5,9E-03 | 1,4E-04 | 0,419 | 3066 | 46 | 1,7E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,819 | 3687 | 35 | 2,0E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-04 | 0,820 | 3417 | 36 |
| 16 | 1,0E-02 | 7,9E-03 | 8,5E-03 | 1,4E-04 | 0,417 | 2912 | 35 | 6,8E-03 | 7,2E-03 | 1,4E-02 | 1,5E-04 | 0,417 | 2698 | 37 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,6E-04 | 0,816 | 3100 | 28 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-02 | 2,7E-04 | 0,816 | 3049 | 30 |
| 20 | 1,0E-02 | 8,0E-03 | 6,6E-03 | 1,3E-04 | 0,418 | 3163 | 40 | 7,7E-03 | 1,0E-02 | 7,2E-03 | 1,4E-04 | 0,417 | 3055 | 40 | 1,8E-02 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,819 | 3396 | 31 | 1,4E-02 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,817 | 3439 | 32 |
| 27 | 5,5E-03 | 5,9E-03 | 5,2E-03 | 8,9E-05 | 0,418 | 4686 | 54 | 5,9E-03 | 1,0E-02 | 6,9E-03 | 1,3E-04 | 0,420 | 3322 | 43 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,818 | 4350 | 36 | 1,1E-02 | 1,7E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,818 | 3687 | 34 |
| 55 | 4,8E-03 | 6,0E-03 | 5,0E-03 | 8,4E-05 | 0,417 | 4942 | 52 | 7,1E-03 | 5,9E-03 | 5,5E-03 | 1,0E-04 | 0,417 | 4143 | 51 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 1,7E-04 | 0,817 | 4757 | 36 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,9E-04 | 0,815 | 4305 | 38 |
| 85 | 3,9E-03 | 5,0E-03 | 5,4E-03 | 7,7E-05 | 0,417 | 5431 | 52 | 8,6E-03 | 7,0E-03 | 5,4E-03 | 1,1E-04 | 0,416 | 3621 | 37 | 8,2E-03 | 9,8E-03 | 1,1E-02 | 1,6E-04 | 0,815 | 5227 | 36 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 2,0E-04 | 0,810 | 4072 | 30 |
| 119 | 5,2E-03 | 8,0E-03 | 4,8E-03 | 9,7E-05 | 0,419 | 4338 | 48 | 6,8E-03 | 7,8E-03 | 5,2E-03 | 1,1E-04 | 0,418 | 3864 | 44 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 9,7E-03 | 1,9E-04 | 0,818 | 4218 | 33 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 2,0E-04 | 0,819 | 4076 | 33 |
| 157 | 4,7E-03 | 5,5E-03 | 3,8E-03 | 7,5E-05 | 0,419 | 5597 | 60 | 7,8E-03 | 4,5E-03 | 4,5E-03 | 9,2E-05 | 0,418 | 4568 | 51 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 8,9E-03 | 1,6E-04 | 0,822 | 5252 | 38 | 1,4E-02 | 8,3E-03 | 8,9E-03 | 1,7E-04 | 0,818 | 4863 | 37 |
| 184 | | | | | | | | 6,8E-03 | 8,6E-03 | 3,8E-03 | 1,1E-04 | 0,415 | 3952 | 43 | | | | | | | | | | | | | | |

| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,0E-02 | 8,7E-03 | 8,0E-03 | 1,4E-04 | 0,339 | 2346 | 44 | 1,0E-02 | 7,7E-03 | 1,0E-02 | 1,5E-04 | 0,340 | 2216 | 43 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 2,4E-04 | 0,662 | 2734 | 36 | 1,6E-02 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 2,4E-04 | 0,701 | 2885 | 37 |
| 7 | 6,1E-03 | 5,6E-03 | 5,6E-03 | 9,3E-05 | 0,338 | 3643 | 56 | 5,9E-03 | 5,6E-03 | 6,0E-03 | 9,6E-05 | 0,338 | 3526 | 56 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,690 | 3937 | 41 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,671 | 3840 | 43 |
| 10 | 5,7E-03 | 5,7E-03 | 4,8E-03 | 8,7E-05 | 0,339 | 3894 | 55 | 6,5E-03 | 4,4E-03 | 5,8E-03 | 9,1E-05 | 0,339 | 3733 | 57 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 9,5E-03 | 1,7E-04 | 0,662 | 3910 | 40 | 1,2E-02 | 8,6E-03 | 1,0E-02 | 1,7E-04 | 0,662 | 3966 | 42 |
| 13 | 6,0E-03 | 3,7E-03 | 3,8E-03 | 7,2E-05 | 0,339 | 4677 | 65 | 7,7E-03 | 4,0E-03 | 3,6E-03 | 8,4E-05 | 0,338 | 4023 | 63 | 1,1E-02 | 7,9E-03 | 8,3E-03 | 1,5E-04 | 0,662 | 4484 | 43 | 1,3E-02 | 7,8E-03 | 7,7E-03 | 1,6E-04 | 0,662 | 4259 | 45 |
| 16 | 6,6E-03 | 5,2E-03 | 5,7E-03 | 9,4E-05 | 0,338 | 3613 | 43 | 4,3E-03 | 4,5E-03 | 9,6E-03 | 1,0E-04 | 0,338 | 3353 | 46 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,674 | 3777 | 32 | 9,1E-03 | 8,2E-03 | 1,6E-02 | 1,8E-04 | 0,678 | 3770 | 35 |
| 20 | 6,5E-03 | 4,9E-03 | 4,0E-03 | 8,3E-05 | 0,338 | 4060 | 50 | 5,0E-03 | 6,3E-03 | 4,6E-03 | 8,7E-05 | 0,338 | 3894 | 51 | 1,2E-02 | 9,7E-03 | 8,3E-03 | 1,6E-04 | 0,662 | 4080 | 37 | 9,3E-03 | 1,1E-02 | 8,7E-03 | 1,6E-04 | 0,666 | 4240 | 39 |
| 27 | 3,4E-03 | 3,6E-03 | 3,3E-03 | 5,5E-05 | 0,338 | 6119 | 73 | 3,7E-03 | 6,3E-03 | 4,2E-03 | 7,7E-05 | 0,338 | 4374 | 57 | 8,0E-03 | 7,8E-03 | 7,3E-03 | 1,2E-04 | 0,664 | 5319 | 44 | 7,6E-03 | 1,2E-02 | 7,6E-03 | 1,5E-04 | 0,663 | 4536 | 42 |
| 55 | 3,0E-03 | 3,8E-03 | 3,2E-03 | 5,4E-05 | 0,338 | 6278 | 69 | 4,5E-03 | 3,7E-03 | 3,5E-03 | 6,4E-05 | 0,338 | 5264 | 70 | 6,6E-03 | 8,1E-03 | 6,5E-03 | 1,1E-04 | 0,669 | 5844 | 44 | 8,9E-03 | 7,3E-03 | 6,9E-03 | 1,3E-04 | 0,686 | 5432 | 47 |
| 85 | 2,9E-03 | 3,1E-03 | 3,5E-03 | 5,1E-05 | 0,361 | 7017 | 69 | 6,0E-03 | 4,5E-03 | 3,5E-03 | 7,6E-05 | 0,340 | 4478 | 44 | 5,6E-03 | 6,5E-03 | 7,5E-03 | 1,1E-04 | 0,671 | 6359 | 43 | 8,3E-03 | 7,0E-03 | 6,8E-03 | 1,2E-04 | 0,630 | 5235 | 47 |
| 119 | 3,1E-03 | 5,2E-03 | 3,0E-03 | 6,1E-05 | 0,338 | 5514 | 62 | 4,5E-03 | 5,0E-03 | 3,2E-03 | 6,9E-05 | 0,339 | 4894 | 54 | 7,5E-03 | 1,1E-02 | 6,5E-03 | 1,3E-04 | 0,664 | 5015 | 39 | 9,0E-03 | 9,0E-03 | 6,7E-03 | 1,4E-04 | 0,667 | 4936 | 39 |
| 157 | 3,0E-03 | 3,4E-03 | 2,8E-03 | 4,9E-05 | 0,338 | 6858 | 81 | 5,1E-03 | 2,9E-03 | 2,9E-03 | 6,0E-05 | 0,338 | 5684 | 65 | 6,6E-03 | 6,5E-03 | 5,8E-03 | 1,0E-04 | 0,662 | 6470 | 47 | 9,5E-03 | 5,5E-03 | 5,9E-03 | 1,1E-04 | 0,664 | 5811 | 44 |
| 184 | | | | | | | | 4,5E-03 | 6,0E-03 | 3,3E-03 | 7,6E-05 | 0,353 | 4680 | 53 | | | | | | | | | | | | | | |



| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|-----|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 8,8E-03 | 7,5E-03 | 7,0E-03 | 1,3E-04 | 0,383 | 3047 | 53 | 8,9E-03 | 6,8E-03 | 8,4E-03 | 1,3E-04 | 0,382 | 2909 | 53 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,748 | 3445 | 42 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,752 | 3509 | 44 |
| 7 | 5,3E-03 | 5,1E-03 | 5,1E-03 | 8,4E-05 | 0,382 | 4559 | 72 | 5,5E-03 | 5,3E-03 | 5,6E-03 | 9,0E-05 | 0,382 | 4233 | 72 | 9,8E-03 | 1,0E-02 | 9,7E-03 | 1,6E-04 | 0,752 | 4720 | 50 | 9,9E-03 | 9,3E-03 | 9,8E-03 | 1,6E-04 | 0,751 | 4751 | 52 |
| 10 | 5,4E-03 | 5,4E-03 | 4,8E-03 | 8,3E-05 | 0,382 | 4577 | 69 | 5,8E-03 | 4,5E-03 | 5,4E-03 | 8,6E-05 | 0,382 | 4432 | 73 | 9,7E-03 | 1,1E-02 | 8,8E-03 | 1,6E-04 | 0,749 | 4793 | 48 | 1,1E-02 | 8,0E-03 | 9,1E-03 | 1,5E-04 | 0,749 | 4923 | 53 |
| 13 | 5,5E-03 | 4,3E-03 | 4,1E-03 | 7,5E-05 | 0,382 | 5113 | 82 | 6,9E-03 | 4,7E-03 | 4,5E-03 | 8,7E-05 | 0,381 | 4357 | 81 | 1,0E-02 | 7,4E-03 | 7,8E-03 | 1,4E-04 | 0,749 | 5455 | 52 | 1,2E-02 | 7,2E-03 | 7,3E-03 | 1,4E-04 | 0,748 | 5247 | 56 |
| 16 | 6,0E-03 | 4,7E-03 | 5,3E-03 | 8,6E-05 | 0,381 | 4444 | 53 | 4,0E-03 | 4,4E-03 | 9,0E-03 | 9,5E-05 | 0,382 | 4012 | 57 | 1,1E-02 | 9,2E-03 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,751 | 4470 | 38 | 8,7E-03 | 7,5E-03 | 1,5E-02 | 1,7E-04 | 0,751 | 4436 | 43 |
| 20 | 6,2E-03 | 4,6E-03 | 4,1E-03 | 8,0E-05 | 0,381 | 4768 | 62 | 4,5E-03 | 5,5E-03 | 4,4E-03 | 7,8E-05 | 0,382 | 4863 | 65 | 1,2E-02 | 9,1E-03 | 7,7E-03 | 1,5E-04 | 0,749 | 4903 | 44 | 8,5E-03 | 9,7E-03 | 8,0E-03 | 1,4E-04 | 0,750 | 5241 | 48 |
| 27 | 3,9E-03 | 3,8E-03 | 3,7E-03 | 6,1E-05 | 0,381 | 6227 | 91 | 4,3E-03 | 5,8E-03 | 4,5E-03 | 7,9E-05 | 0,385 | 4848 | 73 | 7,7E-03 | 7,3E-03 | 6,8E-03 | 1,2E-04 | 0,751 | 6408 | 54 | 7,2E-03 | 1,1E-02 | 7,0E-03 | 1,4E-04 | 0,750 | 5542 | 52 |
| 55 | 3,4E-03 | 3,7E-03 | 3,5E-03 | 5,7E-05 | 0,383 | 6721 | 86 | 4,2E-03 | 4,1E-03 | 3,9E-03 | 6,7E-05 | 0,382 | 5702 | 87 | 6,3E-03 | 7,8E-03 | 6,1E-03 | 1,1E-04 | 0,751 | 6910 | 53 | 8,3E-03 | 6,8E-03 | 6,4E-03 | 1,2E-04 | 0,752 | 6398 | 58 |
| 85 | 2,0E-03 | 2,1E-03 | 2,4E-03 | 3,5E-05 | 0,247 | 7050 | 83 | 5,7E-03 | 4,0E-03 | 3,8E-03 | 7,4E-05 | 0,374 | 5074 | 54 | 5,3E-03 | 6,2E-03 | 7,4E-03 | 1,0E-04 | 0,730 | 7223 | 51 | 5,5E-03 | 4,7E-03 | 4,2E-03 | 7,9E-05 | 0,439 | 5568 | 54 |
| 119 | 3,7E-03 | 5,0E-03 | 3,4E-03 | 6,5E-05 | 0,382 | 5869 | 76 | 4,1E-03 | 4,5E-03 | 3,4E-03 | 6,5E-05 | 0,382 | 5861 | 66 | 7,2E-03 | 1,0E-02 | 6,2E-03 | 1,3E-04 | 0,750 | 5893 | 47 | 8,4E-03 | 8,4E-03 | 6,4E-03 | 1,3E-04 | 0,750 | 5895 | 46 |
| 157 | 3,4E-03 | 3,5E-03 | 3,7E-03 | 5,7E-05 | 0,381 | 6728 | 100 | 4,7E-03 | 3,4E-03 | 3,5E-03 | 6,4E-05 | 0,382 | 6008 | 81 | 6,5E-03 | 6,5E-03 | 5,9E-03 | 1,0E-04 | 0,748 | 7342 | 57 | 9,0E-03 | 5,2E-03 | 5,8E-03 | 1,1E-04 | 0,751 | 6847 | 53 |
| 184 | | | | | | | | 4,2E-03 | 5,9E-03 | 4,1E-03 | 7,7E-05 | 0,384 | 4972 | 65 | | | | | | | | | | | | | | |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|------|-----|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 8,1E-03 | 7,0E-03 | 6,3E-03 | 1,2E-04 | 0,422 | 3667 | 64 | 8,2E-03 | 6,1E-03 | 7,6E-03 | 1,2E-04 | 0,422 | 3540 | 64 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-04 | 0,828 | 3872 | 50 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,828 | 3967 | 52 |
| 7 | 5,4E-03 | 4,9E-03 | 5,2E-03 | 8,3E-05 | 0,422 | 5072 | 86 | 5,3E-03 | 5,3E-03 | 5,5E-03 | 8,8E-05 | 0,422 | 4786 | 88 | 9,5E-03 | 9,9E-03 | 9,6E-03 | 1,6E-04 | 0,827 | 5316 | 60 | 9,7E-03 | 8,9E-03 | 9,5E-03 | 1,5E-04 | 0,825 | 5387 | 63 |
| 10 | 5,2E-03 | 5,0E-03 | 5,1E-03 | 8,2E-05 | 0,423 | 5159 | 83 | 5,5E-03 | 5,0E-03 | 5,5E-03 | 8,8E-05 | 0,422 | 4804 | 88 | 9,5E-03 | 1,0E-02 | 8,5E-03 | 1,5E-04 | 0,827 | 5421 | 58 | 1,1E-02 | 7,7E-03 | 8,7E-03 | 1,5E-04 | 0,828 | 5556 | 63 |
| 13 | 5,3E-03 | 5,1E-03 | 4,6E-03 | 8,1E-05 | 0,422 | 5226 | 97 | 6,5E-03 | 5,2E-03 | 5,2E-03 | 9,2E-05 | 0,423 | 4573 | 96 | 1,1E-02 | 7,4E-03 | 7,7E-03 | 1,4E-04 | 0,827 | 5977 | 62 | 1,2E-02 | 7,1E-03 | 7,3E-03 | 1,4E-04 | 0,827 | 5798 | 67 |
| 16 | 5,8E-03 | 4,6E-03 | 5,2E-03 | 8,4E-05 | 0,422 | 5004 | 63 | 4,5E-03 | 4,8E-03 | 8,6E-03 | 9,8E-05 | 0,422 | 4294 | 69 | 1,2E-02 | 9,3E-03 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,827 | 4753 | 45 | 8,7E-03 | 7,3E-03 | 1,5E-02 | 1,7E-04 | 0,827 | 4889 | 51 |
| 20 | 6,1E-03 | 4,8E-03 | 4,4E-03 | 8,2E-05 | 0,422 | 5140 | 75 | 4,5E-03 | 5,4E-03 | 4,6E-03 | 7,9E-05 | 0,421 | 5333 | 79 | 1,2E-02 | 9,5E-03 | 7,6E-03 | 1,5E-04 | 0,826 | 5337 | 52 | 8,7E-03 | 9,7E-03 | 8,0E-03 | 1,4E-04 | 0,827 | 5737 | 58 |
| 27 | 4,6E-03 | 4,3E-03 | 4,2E-03 | 7,0E-05 | 0,422 | 6014 | 104 | 4,7E-03 | 5,4E-03 | 4,8E-03 | 8,1E-05 | 0,423 | 5200 | 88 | 7,7E-03 | 7,3E-03 | 6,8E-03 | 1,2E-04 | 0,826 | 7026 | 65 | 7,2E-03 | 1,1E-02 | 6,7E-03 | 1,3E-04 | 0,827 | 6174 | 62 |
| 55 | 3,9E-03 | 4,0E-03 | 4,1E-03 | 6,5E-05 | 0,422 | 6508 | 99 | 4,5E-03 | 4,6E-03 | 4,5E-03 | 7,4E-05 | 0,422 | 5673 | 101 | 6,4E-03 | 7,9E-03 | 6,1E-03 | 1,1E-04 | 0,826 | 7502 | 63 | 8,5E-03 | 6,7E-03 | 6,4E-03 | 1,2E-04 | 0,827 | 7003 | 69 |
| 85 | 3,8E-03 | 3,2E-03 | 3,4E-03 | 5,6E-05 | 0,381 | 6840 | 97 | 5,5E-03 | 3,8E-03 | 4,1E-03 | 7,3E-05 | 0,382 | 5251 | 65 | 5,5E-03 | 6,3E-03 | 7,6E-03 | 1,0E-04 | 0,767 | 7363 | 58 | 2,9E-03 | 2,5E-03 | 2,1E-03 | 4,1E-05 | 0,234 | 5734 | 29 |
| 119 | 4,3E-03 | 4,9E-03 | 4,0E-03 | 7,1E-05 | 0,422 | 5938 | 90 | 4,2E-03 | 4,6E-03 | 4,0E-03 | 7,0E-05 | 0,422 | 6030 | 79 | 7,2E-03 | 1,0E-02 | 6,2E-03 | 1,3E-04 | 0,828 | 6459 | 56 | 8,8E-03 | 8,6E-03 | 6,4E-03 | 1,3E-04 | 0,827 | 6353 | 55 |
| 157 | 4,0E-03 | 4,0E-03 | 4,3E-03 | 6,6E-05 | 0,422 | 6378 | 111 | 5,0E-03 | 3,9E-03 | 4,2E-03 | 7,1E-05 | 0,422 | 5921 | 93 | 6,5E-03 | 6,5E-03 | 5,9E-03 | 1,0E-04 | 0,827 | 8120 | 68 | 9,5E-03 | 5,3E-03 | 5,8E-03 | 1,1E-04 | 0,827 | 7339 | 62 |
| 184 | | | | | | | | 4,2E-03 | 5,9E-03 | 4,8E-03 | 8,1E-05 | 0,422 | 5202 | 77 | | | | | | | | | | | | | | |



Annexe 37 – Résultats d'essais à 15°C et 43% d'HR – Essais à 20 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 2,1E-02 | 2,4E-02 | 3,4E-02 | 4,2E-04 | 0,426 | 1003 | 27 | 2,7E-02 | 2,0E-02 | 2,7E-02 | 4,1E-04 | 0,425 | 1049 | 28 | 3,2E-02 | 3,6E-02 | 4,8E-02 | 6,2E-04 | 0,832 | 1341 | 24 | 4,0E-02 | 3,2E-02 | 3,9E-02 | 6,0E-04 | 0,833 | 1381 | 25 |
| 7 | 2,4E-02 | 1,7E-02 | 2,1E-02 | 3,4E-04 | 0,426 | 1269 | 27 | 2,5E-02 | 2,1E-02 | 2,3E-02 | 3,8E-04 | 0,426 | 1132 | 25 | 3,5E-02 | 2,8E-02 | 3,2E-02 | 5,1E-04 | 0,833 | 1631 | 24 | 3,6E-02 | 3,3E-02 | 3,4E-02 | 5,6E-04 | 0,833 | 1481 | 23 |
| 10 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 3,0E-04 | 0,426 | 1403 | 27 | 2,3E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,9E-04 | 0,427 | 1465 | 28 | 3,2E-02 | 2,8E-02 | 2,8E-02 | 4,7E-04 | 0,832 | 1766 | 24 | 3,4E-02 | 2,6E-02 | 2,5E-02 | 4,6E-04 | 0,834 | 1803 | 24 |
| 13 | 1,4E-02 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 2,5E-04 | 0,426 | 1704 | 30 | 1,9E-02 | 1,4E-02 | 1,7E-02 | 2,7E-04 | 0,426 | 1576 | 30 | 2,2E-02 | 2,5E-02 | 2,5E-02 | 3,9E-04 | 0,833 | 2138 | 25 | 2,9E-02 | 2,2E-02 | 2,6E-02 | 4,2E-04 | 0,833 | 1963 | 26 |
| 16 | 2,0E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 2,6E-04 | 0,426 | 1633 | 29 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 2,7E-04 | 0,426 | 1554 | 28 | 3,0E-02 | 2,1E-02 | 2,6E-02 | 4,1E-04 | 0,832 | 2032 | 25 | 2,7E-02 | 2,5E-02 | 2,5E-02 | 4,3E-04 | 0,833 | 1957 | 24 |
| 20 | 1,8E-02 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-04 | 0,426 | 1778 | 31 | 1,3E-02 | 1,9E-02 | 1,3E-02 | 2,5E-04 | 0,427 | 1724 | 30 | 2,8E-02 | 2,4E-02 | 2,0E-02 | 3,8E-04 | 0,834 | 2170 | 26 | 2,2E-02 | 2,8E-02 | 2,2E-02 | 3,9E-04 | 0,833 | 2112 | 25 |
| 27 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 2,3E-04 | 0,426 | 1821 | 31 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 2,6E-04 | 0,426 | 1663 | 28 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 2,4E-02 | 3,7E-04 | 0,832 | 2257 | 25 | 2,2E-02 | 2,9E-02 | 2,8E-02 | 4,3E-04 | 0,833 | 1928 | 25 |
| 55 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 8,8E-03 | 1,7E-04 | 0,426 | 2480 | 37 | 1,5E-02 | 1,4E-02 | 9,5E-03 | 2,1E-04 | 0,426 | 2031 | 33 | 1,7E-02 | 2,1E-02 | 1,6E-02 | 2,9E-04 | 0,833 | 2857 | 29 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 1,6E-02 | 3,5E-04 | 0,833 | 2412 | 28 |
| 85 | 1,0E-02 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 2,4E-04 | 0,425 | 1740 | 30 | 1,1E-02 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-04 | 0,425 | 2003 | 34 | 1,8E-02 | 3,1E-02 | 2,5E-02 | 4,0E-04 | 0,831 | 2066 | 24 | 1,9E-02 | 2,7E-02 | 2,0E-02 | 3,6E-04 | 0,831 | 2322 | 27 |
| 119 | 7,6E-03 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,8E-04 | 0,426 | 2433 | 33 | 7,2E-03 | 9,2E-03 | 1,1E-02 | 1,5E-04 | 0,426 | 2843 | 38 | 1,4E-02 | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 2,9E-04 | 0,833 | 2900 | 28 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,5E-04 | 0,832 | 3277 | 31 |
| 157 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 9,1E-03 | 1,9E-04 | 0,426 | 2270 | 32 | 1,5E-02 | 1,0E-02 | 8,5E-03 | 1,8E-04 | 0,426 | 2315 | 34 | 2,4E-02 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 3,2E-04 | 0,832 | 2639 | 26 | 2,4E-02 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 3,0E-04 | 0,831 | 2757 | 28 |
| 184 | | | | | | | | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 2,0E-04 | 0,426 | 2081 | 30 | | | | | | | | | | | | | | |

| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,0E-02 | 2,4E-04 | 0,420 | 1768 | 34 | 1,6E-02 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 2,2E-04 | 0,420 | 1887 | 36 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 2,9E-02 | 3,8E-04 | 0,821 | 2175 | 30 | 2,4E-02 | 1,9E-02 | 2,3E-02 | 3,6E-04 | 0,824 | 2284 | 31 |
| 7 | 1,4E-02 | 9,0E-03 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,420 | 2178 | 34 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 2,2E-04 | 0,420 | 1888 | 31 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 2,1E-02 | 3,2E-04 | 0,822 | 2595 | 29 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 3,5E-04 | 0,821 | 2320 | 28 |
| 10 | 1,2E-02 | 9,4E-03 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,420 | 2414 | 35 | 1,3E-02 | 7,9E-03 | 8,8E-03 | 1,6E-04 | 0,421 | 2575 | 38 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,821 | 2804 | 29 | 2,1E-02 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 2,8E-04 | 0,824 | 2902 | 31 |
| 13 | 7,6E-03 | 8,3E-03 | 8,7E-03 | 1,3E-04 | 0,420 | 3170 | 43 | 1,0E-02 | 7,2E-03 | 9,0E-03 | 1,5E-04 | 0,419 | 2866 | 43 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,6E-02 | 2,4E-04 | 0,815 | 3435 | 32 | 1,8E-02 | 1,3E-02 | 1,6E-02 | 2,6E-04 | 0,820 | 3206 | 34 |
| 16 | 1,1E-02 | 6,5E-03 | 8,9E-03 | 1,4E-04 | 0,419 | 2899 | 38 | 9,8E-03 | 9,1E-03 | 9,1E-03 | 1,5E-04 | 0,418 | 2729 | 38 | 1,9E-02 | 1,3E-02 | 1,5E-02 | 2,5E-04 | 0,820 | 3251 | 30 | 1,8E-02 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 2,6E-04 | 0,819 | 3122 | 31 |
| 20 | 1,0E-02 | 8,0E-03 | 6,3E-03 | 1,3E-04 | 0,419 | 3216 | 42 | 7,0E-03 | 1,1E-02 | 7,3E-03 | 1,4E-04 | 0,419 | 3079 | 42 | 1,7E-02 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 2,4E-04 | 0,823 | 3471 | 32 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 1,4E-02 | 2,4E-04 | 0,820 | 3386 | 33 |
| 27 | 7,2E-03 | 6,9E-03 | 9,6E-03 | 1,3E-04 | 0,419 | 3286 | 40 | 7,2E-03 | 9,8E-03 | 8,9E-03 | 1,4E-04 | 0,417 | 2950 | 41 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,5E-02 | 2,2E-04 | 0,821 | 3691 | 31 | 1,4E-02 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 2,5E-04 | 0,819 | 3214 | 32 |
| 55 | 5,0E-03 | 6,9E-03 | 4,1E-03 | 8,7E-05 | 0,418 | 4821 | 54 | 7,8E-03 | 7,6E-03 | 4,9E-03 | 1,1E-04 | 0,417 | 3764 | 49 | 9,6E-03 | 1,3E-02 | 8,7E-03 | 1,7E-04 | 0,820 | 4802 | 37 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 9,7E-03 | 2,0E-04 | 0,817 | 3990 | 36 |
| 85 | 5,2E-03 | 1,2E-02 | 8,4E-03 | 1,4E-04 | 0,417 | 3056 | 39 | 5,6E-03 | 8,2E-03 | 6,2E-03 | 1,1E-04 | 0,417 | 3813 | 48 | 1,1E-02 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 2,5E-04 | 0,816 | 3276 | 30 | 1,1E-02 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-04 | 0,816 | 3844 | 34 |
| 119 | 3,7E-03 | 6,4E-03 | 7,9E-03 | 9,7E-05 | 0,419 | 4324 | 43 | 3,6E-03 | 4,6E-03 | 5,5E-03 | 7,5E-05 | 0,419 | 5579 | 56 | 7,5E-03 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,7E-04 | 0,820 | 4748 | 33 | 6,7E-03 | 9,0E-03 | 1,0E-02 | 1,4E-04 | 0,819 | 5729 | 38 |
| 157 | 8,2E-03 | 6,4E-03 | 4,6E-03 | 1,0E-04 | 0,418 | 4055 | 41 | 8,5E-03 | 4,9E-03 | 4,1E-03 | 9,6E-05 | 0,418 | 4363 | 45 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 9,7E-03 | 2,0E-04 | 0,816 | 4177 | 30 | 1,5E-02 | 9,2E-03 | 8,5E-03 | 1,8E-04 | 0,816 | 4542 | 33 |
| 184 | | | | | | | | 7,9E-03 | 7,7E-03 | 5,5E-03 | 1,2E-04 | 0,418 | 3625 | 35 | | | | | | | | | | | | | | |

| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 7,3E-03 | 8,0E-03 | 1,2E-02 | 1,5E-04 | 0,338 | 2279 | 42 | 9,6E-03 | 6,6E-03 | 8,8E-03 | 1,4E-04 | 0,338 | 2485 | 46 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 1,9E-02 | 2,5E-04 | 0,663 | 2703 | 35 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 2,3E-04 | 0,663 | 2887 | 37 |
| 7 | 8,7E-03 | 5,5E-03 | 8,4E-03 | 1,2E-04 | 0,339 | 2780 | 42 | 8,7E-03 | 7,9E-03 | 9,2E-03 | 1,4E-04 | 0,338 | 2399 | 38 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 2,1E-04 | 0,663 | 3184 | 35 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 2,3E-04 | 0,662 | 2858 | 33 |
| 10 | 7,8E-03 | 5,8E-03 | 6,8E-03 | 1,1E-04 | 0,338 | 3085 | 44 | 8,0E-03 | 4,9E-03 | 5,5E-03 | 1,0E-04 | 0,339 | 3375 | 49 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,662 | 3456 | 35 | 1,3E-02 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 1,8E-04 | 0,663 | 3648 | 38 |
| 13 | 4,7E-03 | 5,1E-03 | 5,4E-03 | 8,1E-05 | 0,339 | 4156 | 58 | 6,5E-03 | 4,4E-03 | 5,6E-03 | 9,0E-05 | 0,338 | 3745 | 58 | 9,1E-03 | 9,9E-03 | 1,1E-02 | 1,6E-04 | 0,685 | 4304 | 40 | 1,2E-02 | 8,8E-03 | 1,0E-02 | 1,7E-04 | 0,663 | 3952 | 42 |
| 16 | 7,5E-03 | 4,1E-03 | 5,5E-03 | 9,2E-05 | 0,338 | 3691 | 48 | 6,3E-03 | 5,7E-03 | 5,6E-03 | 9,7E-05 | 0,338 | 3500 | 50 | 1,3E-02 | 8,6E-03 | 9,9E-03 | 1,7E-04 | 0,662 | 3950 | 36 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 9,6E-03 | 1,7E-04 | 0,662 | 3803 | 38 |
| 20 | 6,3E-03 | 5,2E-03 | 3,9E-03 | 8,3E-05 | 0,338 | 4083 | 54 | 4,3E-03 | 6,6E-03 | 4,6E-03 | 8,4E-05 | 0,338 | 4005 | 56 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 7,5E-03 | 1,6E-04 | 0,662 | 4248 | 39 | 8,5E-03 | 1,1E-02 | 9,2E-03 | 1,6E-04 | 0,662 | 4175 | 41 |
| 27 | 4,6E-03 | 4,2E-03 | 6,1E-03 | 8,0E-05 | 0,338 | 4220 | 51 | 4,7E-03 | 6,2E-03 | 5,6E-03 | 9,0E-05 | 0,338 | 3761 | 54 | 9,7E-03 | 7,9E-03 | 9,6E-03 | 1,5E-04 | 0,663 | 4522 | 38 | 9,3E-03 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,7E-04 | 0,662 | 3970 | 39 |
| 55 | 3,1E-03 | 4,5E-03 | 3,0E-03 | 5,7E-05 | 0,338 | 5942 | 74 | 5,0E-03 | 4,8E-03 | 3,5E-03 | 7,3E-05 | 0,338 | 4649 | 66 | 6,2E-03 | 9,1E-03 | 5,6E-03 | 1,1E-04 | 0,662 | 5884 | 46 | 9,2E-03 | 9,2E-03 | 6,5E-03 | 1,4E-04 | 0,669 | 4921 | 45 |
| 85 | 3,2E-03 | 7,7E-03 | 5,4E-03 | 8,8E-05 | 0,337 | 3831 | 47 | 3,5E-03 | 5,1E-03 | 3,9E-03 | 6,8E-05 | 0,337 | 4947 | 64 | 7,2E-03 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,664 | 3975 | 35 | 7,8E-03 | 9,8E-03 | 8,1E-03 | 1,4E-04 | 0,664 | 4724 | 42 |
| 119 | 2,9E-03 | 4,2E-03 | 5,3E-03 | 6,7E-05 | 0,338 | 5047 | 54 | 2,8E-03 | 2,9E-03 | 3,5E-03 | 5,0E-05 | 0,338 | 6714 | 75 | 5,0E-03 | 7,7E-03 | 9,3E-03 | 1,2E-04 | 0,661 | 5590 | 39 | 4,3E-03 | 6,1E-03 | 7,2E-03 | 9,6E-05 | 0,662 | 6884 | 47 |
| 157 | 5,6E-03 | 4,2E-03 | 3,0E-03 | 6,9E-05 | 0,338 | 4910 | 51 | 5,6E-03 | 3,1E-03 | 2,7E-03 | 6,2E-05 | 0,338 | 5415 | 58 | 1,1E-02 | 7,7E-03 | 6,6E-03 | 1,3E-04 | 0,680 | 5047 | 36 | 1,1E-02 | 6,1E-03 | 5,8E-03 | 1,2E-04 | 0,684 | 5554 | 39 |
| 184 | | | | | | | | 5,3E-03 | 5,4E-03 | 3,5E-03 | 7,7E-05 | 0,338 | 4391 | 41 | | | | | | | | | | | | | | |



| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 6,8E-03 | 7,3E-03 | 1,1E-02 | 1,3E-04 | 0,382 | 2838 | 51 | 8,7E-03 | 6,3E-03 | 7,9E-03 | 1,3E-04 | 0,386 | 3085 | 57 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,7E-02 | 2,2E-04 | 0,748 | 3333 | 41 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,748 | 3551 | 45 |
| 7 | 7,9E-03 | 5,5E-03 | 7,9E-03 | 1,1E-04 | 0,387 | 3383 | 52 | 7,8E-03 | 7,4E-03 | 8,6E-03 | 1,3E-04 | 0,384 | 2944 | 47 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,748 | 3863 | 41 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,749 | 3534 | 39 |
| 10 | 7,3E-03 | 5,7E-03 | 6,5E-03 | 1,1E-04 | 0,393 | 3732 | 54 | 7,4E-03 | 5,1E-03 | 5,3E-03 | 9,7E-05 | 0,394 | 4051 | 63 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,748 | 4184 | 42 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 9,6E-03 | 1,7E-04 | 0,756 | 4371 | 46 |
| 13 | 4,8E-03 | 4,8E-03 | 5,2E-03 | 7,9E-05 | 0,383 | 4818 | 74 | 5,9E-03 | 4,7E-03 | 5,1E-03 | 8,6E-05 | 0,382 | 4453 | 74 | 8,6E-03 | 9,2E-03 | 9,9E-03 | 1,5E-04 | 0,752 | 5059 | 49 | 1,1E-02 | 8,3E-03 | 9,3E-03 | 1,5E-04 | 0,750 | 4869 | 52 |
| 16 | 7,0E-03 | 4,2E-03 | 4,9E-03 | 8,6E-05 | 0,381 | 4424 | 59 | 5,9E-03 | 5,3E-03 | 5,1E-03 | 8,9E-05 | 0,381 | 4288 | 63 | 1,2E-02 | 8,4E-03 | 9,0E-03 | 1,6E-04 | 0,749 | 4736 | 44 | 1,1E-02 | 9,7E-03 | 8,5E-03 | 1,6E-04 | 0,751 | 4704 | 47 |
| 20 | 5,8E-03 | 5,1E-03 | 4,3E-03 | 8,1E-05 | 0,382 | 4686 | 68 | 4,6E-03 | 5,9E-03 | 4,5E-03 | 8,2E-05 | 0,381 | 4652 | 72 | 1,1E-02 | 9,9E-03 | 7,5E-03 | 1,5E-04 | 0,749 | 4956 | 47 | 8,2E-03 | 1,0E-02 | 8,8E-03 | 1,5E-04 | 0,749 | 5040 | 51 |
| 27 | 4,5E-03 | 4,1E-03 | 5,6E-03 | 7,6E-05 | 0,382 | 5021 | 63 | 4,4E-03 | 5,4E-03 | 5,0E-03 | 8,1E-05 | 0,382 | 4732 | 69 | 9,5E-03 | 7,6E-03 | 8,9E-03 | 1,4E-04 | 0,749 | 5343 | 46 | 8,9E-03 | 9,8E-03 | 9,3E-03 | 1,5E-04 | 0,749 | 4907 | 48 |
| 55 | 3,6E-03 | 4,4E-03 | 3,8E-03 | 6,4E-05 | 0,381 | 5984 | 92 | 4,6E-03 | 4,4E-03 | 4,1E-03 | 7,2E-05 | 0,382 | 5319 | 84 | 6,0E-03 | 9,0E-03 | 5,6E-03 | 1,1E-04 | 0,748 | 6769 | 56 | 8,5E-03 | 8,6E-03 | 6,1E-03 | 1,3E-04 | 0,751 | 5921 | 56 |
| 85 | 3,6E-03 | 6,7E-03 | 5,0E-03 | 8,3E-05 | 0,374 | 4520 | 58 | 3,9E-03 | 4,4E-03 | 3,6E-03 | 6,5E-05 | 0,373 | 5703 | 79 | 6,7E-03 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,5E-04 | 0,728 | 4746 | 41 | 7,2E-03 | 8,7E-03 | 7,7E-03 | 1,3E-04 | 0,727 | 5650 | 50 |
| 119 | 3,8E-03 | 4,0E-03 | 5,1E-03 | 7,0E-05 | 0,382 | 5488 | 68 | 3,8E-03 | 3,2E-03 | 3,3E-03 | 5,6E-05 | 0,382 | 6790 | 93 | 4,8E-03 | 7,4E-03 | 9,2E-03 | 1,2E-04 | 0,750 | 6506 | 47 | 4,6E-03 | 6,0E-03 | 7,0E-03 | 9,6E-05 | 0,749 | 7770 | 57 |
| 157 | 5,3E-03 | 3,9E-03 | 3,3E-03 | 6,7E-05 | 0,382 | 5669 | 63 | 5,4E-03 | 3,3E-03 | 3,4E-03 | 6,6E-05 | 0,382 | 5791 | 71 | 1,0E-02 | 7,4E-03 | 6,5E-03 | 1,3E-04 | 0,751 | 5761 | 42 | 1,0E-02 | 5,8E-03 | 5,6E-03 | 1,2E-04 | 0,751 | 6351 | 47 |
| 184 | | | | | | | | 4,9E-03 | 5,4E-03 | 3,3E-03 | 7,4E-05 | 0,382 | 5132 | 49 | | | | | | | | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 6,3E-03 | 1,5E-04 | 0,751 | 5084 | 35 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|----|----------|----------|----------|---------|---------|-------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | Moule 6 | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | |
| 2 | 6,2E-03 | 6,6E-03 | 9,9E-03 | 1,2E-04 | 0,422 | 3474 | 62 | 7,8E-03 | 5,6E-03 | 6,9E-03 | 1,1E-04 | 0,422 | 3810 | 69 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,6E-02 | 2,2E-04 | 0,826 | 3747 | 48 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,829 | 4040 | 53 | |
| 7 | 7,1E-03 | 4,9E-03 | 7,4E-03 | 1,0E-04 | 0,423 | 4040 | 63 | 7,1E-03 | 6,9E-03 | 8,2E-03 | 1,2E-04 | 0,422 | 3477 | 57 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,827 | 4403 | 49 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,826 | 3983 | 46 | |
| 10 | 6,5E-03 | 5,1E-03 | 6,1E-03 | 9,5E-05 | 0,422 | 4446 | 66 | 6,6E-03 | 5,0E-03 | 4,8E-03 | 8,9E-05 | 0,423 | 4730 | 77 | 1,2E-02 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,829 | 4592 | 50 | 1,1E-02 | 9,7E-03 | 9,2E-03 | 1,7E-04 | 0,827 | 4987 | 56 | |
| 13 | 5,0E-03 | 5,0E-03 | 5,0E-03 | 8,1E-05 | 0,423 | 5228 | 89 | 5,6E-03 | 5,2E-03 | 5,3E-03 | 8,8E-05 | 0,422 | 4774 | 90 | 8,5E-03 | 9,0E-03 | 9,8E-03 | 1,5E-04 | 0,827 | 5634 | 59 | 1,1E-02 | 8,1E-03 | 8,9E-03 | 1,5E-04 | 0,829 | 5479 | 63 | |
| 16 | 6,8E-03 | 4,6E-03 | 4,9E-03 | 8,8E-05 | 0,422 | 4820 | 72 | 5,6E-03 | 5,2E-03 | 5,2E-03 | 8,7E-05 | 0,423 | 4840 | 76 | 1,2E-02 | 8,2E-03 | 9,2E-03 | 1,6E-04 | 0,826 | 5183 | 52 | 1,1E-02 | 9,6E-03 | 8,4E-03 | 1,6E-04 | 0,825 | 5168 | 56 | |
| 20 | 5,5E-03 | 4,9E-03 | 4,7E-03 | 8,1E-05 | 0,422 | 5212 | 81 | 5,0E-03 | 5,8E-03 | 4,8E-03 | 8,5E-05 | 0,422 | 4969 | 87 | 1,1E-02 | 9,9E-03 | 7,1E-03 | 1,5E-04 | 0,826 | 5551 | 56 | 7,8E-03 | 9,9E-03 | 8,6E-03 | 1,4E-04 | 0,826 | 5741 | 61 | |
| 27 | 4,5E-03 | 4,2E-03 | 5,4E-03 | 7,6E-05 | 0,422 | 5567 | 76 | 4,9E-03 | 5,3E-03 | 4,8E-03 | 8,2E-05 | 0,422 | 5161 | 83 | 9,6E-03 | 7,5E-03 | 8,9E-03 | 1,4E-04 | 0,826 | 5904 | 54 | 8,8E-03 | 9,6E-03 | 9,0E-03 | 1,5E-04 | 0,826 | 5504 | 57 | |
| 55 | 4,2E-03 | 4,3E-03 | 4,5E-03 | 7,0E-05 | 0,423 | 6046 | 105 | 4,8E-03 | 4,5E-03 | 4,9E-03 | 7,8E-05 | 0,422 | 5411 | 99 | 6,0E-03 | 9,2E-03 | 5,8E-03 | 1,1E-04 | 0,827 | 7342 | 66 | 8,6E-03 | 8,7E-03 | 6,6E-03 | 1,3E-04 | 0,827 | 6333 | 67 | |
| 85 | 4,0E-03 | 6,0E-03 | 4,7E-03 | 7,9E-05 | 0,384 | 4829 | 69 | 4,3E-03 | 4,3E-03 | 3,8E-03 | 6,7E-05 | 0,383 | 5683 | 91 | 6,8E-03 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,5E-04 | 0,761 | 5062 | 47 | 7,3E-03 | 8,5E-03 | 7,8E-03 | 1,3E-04 | 0,765 | 5930 | 57 | |
| 119 | 4,6E-03 | 4,3E-03 | 5,3E-03 | 7,6E-05 | 0,422 | 5538 | 80 | 4,4E-03 | 3,7E-03 | 3,5E-03 | 6,4E-05 | 0,422 | 6627 | 104 | 5,5E-03 | 7,6E-03 | 9,5E-03 | 1,2E-04 | 0,824 | 6768 | 55 | 5,5E-03 | 6,2E-03 | 7,5E-03 | 1,0E-04 | 0,826 | 7878 | 67 | |
| 157 | 5,4E-03 | 4,3E-03 | 3,9E-03 | 7,3E-05 | 0,421 | 5751 | 75 | 5,5E-03 | 3,7E-03 | 4,0E-03 | 7,2E-05 | 0,422 | 5841 | 84 | 1,1E-02 | 7,3E-03 | 6,5E-03 | 1,3E-04 | 0,827 | 6272 | 50 | 1,1E-02 | 6,0E-03 | 5,6E-03 | 1,2E-04 | 0,827 | 6732 | 56 | |
| 184 | | | | | | | | 4,9E-03 | 5,6E-03 | 3,6E-03 | 7,7E-05 | 0,421 | 5475 | 59 | | | | | | | | | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 6,7E-03 | 1,6E-04 | 0,827 | 5296 | 41 |



Annexe 38 – Résultats d’essais à 15°C et 43% d’HR – Essais à 35 °C

| Date | Moules à 0,1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|----------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|------|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | Moule 6 | | | | | Moule 5 | | | | | Moule 6 | | | | | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 3,1E-02 | 3,8E-02 | 3,7E-02 | 5,7E-04 | 0,426 | 745 | 22 | 2,9E-02 | 4,0E-02 | 3,0E-02 | 5,4E-04 | 0,426 | 786 | 22 | 5,0E-02 | 5,4E-02 | 5,6E-02 | 8,6E-04 | 0,833 | 963 | 20 | 4,6E-02 | 6,0E-02 | 4,6E-02 | 8,3E-04 | 0,833 | 1004 | 20 |
| 7 | 3,6E-02 | 2,7E-02 | 2,7E-02 | 4,9E-04 | 0,426 | 878 | 22 | 3,1E-02 | 3,1E-02 | 2,9E-02 | 5,0E-04 | 0,426 | 852 | 21 | 5,5E-02 | 4,8E-02 | 4,4E-02 | 7,9E-04 | 0,833 | 1060 | 19 | 4,7E-02 | 4,9E-02 | 4,6E-02 | 7,8E-04 | 0,834 | 1068 | 19 |
| 10 | 3,8E-02 | 1,9E-02 | 2,9E-02 | 4,6E-04 | 0,426 | 924 | 22 | 3,4E-02 | 2,3E-02 | 2,5E-02 | 4,4E-04 | 0,426 | 966 | 22 | 5,4E-02 | 3,4E-02 | 4,7E-02 | 7,2E-04 | 0,833 | 1151 | 20 | 5,0E-02 | 3,8E-02 | 4,1E-02 | 7,0E-04 | 0,833 | 1184 | 20 |
| 13 | 2,7E-02 | 2,7E-02 | 2,9E-02 | 4,4E-04 | 0,426 | 963 | 22 | 2,3E-02 | 3,2E-02 | 3,0E-02 | 4,7E-04 | 0,426 | 916 | 21 | 4,3E-02 | 4,2E-02 | 4,2E-02 | 6,8E-04 | 0,832 | 1224 | 19 | 3,8E-02 | 4,8E-02 | 4,5E-02 | 7,1E-04 | 0,832 | 1166 | 19 |
| 16 | 2,6E-02 | 2,5E-02 | 2,6E-02 | 4,1E-04 | 0,427 | 1031 | 23 | 2,2E-02 | 2,6E-02 | 3,0E-02 | 4,3E-04 | 0,426 | 1002 | 22 | 4,0E-02 | 3,9E-02 | 4,0E-02 | 6,4E-04 | 0,833 | 1296 | 20 | 3,6E-02 | 4,2E-02 | 4,4E-02 | 6,7E-04 | 0,833 | 1242 | 19 |
| 20 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 2,7E-02 | 4,4E-04 | 0,427 | 971 | 21 | 2,3E-02 | 2,5E-02 | 3,9E-02 | 4,8E-04 | 0,426 | 895 | 20 | 3,9E-02 | 4,4E-02 | 4,2E-02 | 6,8E-04 | 0,833 | 1233 | 19 | 3,9E-02 | 3,6E-02 | 5,6E-02 | 7,2E-04 | 0,833 | 1164 | 18 |
| 27 | 2,2E-02 | 2,3E-02 | 2,7E-02 | 3,9E-04 | 0,426 | 1103 | 23 | 2,2E-02 | 2,5E-02 | 2,7E-02 | 4,1E-04 | 0,427 | 1045 | 21 | 3,5E-02 | 3,7E-02 | 4,1E-02 | 6,1E-04 | 0,833 | 1364 | 20 | 3,6E-02 | 4,0E-02 | 4,2E-02 | 6,5E-04 | 0,833 | 1289 | 19 |
| 55 | 1,8E-02 | 2,9E-02 | 2,2E-02 | 3,7E-04 | 0,426 | 1141 | 24 | 2,0E-02 | 2,8E-02 | 2,1E-02 | 3,8E-04 | 0,426 | 1127 | 24 | 3,0E-02 | 4,3E-02 | 3,4E-02 | 5,8E-04 | 0,833 | 1439 | 21 | 3,2E-02 | 4,4E-02 | 3,4E-02 | 6,0E-04 | 0,833 | 1382 | 21 |
| 85 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 2,8E-04 | 0,425 | 1514 | 27 | 1,4E-02 | 2,2E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-04 | 0,425 | 1389 | 27 | 2,6E-02 | 2,8E-02 | 3,2E-02 | 4,6E-04 | 0,831 | 1789 | 23 | 2,3E-02 | 3,4E-02 | 3,3E-02 | 4,9E-04 | 0,831 | 1690 | 23 |
| 119 | 1,3E-02 | 2,1E-02 | 1,7E-02 | 2,8E-04 | 0,426 | 1544 | 27 | 1,1E-02 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 3,2E-04 | 0,426 | 1545 | 28 | 2,2E-02 | 3,2E-02 | 2,7E-02 | 4,3E-04 | 0,833 | 1920 | 23 | 2,1E-02 | 2,9E-02 | 3,0E-02 | 4,4E-04 | 0,833 | 1908 | 24 |
| 157 | 2,4E-02 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 3,1E-04 | 0,426 | 1362 | 25 | 2,2E-02 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 3,2E-04 | 0,425 | 1311 | 24 | 3,9E-02 | 3,0E-02 | 2,4E-02 | 5,0E-04 | 0,832 | 1677 | 21 | 3,3E-02 | 3,1E-02 | 3,0E-02 | 5,2E-04 | 0,832 | 1613 | 21 |
| 184 | 2,4E-02 | 2,1E-02 | 1,4E-02 | 3,2E-04 | 0,426 | 1322 | 25 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 1,8E-02 | 3,2E-04 | 0,426 | 1316 | 25 | 3,6E-02 | 3,4E-02 | 2,3E-02 | 5,0E-04 | 0,833 | 1658 | 22 | 3,3E-02 | 3,1E-02 | 3,0E-02 | 5,1E-04 | 0,832 | 1631 | 22 |
| Date | Moules à 1Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | Moule 6 | | | | | Moule 5 | | | | | Moule 6 | | | | | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 2,1E-02 | 2,4E-02 | 2,5E-02 | 3,7E-04 | 0,418 | 1119 | 28 | 1,8E-02 | 2,7E-02 | 2,0E-02 | 3,6E-04 | 0,420 | 1182 | 29 | 3,5E-02 | 3,6E-02 | 3,9E-02 | 5,9E-04 | 0,821 | 1380 | 25 | 3,1E-02 | 4,1E-02 | 3,2E-02 | 5,7E-04 | 0,821 | 1446 | 26 |
| 7 | 2,4E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 3,2E-04 | 0,420 | 1296 | 28 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 3,4E-04 | 0,420 | 1251 | 27 | 3,5E-02 | 3,2E-02 | 2,8E-02 | 5,1E-04 | 0,821 | 1601 | 25 | 3,2E-02 | 3,5E-02 | 3,3E-02 | 5,5E-04 | 0,823 | 1500 | 25 |
| 10 | 2,5E-02 | 1,2E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-04 | 0,420 | 1366 | 28 | 2,2E-02 | 1,4E-02 | 1,6E-02 | 2,9E-04 | 0,418 | 1450 | 29 | 3,7E-02 | 2,4E-02 | 3,8E-02 | 5,1E-04 | 0,820 | 1615 | 25 | 3,6E-02 | 2,6E-02 | 2,9E-02 | 4,9E-04 | 0,820 | 1665 | 25 |
| 13 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,9E-04 | 0,419 | 1428 | 27 | 1,5E-02 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-04 | 0,418 | 1370 | 28 | 3,0E-02 | 3,0E-02 | 2,9E-02 | 4,8E-04 | 0,820 | 1717 | 24 | 2,6E-02 | 3,3E-02 | 3,2E-02 | 5,0E-04 | 0,816 | 1639 | 24 |
| 16 | 1,6E-02 | 1,6E-02 | 1,7E-02 | 2,6E-04 | 0,416 | 1581 | 30 | 1,4E-02 | 1,7E-02 | 2,0E-02 | 2,8E-04 | 0,418 | 1506 | 29 | 2,8E-02 | 2,7E-02 | 2,8E-02 | 4,5E-04 | 0,815 | 1823 | 25 | 2,5E-02 | 3,0E-02 | 3,2E-02 | 4,7E-04 | 0,820 | 1744 | 25 |
| 20 | 1,6E-02 | 2,0E-02 | 1,9E-02 | 3,0E-04 | 0,420 | 1416 | 26 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 2,8E-02 | 3,3E-04 | 0,419 | 1284 | 25 | 2,8E-02 | 3,1E-02 | 3,1E-02 | 4,8E-04 | 0,819 | 1698 | 23 | 2,8E-02 | 2,5E-02 | 4,0E-02 | 5,1E-04 | 0,817 | 1593 | 23 |
| 27 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,5E-04 | 0,419 | 1665 | 29 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 2,7E-04 | 0,419 | 1536 | 28 | 2,6E-02 | 2,6E-02 | 2,9E-02 | 4,3E-04 | 0,822 | 1896 | 24 | 2,6E-02 | 2,8E-02 | 3,0E-02 | 4,6E-04 | 0,822 | 1782 | 24 |
| 55 | 1,1E-02 | 1,9E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,417 | 1795 | 31 | 1,2E-02 | 1,9E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,418 | 1767 | 31 | 2,0E-02 | 3,1E-02 | 2,3E-02 | 4,0E-04 | 0,821 | 2061 | 26 | 2,1E-02 | 3,1E-02 | 2,2E-02 | 4,1E-04 | 0,815 | 1984 | 26 |
| 85 | 7,9E-03 | 9,7E-03 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,417 | 2654 | 36 | 7,4E-03 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,417 | 2382 | 37 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 2,0E-02 | 2,8E-04 | 0,819 | 2938 | 28 | 1,5E-02 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 3,2E-04 | 0,818 | 2572 | 29 |
| 119 | 7,0E-03 | 1,3E-02 | 9,8E-03 | 1,6E-04 | 0,419 | 2620 | 35 | 6,3E-03 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,419 | 2646 | 36 | 1,4E-02 | 2,2E-02 | 1,7E-02 | 2,8E-04 | 0,819 | 2925 | 28 | 1,3E-02 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,8E-04 | 0,821 | 2941 | 29 |
| 157 | 1,5E-02 | 1,2E-02 | 8,2E-03 | 1,9E-04 | 0,416 | 2210 | 33 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 2,0E-04 | 0,417 | 2136 | 32 | 2,7E-02 | 2,0E-02 | 1,6E-02 | 3,3E-04 | 0,817 | 2453 | 26 | 2,3E-02 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 3,4E-04 | 0,819 | 2381 | 26 |
| 184 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 7,9E-03 | 2,0E-04 | 0,419 | 2135 | 33 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,420 | 2161 | 33 | 2,5E-02 | 2,3E-02 | 1,5E-02 | 3,3E-04 | 0,819 | 2447 | 28 | 2,2E-02 | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 3,4E-04 | 0,820 | 2430 | 28 |
| Date | Moules à 3Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | Moule 6 | | | | | Moule 5 | | | | | Moule 6 | | | | | | | | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 1,7E-02 | 2,5E-04 | 0,338 | 1373 | 33 | 1,2E-02 | 1,7E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,339 | 1487 | 35 | 2,3E-02 | 2,4E-02 | 2,7E-02 | 4,0E-04 | 0,663 | 1671 | 29 | 2,0E-02 | 2,7E-02 | 2,1E-02 | 3,8E-04 | 0,662 | 1761 | 29 |
| 7 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-04 | 0,339 | 1595 | 33 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,339 | 1555 | 33 | 2,3E-02 | 2,1E-02 | 1,8E-02 | 3,3E-04 | 0,649 | 1940 | 25 | 2,1E-02 | 2,4E-02 | 2,3E-02 | 3,7E-04 | 0,662 | 1810 | 29 |
| 10 | 1,7E-02 | 7,9E-03 | 1,3E-02 | 2,0E-04 | 0,338 | 1663 | 34 | 1,5E-02 | 9,2E-03 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,338 | 1772 | 36 | 2,5E-02 | 1,7E-02 | 2,3E-02 | 3,5E-04 | 0,661 | 1901 | 29 | 2,5E-02 | 1,7E-02 | 2,0E-02 | 3,4E-04 | 0,662 | 1972 | 30 |
| 13 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,0E-04 | 0,338 | 1732 | 32 | 9,8E-03 | 1,4E-02 | 1,4E-02 | 2,0E-04 | 0,339 | 1675 | 34 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 2,0E-02 | 3,3E-04 | 0,662 | 2016 | 28 | 1,8E-02 | 2,3E-02 | 2,2E-02 | 3,4E-04 | 0,673 | 1979 | 29 |
| 16 | 1,1E-02 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,345 | 1968 | 37 | 9,0E-03 | 1,1E-02 | 1,4E-02 | 1,8E-04 | 0,338 | 1848 | 36 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 3,1E-04 | 0,682 | 2209 | 29 | 1,7E-02 | 2,0E-02 | 2,2E-02 | 3,2E-04 | 0,662 | 2076 | 30 |
| 20 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 2,0E-04 | 0,338 | 1699 | 31 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 1,9E-02 | 2,1E-04 | 0,338 | 1576 | 30 | 1,9E-02 | 2,1E-02 | 2,2E-02 | 3,3E-04 | 0,661 | 1979 | 27 | 2,0E-02 | 1,7E-02 | 2,8E-02 | 3,5E-04 | 0,664 | 1877 | 27 |
| 27 | 9,9E-03 | 9,6E-03 | 1,2E-02 | 1,7E-04 | 0,338 | 2019 | 35 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,339 | 1864 | 33 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 3,0E-04 | 0,662 | 2233 | 28 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-04 | 0,662 | 2107 | 28 |
| 55 | 7,1E-03 | 1,3E-02 | 8,6E-03 | 1,6E-04 | 0,341 | 2191 | 37 | 7,7E-03 | 1,3E-02 | 8,1E-03 | 1,6E-04 | 0,338 | 2173 | 39 | 1,3E-02 | 2,1E-02 | 1,6E-02 | 2,7E-04 | 0,662 | 2453 | 30 | 1,5E-02 | 2,2E-02 | 1,5E-02 | 2,8E-04 | 0,685 | 2435 | 31 |
| 85 | 5,0E-03 | 6,1E-03 | 7,6E-03 | 1,0E-04 | 0,337 | 3356 | 45 | 4,6E-03 | 8,4E-03 | 7,4E-03 | 1,1E-04 | 0,337 | 3024 | 46 | 9,6E-03 | 1,1E-02 | 1,3E-02 | 1,8E-04 | 0,647 | 3596 | 24 | 9,5E-03 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 2,1E-04 | 0,659 | 3121 | 34 |
| 119 | 4,3E-03 | 8,8E-03 | 6,2E-03 | 1,0E-04 | 0,338 | 3263 | 43 | 3,9E-03 | 7,1E-03 | 7,7E-03 | 1,0E-04 | 0,339 | 3318 | 43 | 9,1E-03 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,663 | 3475 | 33 | 8,6E-03 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,663 | 3535 | 34 |
| 157 | 1,1E-02 | 7,4E-03 | 5,3E-03 | 1,3E-04 | 0,342 | 2717 | 40 | 9,1E-03 | 7,5E-03 | 6,9E-03 | 1,3E-04 | 0,340 | 2637 | 39 | 1,9E-02 | 1,3E-02 | 1,1E-02 | 2,3E-04 | 0,667 | 2913 | 31 | 1,6E-02 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 2,4E-04 | 0,662 | 2817 | 31 |
| 184 | 1,0E-02 | 8,7E-03 | 4,9E-03 | 1,3E-04 | 0,338 | 2653 | 41 | 8,5E-03 | 7,3E-03 | 7,1E-03 | 1,2E-04 | 0,338 | 2708 | 41 | 1,7E-02 | 1,6E-02 | 9,7E-03 | 2,3E-04 | 0,661 | 2913 | 32 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 2,3E-04 | 0,662 | 2887 | 32 |

| Date | Moules à 6Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 1,5E-02 | 2,2E-04 | 0,382 | 1703 | 39 | 1,1E-02 | 1,6E-02 | 1,2E-02 | 2,1E-04 | 0,385 | 1827 | 42 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 2,5E-02 | 3,7E-04 | 0,749 | 2042 | 33 | 1,8E-02 | 2,5E-02 | 2,0E-02 | 3,4E-04 | 0,749 | 2179 | 34 |
| 7 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 2,0E-04 | 0,390 | 1931 | 40 | 1,2E-02 | 1,4E-02 | 1,3E-02 | 2,2E-04 | 0,404 | 1869 | 40 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 2,3E-04 | 0,483 | 2080 | 37 | 1,9E-02 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 3,4E-04 | 0,749 | 2192 | 34 |
| 10 | 1,5E-02 | 7,4E-03 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,381 | 2020 | 41 | 1,4E-02 | 8,1E-03 | 9,7E-03 | 1,7E-04 | 0,381 | 2219 | 44 | 2,3E-02 | 1,5E-02 | 2,1E-02 | 3,2E-04 | 0,749 | 2317 | 33 | 2,3E-02 | 1,6E-02 | 1,8E-02 | 3,1E-04 | 0,749 | 2423 | 35 |
| 13 | 1,1E-02 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,382 | 2116 | 39 | 8,8E-03 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,381 | 2087 | 41 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 3,1E-04 | 0,748 | 2433 | 32 | 1,6E-02 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-04 | 0,751 | 2393 | 34 |
| 16 | 9,9E-03 | 9,4E-03 | 1,0E-02 | 1,6E-04 | 0,381 | 2407 | 44 | 8,0E-03 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-04 | 0,382 | 2294 | 44 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,751 | 2587 | 34 | 1,5E-02 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 3,0E-04 | 0,748 | 2509 | 35 |
| 20 | 1,0E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,383 | 2021 | 37 | 9,3E-03 | 9,0E-03 | 1,8E-02 | 2,0E-04 | 0,381 | 1909 | 36 | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 2,1E-02 | 3,2E-04 | 0,749 | 2363 | 31 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 2,7E-02 | 3,3E-04 | 0,749 | 2252 | 31 |
| 27 | 9,3E-03 | 8,8E-03 | 1,1E-02 | 1,5E-04 | 0,382 | 2471 | 42 | 9,5E-03 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,381 | 2257 | 40 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 2,8E-04 | 0,748 | 2637 | 33 | 1,7E-02 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 3,0E-04 | 0,748 | 2495 | 33 |
| 55 | 6,4E-03 | 1,2E-02 | 7,7E-03 | 1,4E-04 | 0,382 | 2706 | 45 | 6,8E-03 | 1,2E-02 | 7,1E-03 | 1,4E-04 | 0,382 | 2715 | 47 | 1,2E-02 | 2,0E-02 | 1,5E-02 | 2,5E-04 | 0,748 | 2934 | 35 | 1,3E-02 | 2,1E-02 | 1,4E-02 | 2,6E-04 | 0,752 | 2882 | 36 |
| 85 | 4,4E-03 | 5,3E-03 | 6,8E-03 | 8,9E-05 | 0,373 | 4179 | 56 | 4,2E-03 | 7,3E-03 | 6,5E-03 | 9,8E-05 | 0,373 | 3794 | 56 | | | | | | | | 8,9E-03 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,724 | 3729 | 40 |
| 119 | 4,2E-03 | 8,3E-03 | 5,7E-03 | 9,8E-05 | 0,382 | 3916 | 53 | 3,9E-03 | 6,6E-03 | 7,1E-03 | 9,7E-05 | 0,382 | 3951 | 53 | 8,6E-03 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,749 | 4144 | 39 | 8,4E-03 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,8E-04 | 0,749 | 4192 | 40 |
| 157 | 1,0E-02 | 6,4E-03 | 4,8E-03 | 1,1E-04 | 0,382 | 3344 | 49 | 8,5E-03 | 6,8E-03 | 6,1E-03 | 1,2E-04 | 0,382 | 3272 | 47 | 1,8E-02 | 1,2E-02 | 9,9E-03 | 2,2E-04 | 0,750 | 3450 | 36 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,749 | 3399 | 36 |
| 184 | 9,5E-03 | 8,2E-03 | 4,6E-03 | 1,2E-04 | 0,381 | 3183 | 49 | 8,1E-03 | 6,8E-03 | 6,7E-03 | 1,2E-04 | 0,386 | 3273 | 49 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 9,2E-03 | 2,2E-04 | 0,749 | 3485 | 38 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,748 | 3536 | 38 |

| Date | Moules à 10Hz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---------------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|----------|----------|----------|---------|---------|------|----|
| | 4,6 kN | | | | | | | | | | | | | | 9 kN | | | | | | | | | | | | | |
| | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | | Moule 5 | | | | | | | Moule 6 | | | | | | |
| | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ | Δ dépl 3 | Δ dépl 2 | Δ dépl 1 | Δ Déf | Δ contr | E | φ |
| 2 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,4E-02 | 2,1E-04 | 0,422 | 1993 | 46 | 9,9E-03 | 1,4E-02 | 1,1E-02 | 1,9E-04 | 0,422 | 2195 | 50 | 2,2E-02 | 2,2E-02 | 2,4E-02 | 3,6E-04 | 0,827 | 2272 | 38 | 1,8E-02 | 2,5E-02 | 1,9E-02 | 3,4E-04 | 0,828 | 2445 | 40 |
| 7 | 1,4E-02 | 1,0E-02 | 9,9E-03 | 1,8E-04 | 0,421 | 2309 | 48 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,9E-04 | 0,422 | 2217 | 48 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 1,6E-02 | 2,9E-04 | 0,746 | 2567 | 39 | 1,8E-02 | 2,2E-02 | 2,1E-02 | 3,3E-04 | 0,827 | 2503 | 39 |
| 10 | 1,4E-02 | 7,0E-03 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,422 | 2370 | 48 | 1,3E-02 | 7,6E-03 | 9,2E-03 | 1,6E-04 | 0,422 | 2606 | 53 | 2,3E-02 | 1,6E-02 | 2,1E-02 | 3,2E-04 | 0,827 | 2595 | 39 | 2,2E-02 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 3,0E-04 | 0,826 | 2722 | 41 |
| 13 | 1,0E-02 | 1,0E-02 | 1,1E-02 | 1,7E-04 | 0,422 | 2465 | 46 | 8,3E-03 | 1,1E-02 | 1,2E-02 | 1,7E-04 | 0,422 | 2448 | 49 | 1,9E-02 | 1,9E-02 | 1,8E-02 | 3,1E-04 | 0,827 | 2703 | 38 | 1,6E-02 | 2,1E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-04 | 0,826 | 2653 | 39 |
| 16 | 9,5E-03 | 9,1E-03 | 9,8E-03 | 1,5E-04 | 0,422 | 2772 | 53 | 7,6E-03 | 9,4E-03 | 1,2E-02 | 1,6E-04 | 0,422 | 2697 | 53 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 1,8E-02 | 2,9E-04 | 0,826 | 2891 | 40 | 1,5E-02 | 1,8E-02 | 2,0E-02 | 2,9E-04 | 0,826 | 2818 | 41 |
| 20 | 9,9E-03 | 1,2E-02 | 1,2E-02 | 1,8E-04 | 0,421 | 2319 | 43 | 8,8E-03 | 8,6E-03 | 1,8E-02 | 1,9E-04 | 0,422 | 2200 | 43 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,0E-02 | 3,1E-04 | 0,825 | 2665 | 36 | 1,9E-02 | 1,5E-02 | 2,7E-02 | 3,3E-04 | 0,825 | 2533 | 37 |
| 27 | 9,0E-03 | 8,5E-03 | 1,0E-02 | 1,5E-04 | 0,421 | 2831 | 50 | 9,1E-03 | 9,7E-03 | 1,1E-02 | 1,6E-04 | 0,422 | 2621 | 48 | 1,7E-02 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 2,8E-04 | 0,825 | 2981 | 39 | 1,7E-02 | 1,8E-02 | 1,9E-02 | 2,9E-04 | 0,826 | 2809 | 38 |
| 55 | 6,1E-03 | 1,2E-02 | 7,4E-03 | 1,4E-04 | 0,422 | 3084 | 53 | 6,4E-03 | 1,1E-02 | 6,8E-03 | 1,3E-04 | 0,422 | 3152 | 56 | 1,2E-02 | 2,0E-02 | 1,4E-02 | 2,5E-04 | 0,826 | 3289 | 41 | 1,3E-02 | 2,1E-02 | 1,4E-02 | 2,6E-04 | 0,827 | 3176 | 42 |
| 85 | 4,2E-03 | 4,9E-03 | 6,2E-03 | 8,2E-05 | 0,383 | 4648 | 66 | 4,3E-03 | 6,6E-03 | 6,0E-03 | 9,2E-05 | 0,385 | 4190 | 67 | 3,8E-03 | 4,3E-03 | 5,2E-03 | 7,2E-05 | 0,299 | 4183 | 39 | 8,6E-03 | 1,3E-02 | 1,3E-02 | 1,9E-04 | 0,763 | 4075 | 46 |
| 119 | 4,7E-03 | 7,9E-03 | 5,4E-03 | 9,7E-05 | 0,423 | 4374 | 64 | 4,5E-03 | 6,5E-03 | 6,8E-03 | 9,7E-05 | 0,422 | 4351 | 63 | 8,4E-03 | 1,5E-02 | 1,1E-02 | 1,8E-04 | 0,826 | 4528 | 46 | 8,3E-03 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 1,8E-04 | 0,826 | 4647 | 47 |
| 157 | 1,0E-02 | 6,2E-03 | 4,8E-03 | 1,1E-04 | 0,421 | 3726 | 58 | 8,3E-03 | 6,6E-03 | 5,9E-03 | 1,1E-04 | 0,422 | 3700 | 56 | 1,8E-02 | 1,2E-02 | 9,6E-03 | 2,1E-04 | 0,825 | 3852 | 43 | 1,5E-02 | 1,3E-02 | 1,2E-02 | 2,2E-04 | 0,827 | 3748 | 42 |
| 184 | 9,1E-03 | 7,9E-03 | 4,9E-03 | 1,2E-04 | 0,422 | 3574 | 59 | 7,6E-03 | 6,1E-03 | 6,2E-03 | 1,1E-04 | 0,422 | 3864 | 59 | 1,6E-02 | 1,5E-02 | 8,9E-03 | 2,1E-04 | 0,827 | 3895 | 45 | 1,4E-02 | 1,2E-02 | 1,3E-02 | 2,1E-04 | 0,826 | 3876 | 45 |

