

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Par : DJEZIRI Youssouf

Sujet

Analyse de déformation des poutres par extensomètre

Soutenu publiquement, le 05 / 06 / 2023, devant le jury composé de :

Mr. ZINAI Abdelhadi	MCB	Univ. Tlemcen	Président
Mr. GUENIFED Abdelhalim Farouk	MAA	Univ. Tlemcen	Examineur
Mr. BELALIA Sid Ahmed	Pr.	Univ. Tlemcen	Encadreur
Mr. CHORFI Sidi Mohammed	MCB	Univ. Tlemcen	Co-Encadreur
Mr. HENAOUI Mustapha	Dr. Ing.	Univ. Tlemcen	Invité

Année universitaire 2022 / 2023

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la santé, la force et la volonté de finir mes études et d'entamer ce mémoire.

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon encadreur, Monsieur **BELALIA Sid Ahmed**, et mon co-encadreur, Monsieur **CHORFI Sidi Mohammed**, pour leur orientation, guidance, et aide tout au long de mon éducation et dans l'élaboration de ce mémoire.*

*Je tiens à remercier chaleureusement Monsieur **HENAOUI Mustapha**, pour son aide et soutien tout au long la réalisation de ce mémoire.*

*Je remercie les membres du jury, Monsieur **ZINAI Abdelhadi** d'avoir accepté de présider le jury ainsi que Monsieur **GUENIFED Abdelhalim Farouk** d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.*

Je tiens à remercier tous les enseignants et l'équipe pédagogique de la Faculté de Technologie de l'université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen, pour leurs efforts qui ont joué un rôle crucial dans l'élaboration de mon parcours universitaire.

Enfin, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mes études.

Dédicaces

Ce modeste travail est dédié à :

Mes chers parents que ALLAH les protège, qui m'ont offert tous les moyens et pour tout leur soutien et leurs encouragements.

*Mon frère **KAMAL**, pour son guidance et soutien indéfectible.*

*Mon ami **ABDELMOUMENE** pour son compagnie et soutien tout au long de ces années.*

Tous mes amis de près ou de loin, pour tous leurs encouragements, et pour tous les moments joyeux que nous avons passés.

Et toute personne que je connais et qui me sont chers.

Résumé

Ce mémoire propose consiste d'un recherche sur les extensomètres, en mettant l'accent sur les jauges de contrainte, leurs types, leurs caractéristiques telles que le facteur de jauge, et l'utilisation des configurations de pont de Wheatstone.

L'objectif est de découvrir et mettre en marche les équipements d'extensométrie disponibles dans les laboratoires pédagogiques de la faculté, avec un but final d'intégrer ces connaissances dans la future dans des séances des travaux pratiques (TP) au niveau du laboratoire RDM.

Mots-clés : extensomètres, jauges de contrainte, indicateurs de jauges de contrainte, pont de Wheatstone, équipements de laboratoire, étude expérimentale.

Abstract

This thesis consists of a research on extensometers, with emphasis on strain gauges, their types, their characteristics such as the gauge factor, and the use of Wheatstone bridge configurations.

The objective is to discover and render the extensometry equipment available in the educational laboratories of the faculty operational, with a final goal of integrating this knowledge in the future in practical work at the RDM laboratory.

Keywords: extensometers, strain gauges, strain gauge indicators, Wheatstone bridge, laboratory equipment, experimental study.

ملخص

تتكون هذه المذكرة من بحث حول مقاييس التمدد، مع التركيز الأساسي على مقاييس الإجهاد وأنواعها وخصائصها، مثل عامل القياس واستخدام تراكيب جسر ويتستون.

الهدف هو اكتشاف وتشغيل معدات قياس الامتداد المتوفرة في المختبرات التعليمية للكلية، بهدف نهائي يتمثل في ادماج هذه المعارف مستقبلا في الأعمال التطبيقية على مستوى مختبر مقاومة المواد.

الكلمات المفتاحية: مقاييس التمدد، مقاييس الإجهاد، مؤشرات قياس الإجهاد، جسر ويتستون، معدات المختبرات، دراسة تجريبية.

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre 1 Généralités sur les extensomètres.....	2
Introduction	3
1.1. Types des extensomètres	3
1.1.1. Extensomètres à contact	4
1.1.1.1. Extensomètre à pince	4
1.1.1.2. Jauge de contrainte.....	5
1.1.2. Extensomètres sans contact	6
1.1.2.1. Extensomètres optiques	6
1.1.2.2. Extensomètres laser.....	7
1.2. Principe de fonctionnement d'une jauge de contrainte.....	7
1.3. Facteur de jauge.....	8
1.4. Pont de Wheatstone	9
1.4.1. Types du pont de Wheatstone.....	10
1.4.2. Quart de pont.....	11
1.4.2.1. Effet de la résistance du fil et de changement de la température.....	11
1.4.3. Demi-Pont	13
1.4.3.1. Types de configurations on demi-pont.....	14
1.4.4. Pont Complet	14
1.4.4.1. Types de configurations on pont complète	16
Conclusion.....	17
Chapitre 2 Présentation du matériel	18
Introduction	19
2.1. A propos de Vishay Precision Group, Inc	19
2.2. Jauges de contraintes.....	20
2.3. Pont d'extensométrie P-3500	21
2.3.1. Mode opératoire	24
2.3.1.1. Mode hors-tension.....	25
2.3.1.2. Mode ZERO AMP.....	25
2.3.1.3. Mode réglage du facteur de jauge.....	26
2.3.1.4. Mode mesure	26
2.3.1.5. Mode calibration.....	27
2.3.1.6. Mode arrêt alimentation	28
2.3.2. Réglages supplémentaires du mode opératoire.....	29
2.3.2.1. Multiplicateur X1/X10.....	29
2.3.2.2. Mode du pont	30
2.3.3. Connexion au jauges	30
2.4. Commutateur SB-10.....	31
2.4.1. Mode opératoire	33
2.5. Testeur de Jauge 1300	33
2.5.1. Mode opératoire.....	34

Conclusion.....	36
Chapitre 3 Etude expérimentale.....	37
Introduction.....	38
3.1. Description du l'éprouvette.....	38
3.2. Montage de tests expérimentaux.....	39
3.3. Résultats expérimentales.....	40
3.4. Interprétation des données.....	44
3.4.1. Valeurs positifs.....	44
3.4.2. Symétrie des valeurs.....	47
3.4.3. Comparaison entre les résultats.....	49
3.4.3.1. Comparaison de la 1ere et la 2eme expérience.....	49
3.4.3.2. Comparaison de la 2eme et la 3eme expérience.....	50
3.5. Tests supplémentaires.....	51
3.5.1. Test de la poutre métallique.....	51
3.5.2. Banc d'essai de flexion et torsion.....	53
3.5.3. Eprouvette a section variable.....	54
3.5.4. Pont d'extensométrie EI616.....	57
Conclusion.....	58
Conclusion générale et perspectives.....	59
Références.....	60

Liste des figures

Figure 1.1 Extensomètre à pince attaché à une éprouvette d'essai	4
Figure 1.2 Photo d'une jauge de contrainte attachée à une éprouvette en bois	5
Figure 1.3 Extensomètre vidéo pointant vers une éprouvette	6
Figure 1.4 Extensomètre laser pointant vers une éprouvette [3]	7
Figure 1.5 Photo d'une jauge de contrainte sous emballage	8
Figure 1.6 Diagramme du circuit pont de Wheatstone	9
Figure 1.7 Schéma d'un pont de Wheatstone en quart de pont	11
Figure 1.8 Schéma d'un pont de Wheatstone en quart de pont avec 3 fils	12
Figure 1.9 Illustration d'une jauge de contrainte en quart de pont avec jauge factice (Configuration II)	13
Figure 1.10 Schéma d'un pont de Wheatstone en configuration demi-pont	13
Figure 1.11 Illustration de 2 jauges de contrainte en demi-pont en configuration I	14
Figure 1.12 Illustration de 2 jauges de contrainte en demi-pont en configuration II	14
Figure 1.13 Schéma d'un pont de Wheatstone en pont complet	15
Figure 1.14 Illustration de 4 jauges de contrainte en pont complet en configuration I	16
Figure 1.15 Illustration de 4 jauges de contrainte en pont complet en configuration II	16
Figure 1.16 Illustration de 4 jauges de contrainte en pont complet en configuration III	16
Figure 2.1 Histoire de Micro-Measurements [12]	20
Figure 2.2 Schema d'un jauge de contrainte [16]	20
Figure 2.3 Panneau de contrôle de l'indicateur de déformation P-3500	22
Figure 2.4 Composants internes d'un P-3500	22
Figure 2.5 Les composants du panneau de contrôle d'un indicateur P-3500	23
Figure 2.6 Schema organigramme du mode opératoire de P-3500	24
Figure 2.7 Modèle P-3500 en mode hors-tension	25
Figure 2.8 Modèle P-3500 en mode réglage d'amplification	25
Figure 2.9 P-3500 en mode réglage du facteur de jauge	26
Figure 2.10 P-3500 en mode mesure	26
Figure 2.11 P-3500 en mode calibration	27
Figure 2.12 P-3500 en mode arrêt alimentation	28
Figure 2.13 P-3500 en mode X10	29
Figure 2.14 P-3500 en mode pont complet	30
Figure 2.15 Schema du montage sur le modèle P-3500	31
Figure 2.16 Panneau de control du Model SB-10	31
Figure 2.17 Les composants d'un commutateur SB-10	32
Figure 2.18 Schema du montage sur le modèle SB-10	33
Figure 2.19 Testeur de jauge 1300	34
Figure 2.20 Schema du montage sur le modèle 1300	35
Figure 3.1 Photo du l'éprouvette choisie	38
Figure 3.2 Photo des jauges installées sure l'éprouvette	39
Figure 3.3 Schema du montage de l'expérience	39
Figure 3.4 Photo du montage de l'expérience	40
Figure 3.5 Diagramme d'une poutre en flexion	44
Figure 3.6 Schéma du montage de l'essai a photoélastimétrie	45
Figure 3.7 Photo du montage expérimentale de la poutre encastree	51
Figure 3.8 Schéma du montage du l'expérience avec poutre métallique	52

Figure 3.9 Photo du banc d'essai	54
Figure 3.10 Photo du montage au appareille P-3500.....	54
Figure 3.11 Photo de l'éprouvette à section variable	55
Figure 3.12 Schéma du l'éprouvette a section variable	55
Figure 3.13 Photo du montage expérimentale	55
Figure 3.14 Montage des fils de la jauge sur l'appareil P-3500, montrant le cablage a 2 fils	56
Figure 3.15 Photo des jauges de la contrainte attachée sur l'éprouvette, montrant le cablage a 2 fils.....	56

Liste des graphes

Graph 3.1 Courbe des résultats expérimentaux de la 1ère expérience.....	41
Graph 3.2 Courbe des résultats expérimentaux de la 2eme expérience	42
Graph 3.3 Courbe des résultats expérimentaux de la 3eme expérience	43
Graph 3.4 Courbe des résultats expérimentaux pour es jauges 1,10	47
Graph 3.5 Courbe des résultats expérimentaux pour es jauges 2,9	48
Graph 3.6 Courbe des résultats expérimentaux pour es jauges 3,8	48
Graph 3.7 Courbe des résultats expérimentaux pour es jauges 4-7	48
Graph 3.8 Courbe des résultats expérimentaux pour es jauges 5,6	49
Graph 3.9 Courbe de comparaison des résultats du 1 ^{er} et 2 ^{eme} expériences.....	49
Graph 3.10 Courbe de comparaison des résultats du 2 ^{eme} et 3 ^{eme} expériences.....	50
Graph 3.11 Courbe déformation contrainte pour l'éprouvette en metal.....	53

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Comparaison entre les types de configurations en demi-pont	14
Tableau 1.2 Comparaison entre les types de configurations en pont complet	16
Tableau 2.1 Caractéristiques de la jauge de contrainte	21
Tableau 2.2 Désignation des composants du P-3500.....	23
Tableau 2.3 Désignation des composants du SB-10.....	32
Tableau 3.1 Tableau des résultats expérimentaux de la 1ère expérience	41
Tableau 3.2 Tableau des résultats expérimentaux de la 2eme expérience	42
Tableau 3.3 Tableau des résultats expérimentaux de la 3eme expérience	43
Tableau 3.4 Évolution des lignes de contrainte dans une éprouvette, visualisée par photoélastimétrie	46

Introduction générale

La science des matériaux est un aspect fondamental du génie mécanique, l'un de ses aspects est l'étude des propriétés mécaniques présentées par divers matériaux. Il englobe une gamme de tests, y compris la flexion, la torsion et la traction, visant à déterminer différentes propriétés des matériaux.

Dans toute étude expérimentale, l'obtention de mesures précises est de la plus haute importance. C'est là que les extensomètres, appareils destinés à mesurer la déformation d'une pièce sous charge mécanique, jouent un rôle crucial.

On va faire une recherche préliminaire sur les extensomètres, en se concentrant sur les jauges de contrainte. Cela comprend une recherche détaillée sur les différents types de jauges de contrainte, leurs caractéristiques, telles que le facteur de jauge et l'utilisation du pont de Wheatstone, et de ses différents types (quart, demi et pont complet). Pour fournir une base pour comprendre les principes et les mécanismes des extensomètres et leur utilisation dans les essais de matériaux.

Avec ces connaissances acquises, on va découvrir les équipements disponibles au niveau des laboratoires pédagogiques de la faculté de technologie de l'Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen. Cela va comprendre un aperçu des types d'équipements disponibles, ces fonctionnalités et ces modes de fonctionnement, pour fournir une compréhension globale de leurs capacités afin d'être utilisé dans une étude expérimentale ultérieurement.

En dernier, On va entamer une étude expérimentale de la déformation des poutres à l'aide de l'équipement précédemment introduit dans le chapitre précédent. Cette étude vise à fournir une analyse du comportement des poutres sous différentes charges et conditions, en utilisant les jauges de contrainte et les indicateurs de jauge de contrainte pour mesurer et analyser la déformation. Ce chapitre présente les résultats et l'analyse de l'étude expérimentale, en soulignant les idées et les conclusions tirées des données recueillies.

Dans l'ensemble, ce mémoire fournit une étude complète de la déformation dans les poutres à l'aide d'extensomètres, couvrant les principes et les mécanismes des extensomètres, l'équipement utilisé dans l'étude expérimentale, ainsi que les résultats et l'analyse de l'étude. Les connaissances acquises grâce à ce mémoire peuvent être incorporés à la future dans un TP au niveau du laboratoire de la RDM.

Chapitre 1

Généralités sur les extensomètres

Introduction

Ce chapitre de la mémoire se concentre sur le domaine de l'extensométrie, qui englobe la science de la mesure de la déformation et de l'allongement des matériaux et des structures.

Les extensomètres, des instruments spécialisés conçus pour se fixer aux matériaux ou aux structures, jouent un rôle central dans la capture des changements de longueur, de forme ou de taille induits par les charges mécaniques, les variations de température et d'autres facteurs d'influence. Largement utilisée dans la science des matériaux, l'ingénierie et la mécanique, l'extensométrie facilite l'étude du comportement et des propriétés des matériaux dans diverses conditions de chargement, permettant le développement de nouveaux matériaux et structures avec des performances et une durabilité améliorées.

En utilisant des extensomètres, les chercheurs peuvent approfondir leur compréhension du comportement complexe des matériaux, explorer leur réponse aux chargements externes et développer des modèles prédictifs pour améliorer les conceptions techniques.

Tout au long de ce chapitre, nous lançons une exploration complète des extensomètres, avec un accent particulier sur les jauges de contrainte. Les jauges de contrainte, étant un composant clé des extensomètres, permettent une mesure précise de la contrainte en capitalisant sur les changements de résistance électrique qu'ils présentent sous déformation.

En examinant des différents types, leurs caractéristiques et l'utilisation du pont de Wheatstone, nous établissons une base solide pour comprendre les principes et les mécanismes régissant les extensomètres et leurs applications dans les essais de matériaux.

1.1. Types des extensomètres

Il existe deux catégories principales d'extensomètres, à savoir les extensomètres à contact et les extensomètres sans contact.

Les exigences en matière de choix d'un extensomètre dépendent des caractéristiques de l'échantillon à tester, notamment sa forme, ses dimensions, les exigences et les normes de test qui doivent être respectées.

Il convient également de prendre en considération la possibilité et la faisabilité de connecter l'extensomètre directement à l'échantillon. Par exemple, dans le cas d'échantillons très minces tels que des feuilles, qui peuvent être sensibles aux forces de

compression, ou d'échantillons ayant une forme de fil de petit diamètre, qui présentent une surface visible insuffisante pour des mesures précises.

1.1.1. Extensomètres à contact

1.1.1.1. Extensomètre à pince

Un extensomètre à pince est un dispositif qui est fixé sur un échantillon d'essai dans le but de mesurer sa déformation pendant des essais mécaniques. Il se compose habituellement de deux bras qui sont accrochés sur l'échantillon comme montré sur la *Figure 1.1*, chacun équipé d'une jauge ou d'un capteur de contrainte. Lorsque l'échantillon subit une charge mécanique ou une déformation, l'extensomètre à pince mesure le déplacement relatif entre les deux bras, permettant ainsi le calcul de la contrainte à partir de l'allongement mesuré.



Figure 1.1 Extensomètre à pince attaché à une éprouvette d'essai

L'extensomètre à pince est fréquemment utilisé dans les essais de matériaux tels que l'essai de traction, mesurer des déformations afin de calculer des propriétés mécaniques telles que le module d'élasticité, la limite d'élasticité et la ténacité à la rupture. La plage de mesure des pinces de l'extensomètre à pince varie généralement de quelques millimètres à 100 millimètres, selon la taille et l'objectif de l'appareil.

Cependant, en raison du contact direct avec l'échantillon d'essai, les extensomètres à pince peuvent subir des dommages, ou être détruits, en particulier dans les cas où le test effectué est d'une nature destructif au échantillon, ou lorsque l'échantillon présente une élasticité élevée.

1.1.1.2. Jauge de contrainte

Une jauge de contrainte est un appareil utilisé pour mesurer la contrainte ou la déformation d'un objet. Il se compose généralement d'une feuille ou d'un fil métallique qui est collé à la surface de l'objet mesuré. Lorsque l'objet est soumis à une contrainte ou à une déformation, la jauge de contrainte subit un changement de résistance, qui est proportionnel à la quantité de contrainte ou de déformation.

Les conducteurs à jauge de contrainte sont généralement de fines bandes de film métallique déposées sur un matériau de substrat non conducteur appelé support. (Voir Figure 1.2).

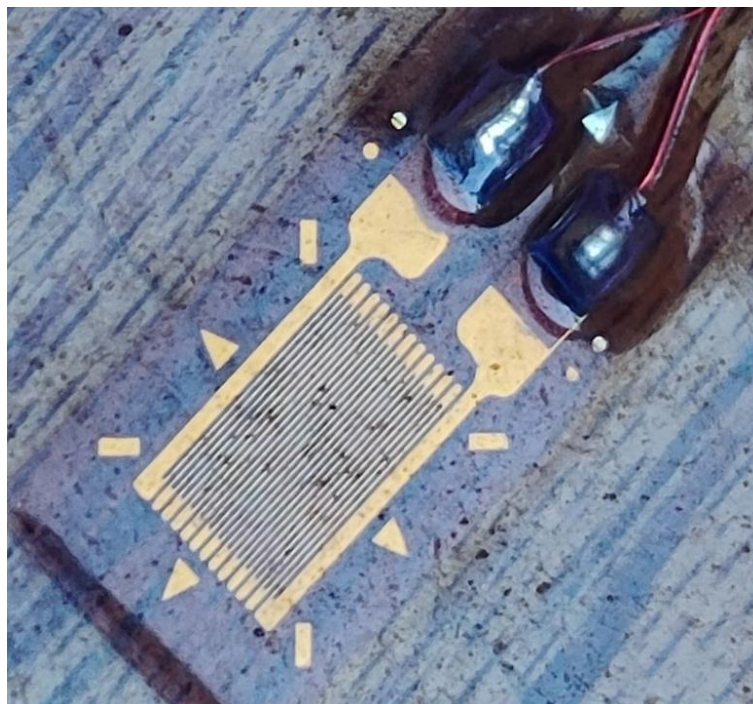


Figure 1.2 Photo d'une jauge de contrainte attachée à une éprouvette en bois

Les jauges de contrainte sont couramment utilisées en ingénierie et en science des matériaux pour mesurer les contraintes et les déformations dans les structures, les machines et autres systèmes mécaniques. Ils sont particulièrement utiles pour mesurer de petites déformations et sont souvent utilisés en combinaison avec d'autres capteurs, tels que des accéléromètres et des cellules de charge, pour fournir une image complète du comportement mécanique d'un système.

Les jauges de contrainte mesurent la contrainte dans une seule direction, le long de l'orientation du fil fin qui zigzague d'avant en arrière. Pour cela, une seule jauge de contrainte est souvent appelée jauge axiale, qui est l'abréviation de jauge uni axiale, un nom reflétant sa sensibilité à la déformation dans une seule direction. [1]

1.1.2. Extensomètres sans contact

Pour certain application ou l'utilisation d'un extensomètre à contact est non pratique ou risque endommager l'éprouvette, un autre type d'extensomètres peut être utilisé qui permet de mesurer les déformations à distance.

Parmi les avantages principaux des extensomètres sans contact est qu'ils peuvent être utilisés jusqu'au point de rupture du matériau sans dommage. Un exemple de ceci peut être trouvé dans la caractérisation des biomatériaux et des polymères de qualité médicale, où l'extensométrie vidéo prend en charge la mesure de grandes déformations. Les applications supplémentaires incluent les tests de composants médicaux en solution, là où la fixation d'un extensomètre traditionnel ne serait pas pratique.

1.1.2.1. Extensomètres optiques

Les extensomètres optiques, souvent appelées extensomètres vidéo fonctionnent à l'aide d'un camera qui capture l'échantillon sur un vidéo, comme la Figure 1.3 montre. Ce type d'extensomètres nécessite que des marques de mesure soient attachées à l'échantillon. Ces repères de mesure peuvent être cloués ou collés sur l'échantillon, ou l'échantillon est marqué avec un stylo de couleur. [2]

Ces marques sont captées par une caméra, dont la vidéo est traité par des algorithmes logiciels qui déterminent et convertit les valeurs du mouvement des marques en valeurs d'extension.



Figure 1.3 Extensomètre vidéo pointant vers une éprouvette

1.1.2.2. Extensomètres laser

Les extensomètres laser fonctionnent par l'émission d'un faisceau laser sur la surface de l'échantillon (Voir Figure 1.4), similairement aux extensomètres vidéo, les réflexions de la surface de l'échantillon sont ensuite reçues par une caméra et traitées par des algorithmes logiciels afin d'obtenir les valeurs de la déformation.

Contrairement aux extensomètres vidéo, lors de l'utilisation d'un extensomètre laser, l'utilisation des marques sur l'échantillon n'est pas nécessaire.



Figure 1.4 Extensomètre laser pointant vers une éprouvette [3]

1.2. Principe de fonctionnement d'une jauge de contrainte

Le fonctionnement d'une jauge de contrainte est fondé sur les variations de la résistance électrique d'un fil conducteur métallique de longueur cause de changement de sa longueur, section transversale ou les deux, en raison de l'application d'une contrainte.

Cette variation est régie par une relation directement proportionnelle entre la longueur du fil et sa résistance, et inversement proportionnelle à sa section transversale, selon l'équation suivante [4] :

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad 1.1$$

R : La résistance du fil [Ω]

ρ : La résistivité [$\Omega \cdot m$]

L : Longueur du fil [m]

A : Aire de la section transversale du fil [m^2]

La valeur de la déformation causée par la contrainte est déterminée en mesurant le changement de résistance de la jauge, comme résultant du changement des dimensions de l'objet dû à la force appliquée. Ce changement de résistance est plus petit par rapport à la résistance de la jauge et doit donc être mesuré avec précision pour déterminer la contrainte.

1.3. Facteur de jauge

L'un des paramètres fondamentaux de la jauge de contrainte est sa sensibilité à la déformation, exprimée en facteur de jauge.

Le facteur de jauge est le rapport de la variation fractionnelle de la résistance électrique à la variation fractionnaire de la longueur, ou déformation [5] :

$$\text{Facteur de jauge} = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon} \quad 1.2$$

R : Résistance nominale de la jauge [Ω]

ΔR : Variation de résistance de la jauge [Ω]

L : Longueur de l'échantillon mesuré [m]

ΔL : Changement de la longueur de l'échantillon sous charge [m]

ε : La valeur de déformation

Le facteur d'une jauge de contrainte particulière est généralement indiqué par le fournisseur dans sa documentation, comme montre dans la Figure 1.5 ci-dessous. En pratique, les mesures de déformation impliquent rarement des quantités supérieures à quelques centaines de microdéformations. Ce qui signifie que la variation de résistance électrique est trop faible pour être mesurée avec précision. [5]

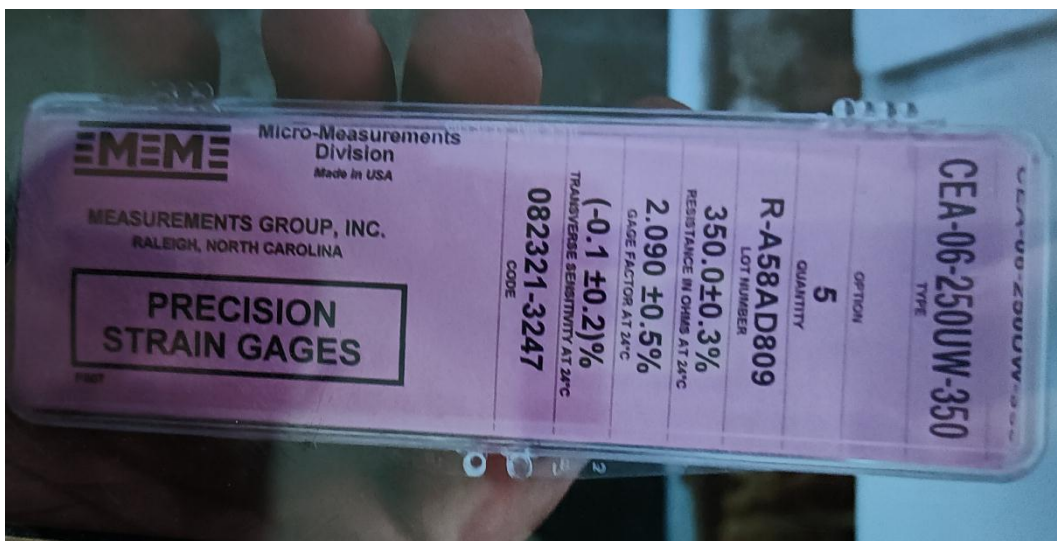


Figure 1.5 Photo d'une jauge de contrainte sous emballage

Par conséquent, les jauges de contrainte sont généralement accompagnées d'un circuit en pont de Wheatstone, qui permet des mesures précises des variations relatives des résistances électriques.

1.4. Pont de Wheatstone

Un pont de Wheatstone est un circuit électrique utilisé pour mesurer une résistance électrique inconnue avec une haute degré de précision, ou comme moyen de calibrer des instruments de mesure, des voltmètres, des ampèremètres. Ce circuit se compose d'un arrangement de quatre résistances configurées dans un agencement familier en forme de diamant comme montré dans la Figure 1.6, dont deux bornes sont d'entrée et les autres deux bornes sont de sortie.

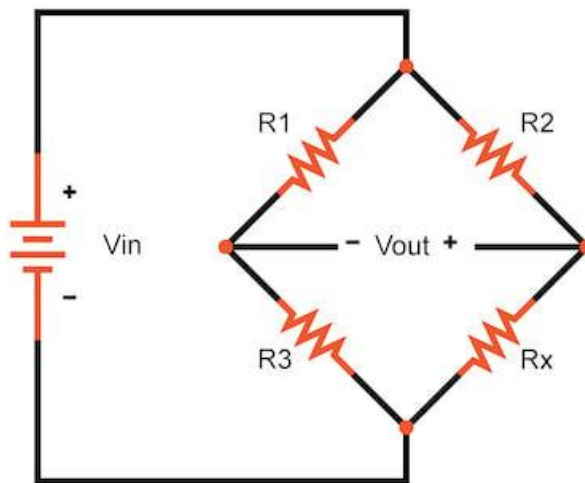


Figure 1.6 Diagramme du circuit pont de Wheatstone

Ce type de circuit est dit « en équilibre » lorsque la différence de potentiel V_{out} sera nulle, pour obtenir sa, le rapport entre les résistances doit être bien défini selon la formule :

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_x} \quad 1.3$$

Dans cette configuration même un petit changement de résistance R_x va provoquer un déséquilibre du pont. Qui va se manifester par une tension non nulle à V_{out} avec la polarité indiquant si R_x est inférieur ou supérieur à la valeur équilibrée. [6]

Pour calculer la valeur de la résistance R_x nous utilisons les lois de Kirchhoff : la loi des mailles et la loi des nœuds.

Loi des nœuds : la somme algébrique des intensités des courants qui entrent par un nœud est égale à la somme algébrique des intensités des courants qui en sortent. [7]

Loi des mailles : Dans une maille d'un réseau électrique, la somme des tensions le long de cette maille est toujours nulle. [8]

En utilisant ces lois on arrive à l'équation suivante :

$$V_{out} = V_{in} \left[\frac{R_x}{R_3 + R_x} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \quad 1.4$$

Similairement, on peut résoudre pour R_x afin d'arriver à l'équation suivante :

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_3 + R_3(R_1 + R_2) \cdot \frac{V_{out}}{V_{in}}}{R_1 - (R_1 + R_2) \cdot \frac{V_{out}}{V_{in}}} \quad 1.5$$

V_{in} : Voltage de l'entre au circuit [V]

V_{out} : Différence du potentiel entre les bornes du pont [V]

R_1, R_2, R_3, R_x : Les valeurs des résistances [Ω]

1.4.1. Types du pont de Wheatstone

Étant donné que le pont de Wheatstone utilise 4 résistances, cela permet la possibilité d'utiliser différentes configurations adaptées à différentes applications.

Il existe 3 types différents de configurations de pont de Wheatstone : quart de pont, demi-pont et pont complet, déterminés par le nombre d'éléments actifs dans le pont.

Dans certaines applications, en fonction de la tâche de mesure, seuls certains des côtés du pont contiennent des jauges de contrainte actives, le reste étant constitué de résistances de complétion de pont.

1.4.2. Quart de pont

Dans une configuration en quart de pont, une seule des 4 résistances est une jauge de contrainte comme montré dans la Figure 1.7, les autres sont des résistances de compléments de valeur de résistance connue et fixe.

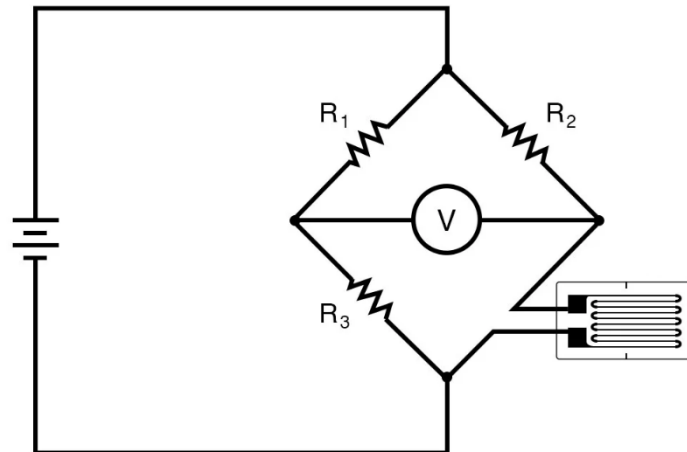


Figure 1.7 Schéma d'un pont de Wheatstone en quart de pont

Dans cette configuration, les valeurs de résistance des résistances complémentaires R_1 , R_2 et R_3 sont choisies égales à la résistance de la jauge de contrainte lorsqu'aucune force n'est appliquée afin d'assurer que le pont sera symétriquement équilibré et le voltmètre indiquera zéro volt, représentant une force nulle sur la jauge de contrainte. [9]

Au fur et à mesure que la jauge de contrainte est sollicitée, sa résistance va changer, déséquilibrant le pont et produisant une indication au voltmètre.

1.4.2.1. Effet de la résistance du fil et de changement de la température

La résistance de la jauge de contrainte n'est pas la seule résistance mesurée : la résistance électrique des fils conducteurs est en série avec la résistance du capteur de jauge de contrainte et sera présentée au pont de Wheatstone dans le cadre de la résistance du bras de pont. Cela entraînera un déséquilibre du pont, qui doit être compensé soit en utilisant le réglage de l'équilibre sur l'instrument en cas d'utilisation d'un appareil de mesure qui contient un pont de Wheatstone intégrée, soit en modifiant les valeurs des autres résistances.

De plus, la résistance du fil conducteur n'est pas active dans la mesure de la contrainte. Étant donné que la sensibilité à la déformation de la jauge dans le circuit en pont est relative à la résistance de démarrage de la jauge installée, il y aura une réduction de la sensibilité de

la jauge à la déformation (appelée désensibilisation du facteur de jauge) causée par la résistance inactive du fil conducteur. [10]

Aussi lorsque la température des 2 fils conducteurs change, la résistance électrique des fils change, qui provoquera un changement apparent de la lecture de la contrainte qui n'est pas lié au changement réel de la contrainte de la pièce testée.

Ces effets peuvent être diminués en utilisant une configuration avec 3 fils comme montré sur la Figure 1.8, en connectant une partie de la jauge de contrainte directement au voltmètre et à la résistance R_2 .

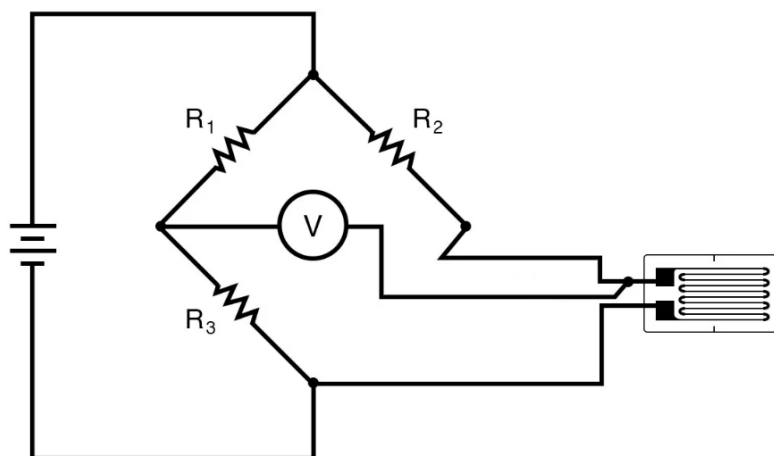


Figure 1.8 Schéma d'un pont de Wheatstone en quart de pont avec 3 fils

Lorsque les 3 fils d'un système à 3 fils sont de longueur égale, cette configuration place une résistance de fil égale dans deux bras adjacents du pont de Wheatstone, en maintenant le pont équilibré par rapport aux fils conducteurs.

De plus, même si la température change pendant le test, le changement de résistance induit par la température des fils sera annulé dans le pont et n'entraînera pas de changement apparent dans la lecture de la contrainte. (Tant que les fils conducteurs restent à la même température l'un par rapport à l'autre). [10]

De plus, une autre façon d'atténuer les effets des changements de température consiste à utiliser une autre jauge de contrainte factice, montée en contact thermique étroit avec la jauge de contrainte active mais non attachée d'une façon permanente à l'éprouvette (n'est pas collée). Cette configuration –montré dans la Figure 1.9- est souvent appelée configuration II.

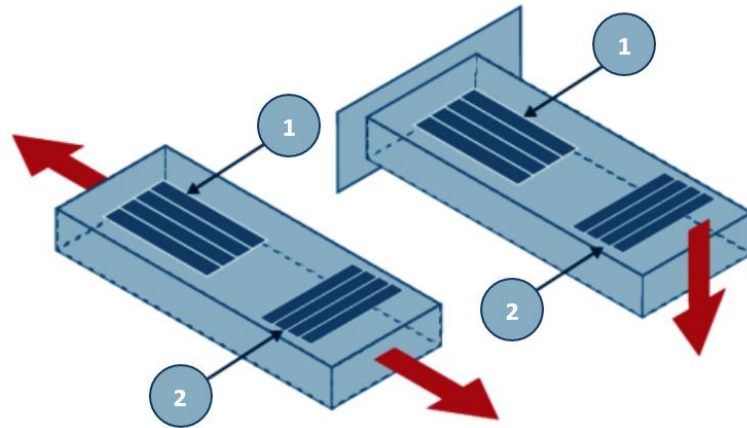


Figure 1.9 Illustration d'une jauge de contrainte en quart de pont avec jauge factice (Configuration II)

De cette façon, la résistance électrique de la jauge factice n'est pas affectée par les contraintes mécaniques, mais tout changement de température affecte les deux jauges de la même manière. [11]

Étant donné que les changements de température sont identiques dans les deux jauges de contrainte, le rapport de leur résistance ne change pas et les effets de la température sont minimisés.

1.4.3. Demi-Pont

Dans une configuration en demi-pont, 2 des 4 résistances sont remplacées par des jauges de contrainte, ce qui est montré dans la Figure 1.10 ci-dessous.

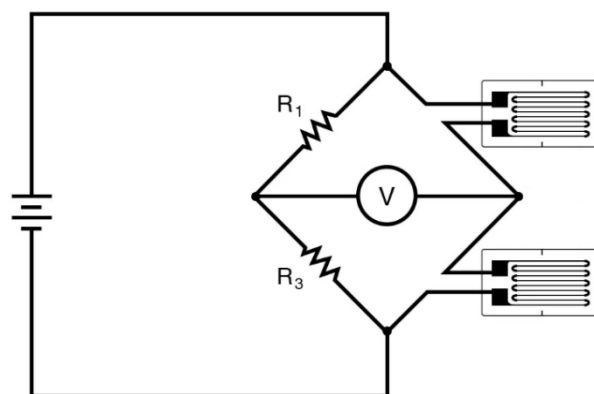
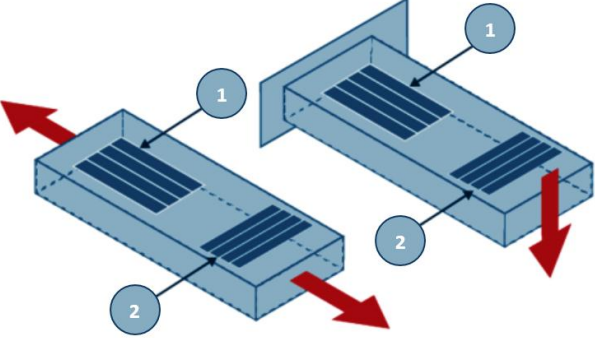
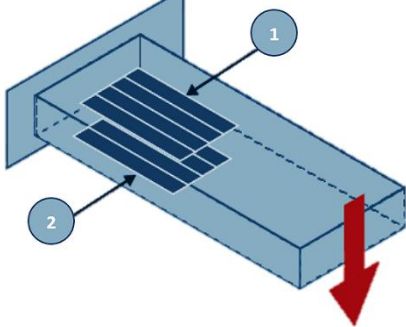


Figure 1.10 Schéma d'un pont de Wheatstone en configuration demi-pont

Étant donné que les deux jauges de contrainte augmenteront ou diminueront la résistance dans la même proportion en réponse aux changements de température, ce qui rend les effets du changement de température restent annulé et l'effet du changement de la température est minimal. Cela double également la sensibilité du pont à la contrainte en rendant les deux jauges de contrainte actives.

1.4.3.1. Types de configurations on demi-pont

Tableau 1.1 Comparaison entre les types de configurations en demi-pont

 <p>Figure 1.11 Illustration de 2 jauges de contrainte en demi-pont en configuration I</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mesure la contrainte axiale ou de flexion • #1 est une jauge active mesurant la déformation en traction ($+\varepsilon$) • #2 est une jauge active compensant l'effet de Poisson ($-\nu\varepsilon$)
 <p>Figure 1.12 Illustration de 2 jauges de contrainte en demi-pont en configuration II</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mesure uniquement la déformation en flexion • #1 est une jauge active mesurant la déformation en traction ($+\varepsilon$) • #2 est une jauge active mesurant la contrainte de compression ($-\varepsilon$)

La configuration I est souvent confondue avec la configuration en quart de pont de type II (avec une deuxième jauge pour compenser l'effet du fils et du changement de température), mais le type I a un élément 2 actif qui est attaché à l'échantillon. [5]

1.4.4. Pont Complet

Une configuration de jauge de contrainte à pont complet est conçue avec quatre jauges de contrainte actives disposées en forme de diamant pour une mesure plus précise des déformations de l'échantillon. (Voir Figure 1.13)

Les quatre jauges sont actives, ce qui permet d'obtenir une mesure plus précise des déformations de l'échantillon. Cette configuration est particulièrement utile pour situations avec une faible sensibilité aux déformations, car elle permet d'augmenter la sensibilité globale du système de mesure.

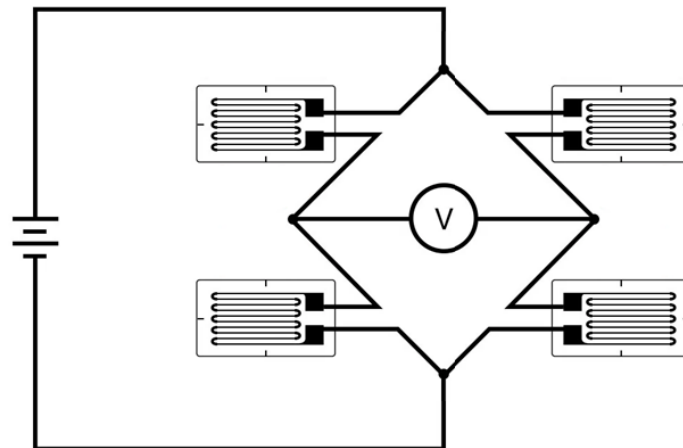


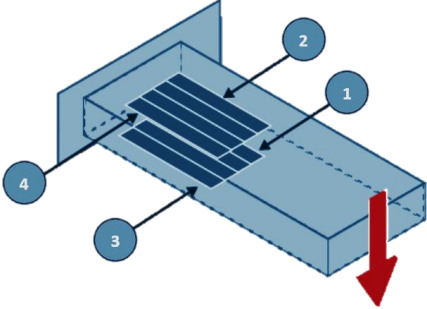
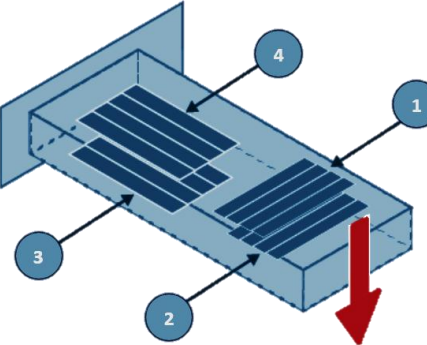
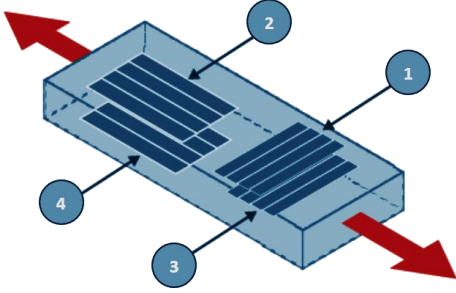
Figure 1.13 Schéma d'un pont de Wheatstone en pont complet

Bien que les configurations en demi-pont et en pont complet sont plus sensibles que la configuration en quart de pont, il n'est pas toujours possible de fixer des paires supplémentaires de jauges de contrainte sur l'éprouvette, c'est pourquoi la configuration en quart de pont est la plus couramment utilisée dans les systèmes de mesure de contrainte.

Cependant, il convient de noter que la configuration en pont complet est moins sensible aux changements de température en raison des changements de la résistance due aux changements thermiques fournis par les quatre jauges annulent chacun les autres.

1.4.4.1. Types de configurations on pont complète

Tableau 1.2 Comparaison entre les types de configurations en pont complet

 <p>Figure 1.14 Illustration de 4 jauges de contrainte en pont complet en configuration I</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Très sensible à la contrainte de flexion uniquement • 2 jauges actives mesurant la contrainte de compression ($-\epsilon$) • 2 jauges actives mesurant la contrainte de traction ($+\epsilon$)
 <p>Figure 1.15 Illustration de 4 jauges de contrainte en pont complet en configuration II</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sensible à la flexion uniquement • #1 est une jauge active mesurant l'effet de Poisson compressif ($-\nu\epsilon$) • #2 est une jauge active mesurant l'effet Poisson de traction ($+\nu\epsilon$) • #3 est une jauge active mesurant la contrainte de compression ($-\epsilon$) • #4 est une jauge active mesurant la contrainte de traction ($+\epsilon$)
 <p>Figure 1.16 Illustration de 4 jauges de contrainte en pont complet en configuration III</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mesure la déformation axiale • 2 jauges actives mesurant l'effet de Poisson compressif ($-\nu\epsilon$) • 2 sont des jauges actives mesurant la contrainte de traction ($+\epsilon$)

En configuration I, il y a 2 jauges en haut côte à côte et 2 jauges en bas côte à côte

Conclusion

En conclusion, ce chapitre a fourni une exploration des extensomètres, avec un accent particulier sur les jauges de contrainte. Grâce à une recherche sur les différents types de jauges de contrainte, de leurs caractéristiques et de l'utilisation du pont de Wheatstone et de ses différentes configurations, nous avons établi une base solide pour comprendre les principes et les mécanismes sous-jacents aux extensomètres.

En approfondissant le concept de facteur de jauge, nous avons acquis une compréhension de la sensibilité et de la précision offertes par différentes jauges de contrainte, ce qui nous permet de prendre des décisions éclairées concernant leur mise en œuvre dans les essais de matériaux. La recherche sur le pont de Wheatstone a mis en lumière l'importance des configurations de pont, telles que le quart, le demi-pont et le pont complet, pour mesurer et amplifier efficacement les changements infimes de résistance causés par la contrainte.

De plus, ce chapitre a souligné l'importance des extensomètres dans les essais de matériaux, car ils jouent un rôle central dans la capture et la quantification des déformations dans les poutres et les structures. Les connaissances acquises grâce à cette recherche préliminaire serviront de cadre crucial pour les chapitres suivants, où nous approfondirons l'équipement et l'étude expérimentale liés à l'analyse de la déformation.

Dans l'ensemble, les connaissances acquises dans ce chapitre s'avéreront essentielles dans notre quête de compréhension du comportement de déformation des poutres à l'aide d'extensomètres. En établissant une solide compréhension des jauges de contrainte et du pont de Wheatstone, nous sommes équipés des connaissances nécessaires pour utiliser efficacement ces outils dans les étapes ultérieures de nos recherches.

Chapitre 2

Présentation du matériel

Introduction

Parmi les instruments de mesure disponibles au niveau des laboratoires pédagogiques de la faculté de technologie de l'Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen, ils existent ces équipements :

- Indicateur de déformation modèle P-3500
- Unité de commutation et d'équilibrage SB-10
- Testeur d'installation de jauge 1300
- Un nombre d'éprouvettes en plusieurs matériaux

Ce chapitre propose un examen des équipements disponibles. En offrant un aperçu complet des fonctionnalités et des modes de fonctionnement de l'équipement, ce chapitre sert d'introduction complète aux outils utilisés dans l'étude expérimentale. De plus, il vise à fournir aux lecteurs une compréhension globale des capacités offertes par cet équipement.

Tout au long de ce chapitre, chaque équipement sera examiné, accompagné d'une explication de ses fonctions spécifiques et de ses modes de fonctionnement. En nous familiarisant avec cet équipement, nous pouvons exploiter efficacement son potentiel et tirer parti de ses capacités pour obtenir des données précises et significatives concernant la déformation des poutres.

De plus, ce chapitre constitue une ressource précieuse pour les futurs chercheurs et praticiens de l'ingénierie qui souhaitent explorer des domaines d'étude similaires. L'aperçu détaillé des fonctionnalités de l'équipement facilitera une prise de décision éclairée lors de la sélection des outils appropriés pour leurs efforts de recherche. De plus, il fournit une plate-forme pour des collaborations potentielles et l'échange de connaissances entre les chercheurs intéressés par les essais de matériaux et l'analyse de déformation.

2.1. A propos de Vishay Precision Group, Inc

Ces équipements susmentionnés ont été conçus et fabriqués par Micro-Measurements, une filiale en propriété exclusive de Vishay Intertechnology, Inc, qui est une société américaine située près de Raleigh, en Caroline du Nord, qui se spécialise dans le domaine recherche et de développement des instruments de mesure tels que les jauges de contrainte, capteurs, accessoires de l'installation. [12]

En juillet 2010, *Vishay Intertechnology* a cédé ses activités de mesure de précision et de technologie des feuilles, qui sont devenues Vishay Precision Group, Inc. (VPG). [13]

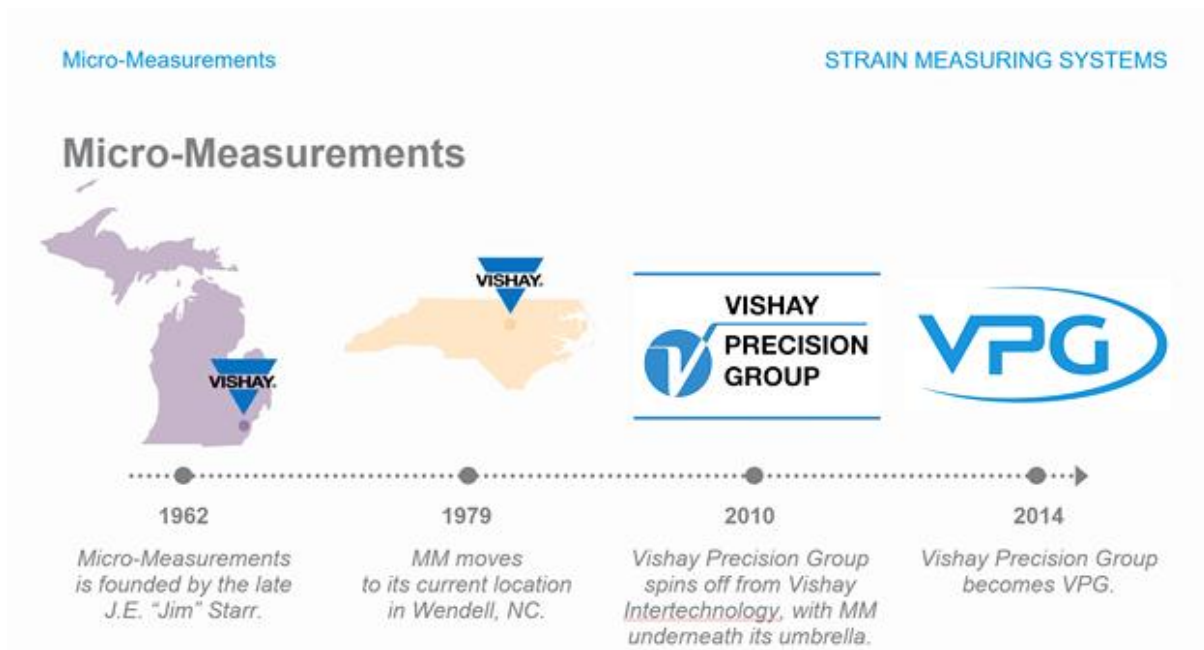


Figure 2.1 Histoire de Micro-Measurements [12]

2.2. Jauges de contraintes

Les jauges de contrainte disponibles sont du modèle *CEA-06-250UW-350* de la marque Micro-Measurements. Montré dans la Figure 1.5.

Ces jauges, appelées jauges à feuille, mettent en œuvre une conception comprenant une fine feuille de métal ou d'alliage (le plus souvent, un alliage cuivre-nickel ou un alliage nickel-chrome) fixée sur un support isolant (généralement un type de silicone). [14]

La feuille est gravée pour créer un motif ressemblant à une série de fils en zigzag (Comme illustré dans le schéma de la Figure 2.2). La combinaison résultante de la feuille et du support mesure généralement moins de 0.03 mm d'épaisseur. [15]

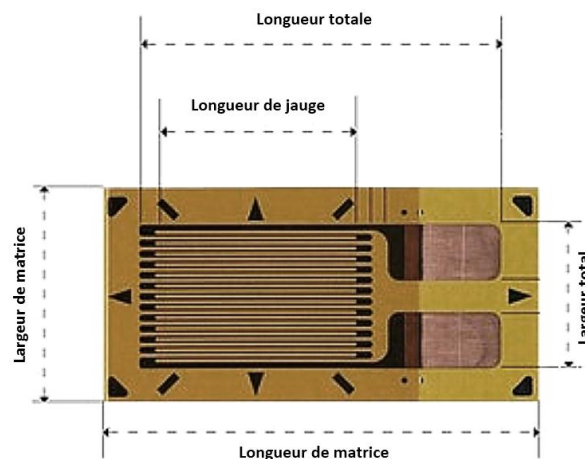


Figure 2.2 Schema d'un jauge de contrainte [16]

Ces jauges ont les caractéristiques suivantes :

Tableau 2.1 Caractéristiques de la jauge de contrainte

Résistance (Ω)	350Ω \pm0.3%
Facteur de jauge	2.090 \pm0.5%
Longueur totale	11.43 mm
Longueur de jauge	6.35 mm
Longueur de matrice	14.0 mm
Largeur totale	4.57 mm
Largeur de matrice	6.90 mm

2.3. Pont d'extensométrie P-3500

L'indicateur de déformation modèle P-3500 est un instrument portable alimenté par batterie, spécialement conçu pour les tests d'analyse de contrainte et les applications de jauge de contrainte.

Avec ses caractéristiques uniques, le modèle P-3500 offre le choix entre des écrans LCD ou LED et intègre plusieurs fonctionnalités de fonctionnement distinctes. Cet indicateur fournit des mesures précises directement sur l'écran, atteignant une résolution de 1 microdéformation.

Le P-3500 est équipé d'une sortie analogique qui offre une bande passante de -3dB de 4kHz. Cette sortie permet le raccordement d'un oscilloscope ou d'un enregistreur externe. De plus, l'instrument comprend un amplificateur de courant continu très stable, garantissant des lectures précises et cohérentes.

Pour assurer la facilité d'utilisation, le P-3500 comprend un panneau de commande simple et intuitif (montré dans la Figure 2.3), qui suit une séquence logique d'étapes de configuration. L'opérateur peut choisir les commandes à bouton-poussoir à code couleur, les guidant tout au long du processus de préparation.

L'instrument accepte diverses entrées de jauge de contrainte, prenant en charge les configurations de pont complet, demi ou quart de pont. De plus, le P-3500 intègre tous les composants de complétion de pont nécessaires pour les jauges 120 Ω , 350 Ω et 1000 Ω , éliminant ainsi le besoin de composants supplémentaires. [17]

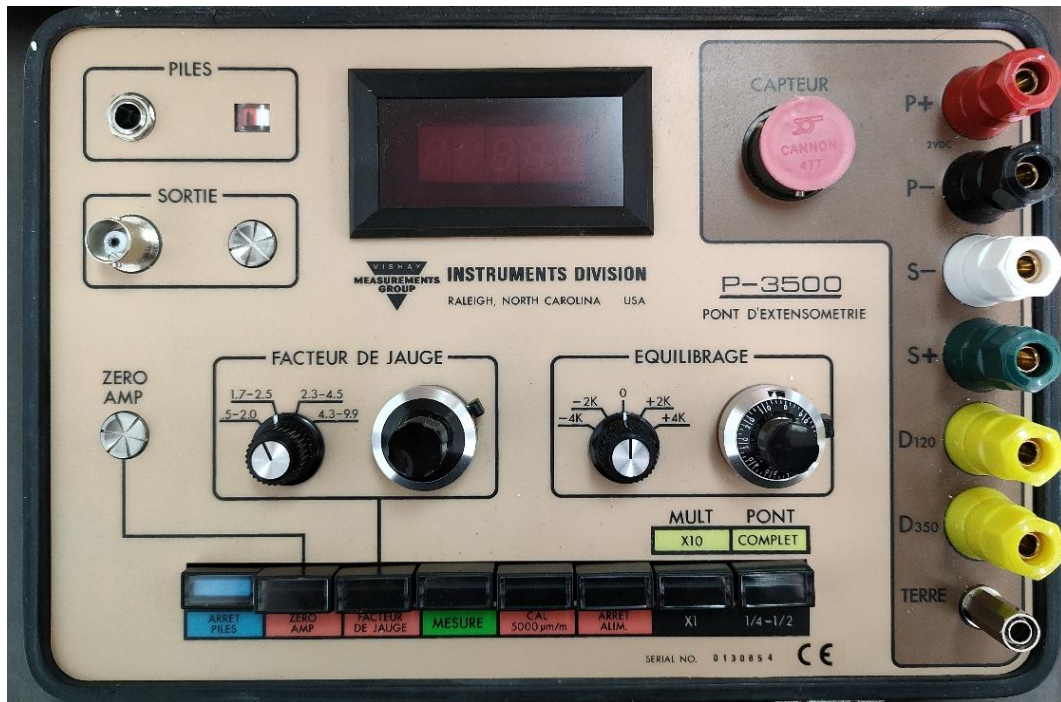


Figure 2.3 Panneau de contrôle de l'indicateur de déformation P-3500

Le P-3500 fonctionne à partir d'une batterie interne composée de 6 cellules du type "D" 1.5V (montré dans Figure 2.4), ou à partir d'un adaptateur secteur externe est également disponible (115 ou 230 VAC, 50 à 60 Hz). La durée de vie de la batterie est d'environ 250 à 300 heures d'utilisation continue. L'état de la batterie est surveillé par un compteur miniature sur le panneau avant lorsque l'instrument est allumé.

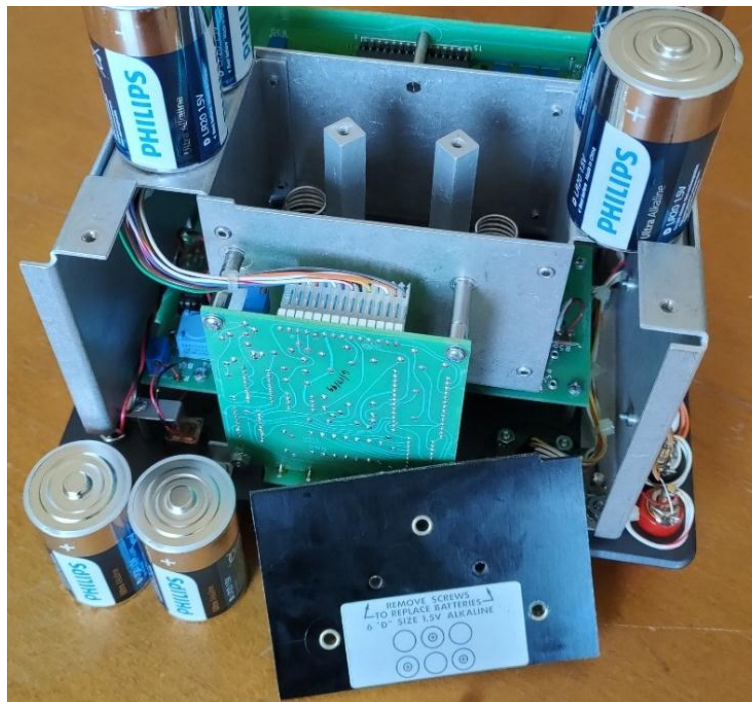


Figure 2.4 Composants internes d'un P-3500

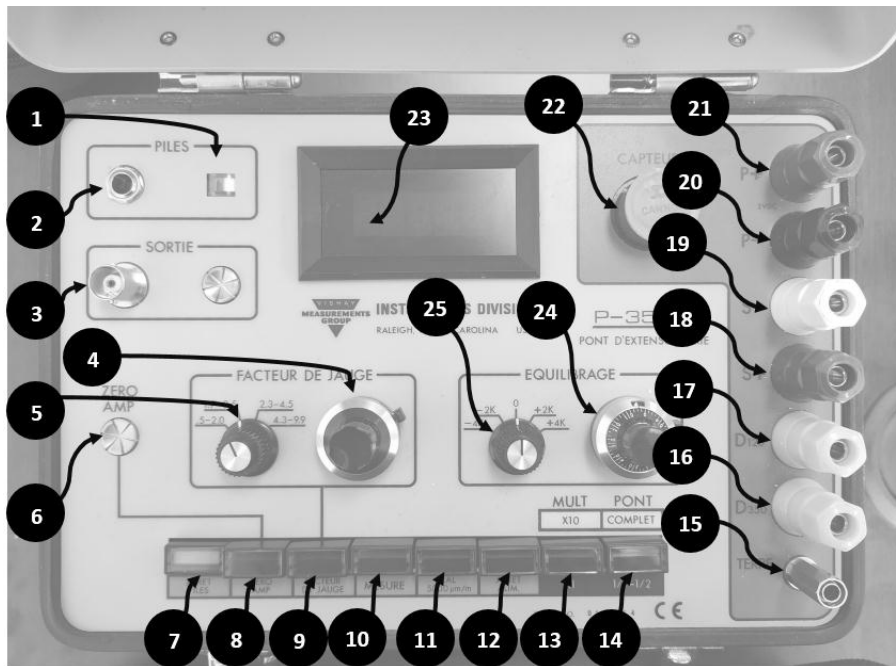


Figure 2.5 Les composants du panneau de contrôle d'un indicateur P-3500

Tableau 2.2 Désignation des composants du P-3500

N° du composant	Désignation
1	Indicateur de la batterie
2	Prise adaptateur secteur
3	Sortie analogique
4	Réglage fin du facteur de jauge
5	Réglage grossier du facteur de jauge
6	Réglage de l'amplificateur
7	Bouton de mise hors tension
8	Bouton de mise en mode réglage de l'amplificateur
9	Bouton de mise en mode réglage du facteur de jauge
10	Bouton de mise en mode mesure
11	Bouton de mise en mode calibration
12	Bouton de l'arrêt de l'alimentation
13	Bouton commutateur de mode 10x/1x
14	Bouton commutateur de mode du pont
15, 16, 17, 18, 19, 20, 21	Bornes de connexion avec jauge
22	Connecteur de transducteur optionnel externe
23	Afficheur
24	Réglage fin de l'équilibrage
25	Réglage grossier de l'équilibrage

2.3.1. Mode opératoire

Les commandes de fonctionnement du modèle P-3500 sont simples, directes et suivent une direction de gauche à droite.

Le modèle P-3500 a été spécialement conçu pour que le fonctionnement des commandes du panneau avant et des interrupteurs à bouton-poussoir soit simple et largement explicite. Les boutons poussoirs sont codés par couleur et permettent à l'opérateur de déterminer le mode de fonctionnement sélectionné facilement.

De plus, les six premiers boutons poussoirs sont verrouillés mécaniquement afin qu'aucun mode de fonctionnement inapproprié ne puisse être sélectionné. Les deux boutons poussoirs les plus à droite sélectionnent les modes de fonctionnement optionnels au choix d'utilisateur. [17]

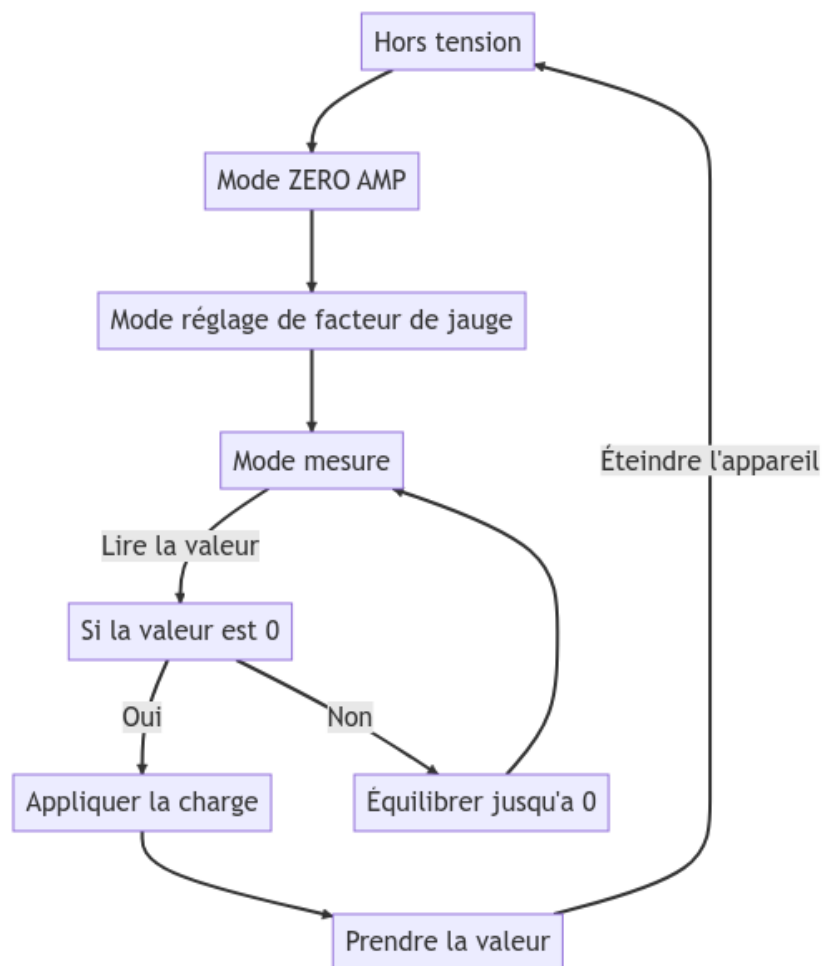


Figure 2.6 Schema organigramme du mode opératoire de P-3500

2.3.1.1. Mode hors-tension

Lorsque le bouton-poussoir « ARRET PILES » est enfoncé -indiqué ci-dessous dans la Figure 2.7-, l'alimentation principale (batterie ou alimentation CC) est coupée de tous circuits, l'alimentation est activée en appuyant sur l'un des boutons poussoirs suivants.



Figure 2.7 Modèle P-3500 en mode hors-tension

2.3.1.2. Mode ZERO AMP

Lorsque le bouton-poussoir « ZERO AMP » est enfoncé -indiqué ci-dessous dans la Figure 2.8-, les bornes **S+**, **S-** sont déconnectées du circuit en pont et connectées en interne au signal commun.

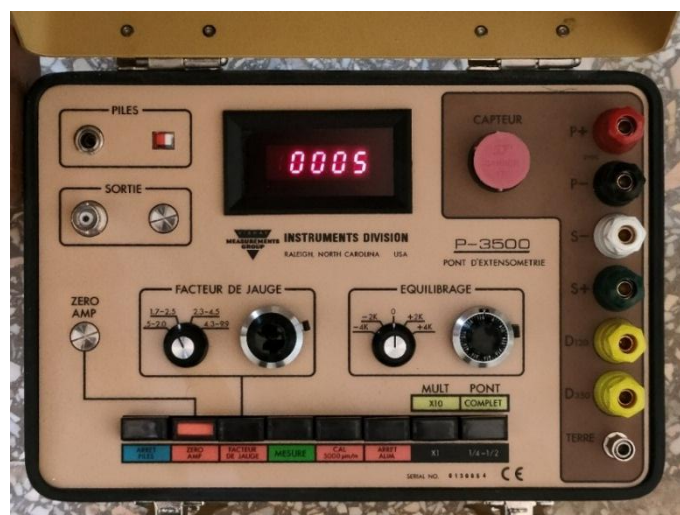


Figure 2.8 Modèle P-3500 en mode réglage d'amplification

Dans cette position, le bouton du bout des doigts ZERO AMP est utilisé pour ajuster une lecture de ± 0000 sur l'affichage de sortie.

L'ajustement doit être fait avec le multiplicateur (bouton MULT) en position X1.

2.3.1.3. Mode réglage du facteur de jauge

Lorsque le bouton-poussoir « FACTEUR DE JAUGE » est enfoncé -indiqué ci-dessous dans la Figure 2.9-, le facteur de jauge est affiché sur l’afficheur.



Figure 2.9 P-3500 en mode réglage du facteur de jauge

Le facteur de jauge peut être ajusté de manière grossière et ajusté avec précision par le bouton rotatif et le potentiomètre respectivement (Voir Figure 2.5). Après le facteur de jauge souhaité est réglé, le potentiomètre de réglage peut être verrouillé mécaniquement afin d'éviter de modifier accidentellement la valeur réglé.

2.3.1.4. Mode mesure

Lorsque le bouton-poussoir « MESURE » est enfoncé -indiqué ci-dessous dans la Figure 2.10-, tous les circuits internes sont configurés pour effectuer une mesure de déformation réelle qui est affiché sur l’afficheur.

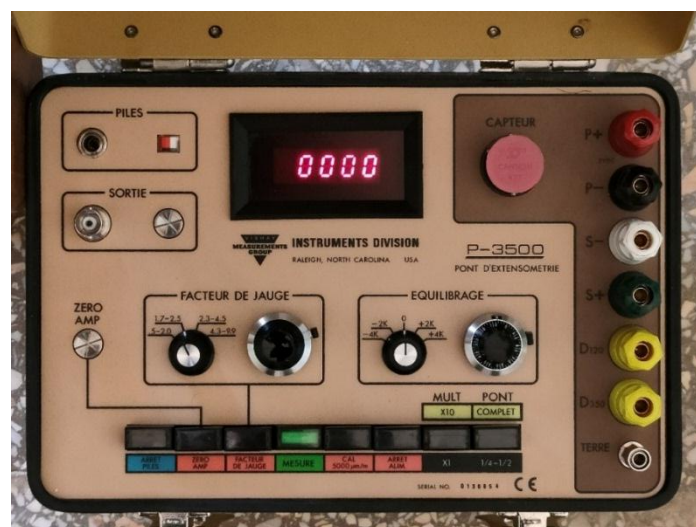


Figure 2.10 P-3500 en mode mesure

L'appareil doit être réglé correctement avant de se mettre en marche en mode mesure. En configurant tous ces paramètres :

- La jauge doit être connectée selon le montage désiré.
- L'un des positions $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ ou pont complet doit être sélectionné selon le type du montage.
- La position X1 doit être sélectionnée.
 - La valeur d'amplification doit être ajustée à ± 0000 .
 - Le facteur de jauge doit être ajusté pour la jauge utilisé.
- L'un des positions X1 ou X10 doit être sélectionné selon le montage et la quantité de déformation enregistrée.
- La valeur montrée doit être ajustée à ± 0000 avant de mettre une charge sur l'éprouvette.

2.3.1.5. Mode calibration

Lorsque le bouton-poussoir « CAL » est enfoncé -indiqué dans la Figure 2.11-, l'instrument entre dans le mode de calibration du facteur de jauge, afin de compenser la valeur de résistance du fils.

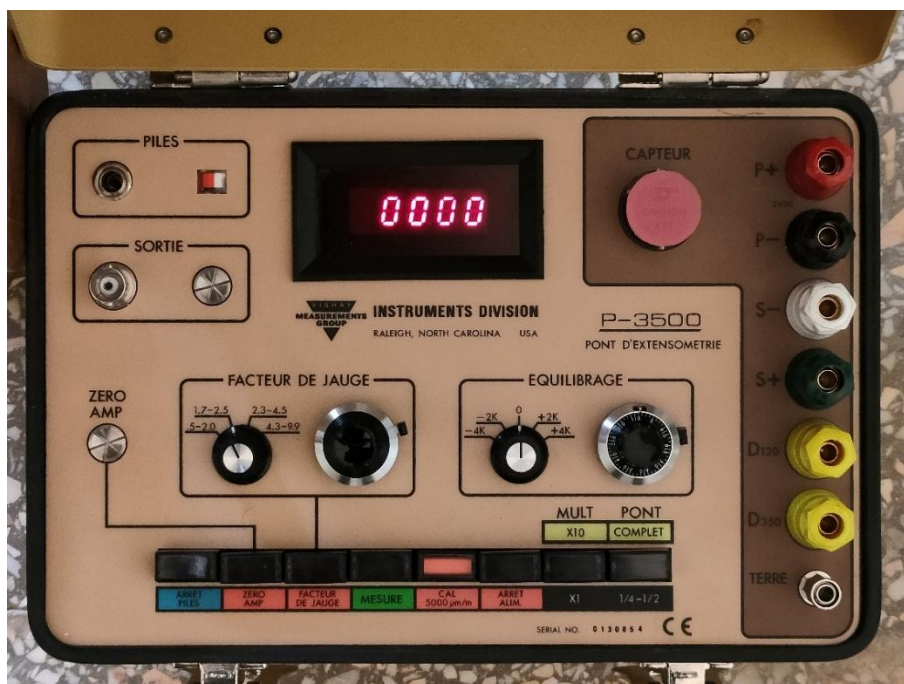


Figure 2.11 P-3500 en mode calibration

Le modèle P-3500 intègre des résistances d'étalonnage shunt sur les jauges factices internes de 120Ω et 350Ω .

Le mode d'étalonnage simule une déformation de $5000\mu\epsilon$ avec un facteur de jauge de 2.000. Si la jauge factice (quart de pont) est utilisée, appuyez sur le bouton-poussoir « CAL ». Si la résistance du fils est négligeable, la lecture affichée sera :

$$5000\mu\epsilon = \frac{2.000}{\text{facteur de jauge}} \mp 0.05\% \quad 2.1$$

Lors de l'utilisation d'une configuration en quart de pont, le mode de calibration peut également être utilisé en conjonction avec le mode réglage du facteur de jauge pour compenser la résistance du câble, cette procédure est la suivante :

- Enfoncer le bouton « CAL »
- Calculer le nombre de calibration selon l'équation suivante :

$$\text{nombre de calibration} = \frac{2.000}{\text{facteur de jauge}} * 5000\mu\epsilon \quad 2.2$$

- Ajustez le facteur de jauge jusqu'à ce que la valeur calculée s'affiche

2.3.1.6. Mode arrêt alimentation

Lorsque le bouton-poussoir « ARRET ALIM » est enfoncé-indiqué ci-dessous dans la Figure 2.12-, l'excitation du pont est supprimée du borne **P+** et elle sera est connectée directement à **P-**.

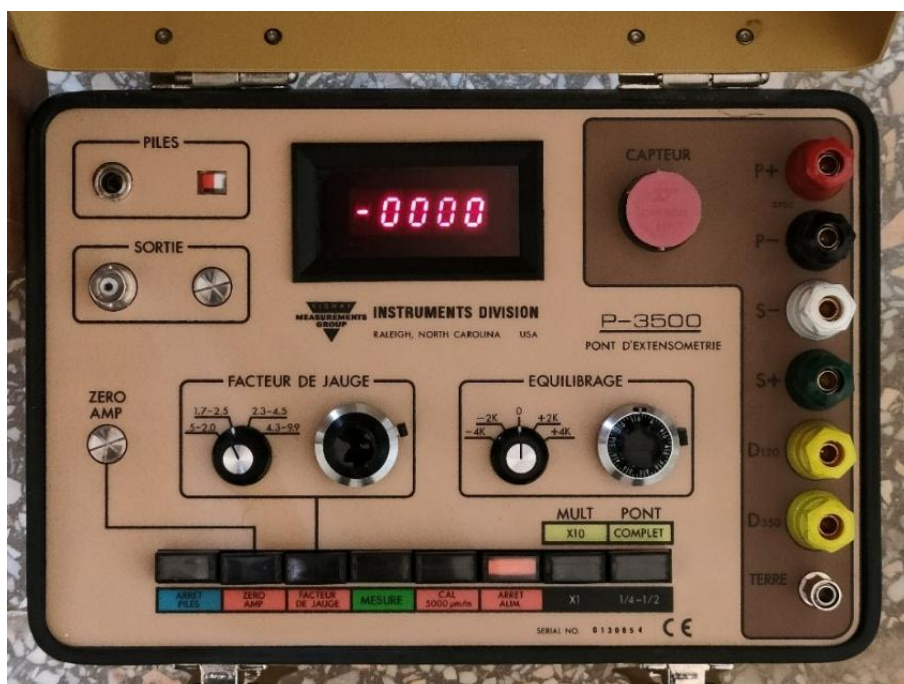


Figure 2.12 P-3500 en mode arrêt alimentation

Ce mode est utile si les mesures apparaissent bruitées ou instables. Si les interférences disparaissent lorsque bouton-poussoir « ARRET ALIM » est enfoncé, il est très probablement que l'interférence s'agit d'une nature mécanique ou liée à la charge appliqué. Si l'interférence est toujours présente, elle est très probablement de nature électrique : bruit électrique induit, une mauvaise mise à la terre ou des décalages induits thermiquement.

2.3.2. Réglages supplémentaires du mode opératoire

Le modèle P3500 offre des contrôles supplémentaires sur les mesures, dont le type de pont et le multiplicateur utilisé. Ces contrôles sont sélectionnés par les deux boutons poussoirs les plus à droite de l'instrument.

Ces 2 boutons ne sont pas verrouillé mécaniquement avec les autres boutons de commande et peut être sélectionné au choix de l'opérateur. [17]

2.3.2.1. Multiplicateur X1/X10

Dans le mode normale (X1), l'instrument offre une plage de mesure jusqu'à $\pm 19999\mu\epsilon$ avec une résolution de $\pm 1\mu\epsilon$.

Lorsque le bouton-poussoir « MULT » est enfoncé –indique ci-dessous dans la Figure 2.13-, l'échelle de l'instrument est augmentée par un facteur de 10 jusqu'à $\pm 199990\mu\epsilon$ et la résolution est diminuée à $\pm 10\mu\epsilon$. Dans cette configuration la valeur affiché doit être multiplié par 10 pour obtenir la valeur réelle mesuré.

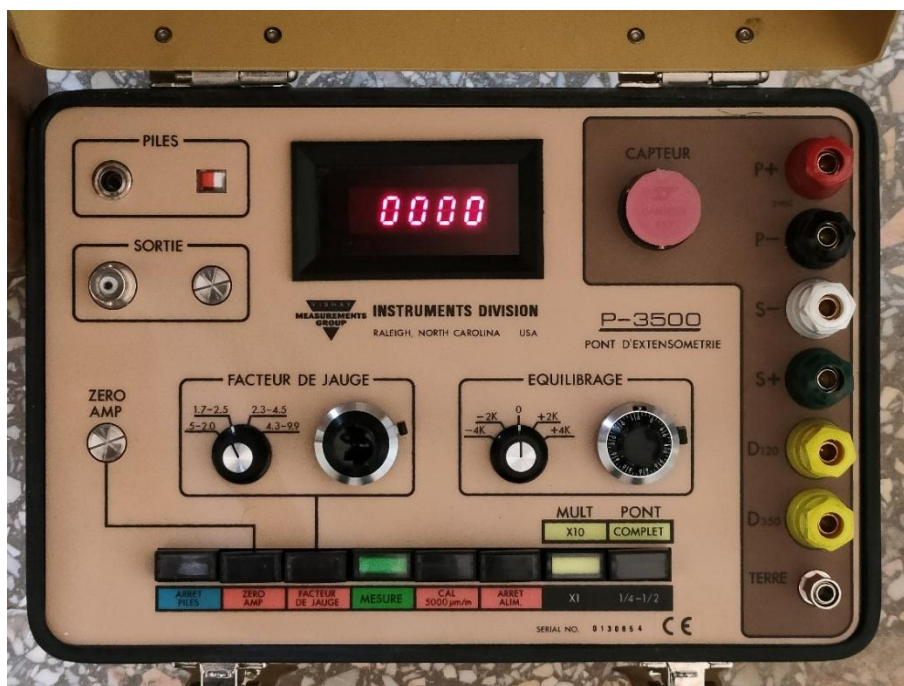


Figure 2.13 P-3500 en mode X10

Ce mode ne doit pas être sélectionné pour faire régler l'amplification dans le mode ZERO AMP (voir 2.3.1.2) et aussi pour faire régler le facteur de jauge dans le mode réglage du facteur de jauge (voir 2.3.1.3), Ces paramètres doivent être ajustés en mode normal (X1).

2.3.2.2. Mode du pont

Le model P-3500 offre 3 modes de configuration du pont de Wheatstone : quart de pont, demi-pont et pont complet.

Ces modes sont choisis par le bouton poussoir le plus droite du control de l'appareil. Quand le bouton poussoir est enfoncé –comme indiqué sure la Figure 2.14-, le mode pont complet est sélectionnée, les résistances internes sont déconnectes et l'appareil sera configuré pour utiliser seulement les jauges de contrainte connectées.

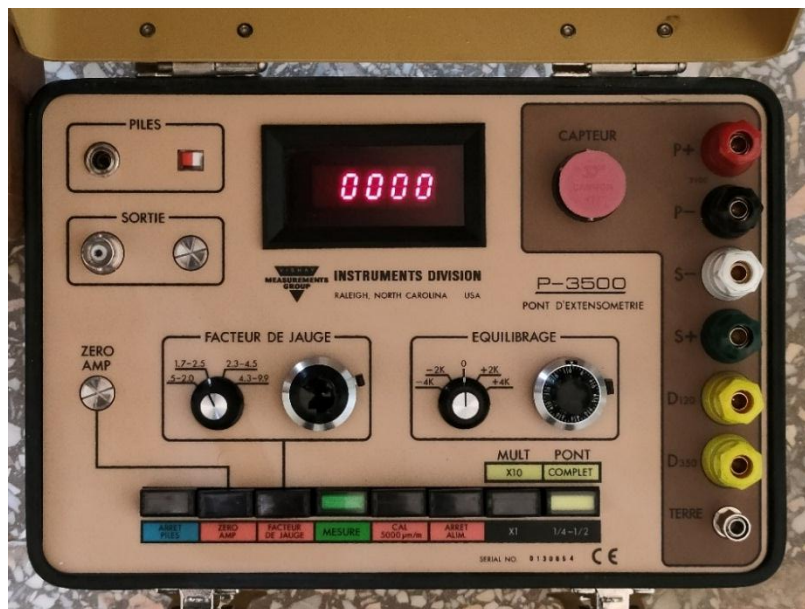


Figure 2.14 P-3500 en mode pont complet

2.3.3. Connexion au jauges

Les jauges de contrainte sont normalement connectées aux bornes de liaison sur le panneau avant. Ces bornes sont plaquée or pour une mieux liaison, et sont codées par couleur conformément à la pratique conventionnelle et sont clairement libellées.

Les instructions de montage de chaque configuration (quart de pont, demi-pont et pont complet) sont indiquées sur la couverture intérieure de l'appareil (Montré sur la Figure 2.15).

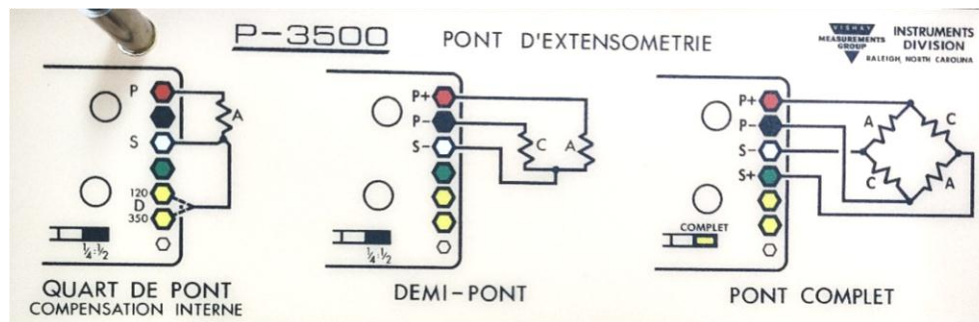


Figure 2.15 Schema du montage sur le modèle P-3500

2.4. Commutateur SB-10

L'unité de commutation et d'équilibrage SB-10 est un boîtier additionnel pour le model P-3500, il offre un moyen pratique de mesurer la déformation lorsque plusieurs jauges de contrainte sont impliquées. [18]

Tout comme son instrument compagnon -le P-3500-, le SB-10 comprend un panneau de contrôle simple et intuitif, illustré dans la Figure 2.16 ci-dessous. Il contient toutes les commandes nécessaires au bon fonctionnement.

Le modèle SB-10 est capable de recevoir jusqu'à 10 canaux de mesure. Ces canaux peuvent être commutés et connectés via 10 ensembles de bornes plaquées or, qui offrent une connexion rapide et fiable avec tout type de pont de mesure, qu'il s'agisse d'un quart de pont, d'un demi-pont ou d'un pont complet. De plus, il est également compatible avec la configuration en quart de pont avec 3 fils [13].



Figure 2.16 Panneau de control du Model SB-10

Pour chaque canal, il y a un potentiomètre d'équilibrage, ce qui permet d'ajuster avec précision la valeur affichée sur l'indicateur (sur le modèle P-3500) à ± 0000 pour chaque jauge installée.

Le commutateur des canaux du SB-10 a une position « Ouverte » pour permettre l'utilisation des SB-10 supplémentaires avec un seul indicateur de contrainte P-3500.

Les composants du panneau de contrôle de l'unité SB-10 sont répertoriés dans le Tableau 2.3 et la Figure 2.17 ci-dessous.

Tableau 2.3 Désignation des composants du SB-10

N° du composant	Désignation
1	Bornes de liaison à l'unité P-3500
2	Bouton de sélection de canal
3	Potentiomètres du réglage de l'équilibrage
4	Bornes de liaison aux jauges de contrainte

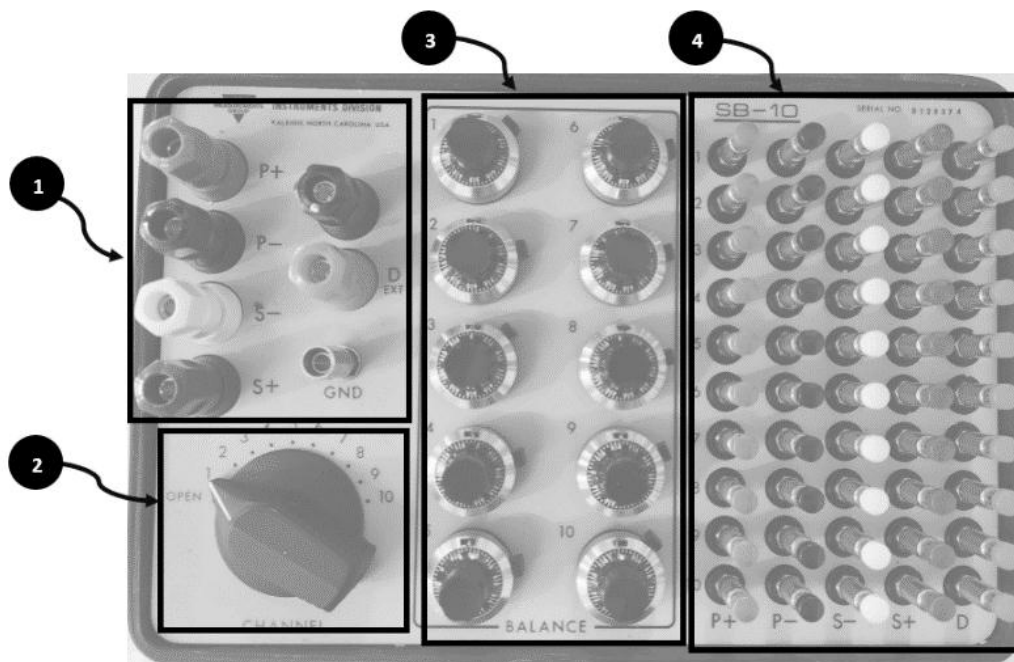


Figure 2.17 Les composants d'un commutateur SB-10

2.4.1. Mode opératoire

L'utilisation du commutateur SB-10 est simple, directe et similaire à l'utilisation du P-3500. Les instructions de montage de chaque configuration (quart de pont, demi-pont et pont complet) sont indiquées sur la couverture intérieure de l'appareil (Montré dans la Figure 2.18 ci-dessous).

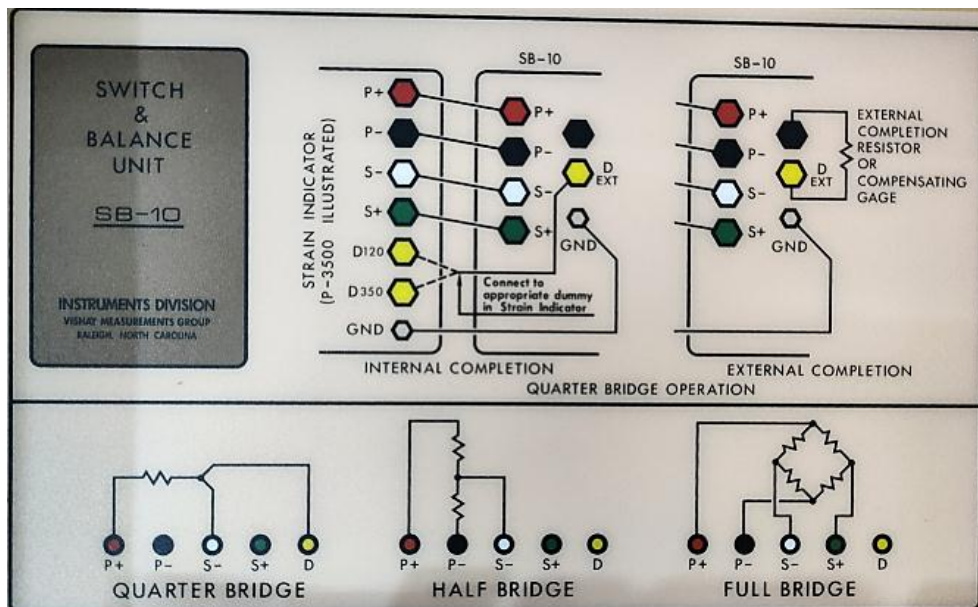


Figure 2.18 Schema du montage sur le modèle SB-10

Les étapes de configuration des deux unités sont les suivantes :

- Connectez les jauges de contrainte au commutateur SB-10 selon le schéma de câblage à l'intérieur du couvercle de l'appareil.
- Connectez le commutateur SB-10 au P-3500 selon le schéma de câblage à l'intérieur du couvercle du commutateur.
- Configurez les paramètres du P-3500 (amplification zéro, facteur de jauge) comme d'habitude. (Voir 2.3.1)
- Équilibrez chaque jauge sur le Switch pour obtenir une lecture de ± 0000 .

Les deux appareils sont maintenant prêts à effectuer des mesures lorsque la charge est appliquée.

2.5. Testeur de Jauge 1300

Deux des mesures les plus importantes utilisées pour vérifier la qualité d'une installation de jauge de contrainte sont la résistance d'isolement (fuite à la terre) et le décalage de la résistance de la jauge en raison des procédures d'installation.

Bien que ces deux mesures ne garantissent pas des performances correctes de la jauge, toute installation de jauge où l'une ou l'autre des mesures est douteuse ne doit pas être prise en compte.

Le testeur d'installation de jauge modèle 1300 –montré dans la Figure 2.19 ci-dessous– est un instrument conçu pour mesurer plusieurs propriétés importantes d'une jauge de contrainte installée :

- La résistance nominale de la jauge.
- La résistance d'isolation à l'éprouvette
- L'écart de la résistance de la jauge par rapport à sa résistance référence.

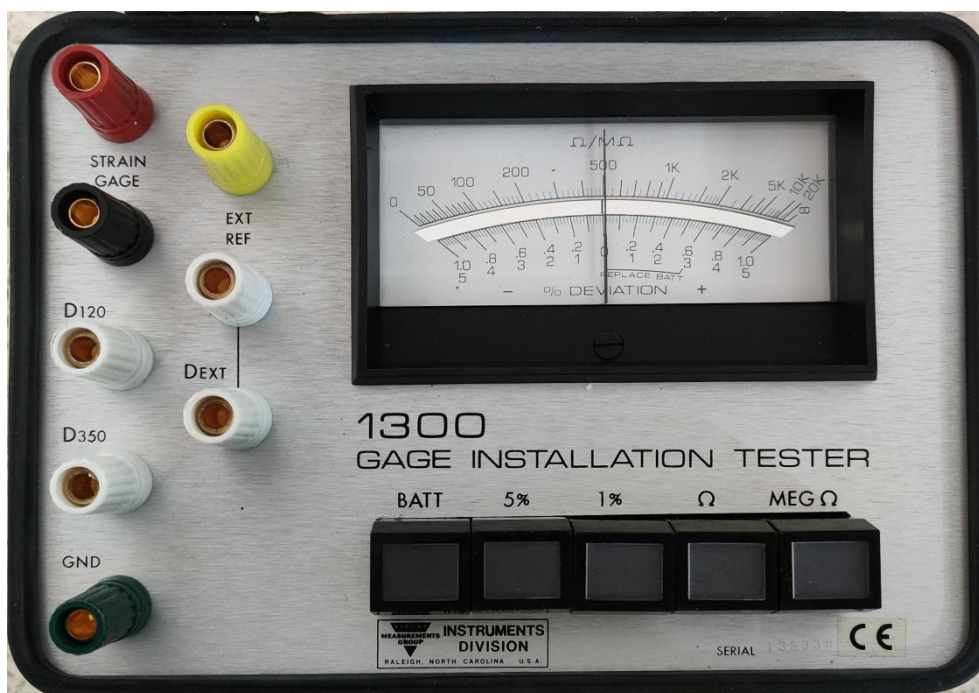


Figure 2.19 Testeur de jauge 1300

Le modèle 1300 avertira l'utilisateur des installations de jauge qui sont au-delà de la plage d'équilibre de l'instrument. En plus des mesures d'installation initiales, les jauges soumises à des conditions environnementales sévères peuvent et doivent être contrôlées périodiquement. [18]

2.5.1. Mode opératoire

Tout comme les unités P-3500 et SB-10, le 1300 est conçu pour une utilisation simple et intuitive. Les instructions du montage au jauge sont indiqués sur le couvercle intérieur de l'appareille. Comme la Figure 2.20 ci-dessous montre.

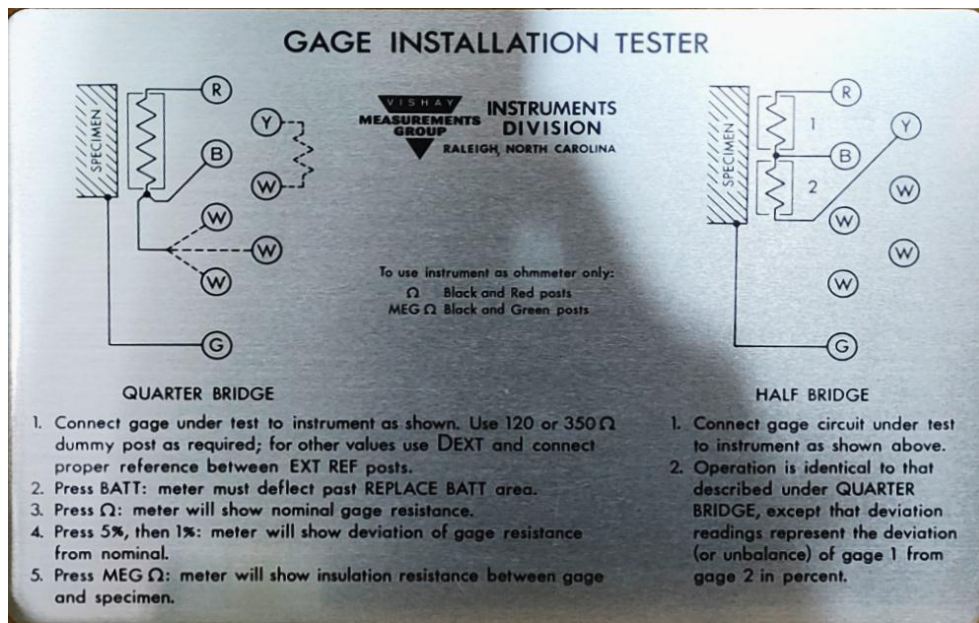


Figure 2.20 Schema du montage sur le modèle 1300

Pour effectuer une lecture, ces étapes doivent être suivies :

- Effectuez les connexions à la jauge comme indiqué sur l'intérieure de couvercle.
- Pour le fonctionnement en quart de pont, le troisième fil conducteur est connecté à la borne D120 ou D350, en fonction de la résistance de la jauge testée, comme indiqué.
- Appuyez sur le bouton **BATT**, le compteur doit dévier au-delà de la zone « Remplacer la batterie » sur l'échelle du compteur, sinon les piles doivent être remplacées avant de continuer.
- Appuyez sur le bouton **Ω**, l'appareil indiquera une résistance de jauge nominale en Ω sur l'échelle supérieure, cette lecture doit être utilisée pour déterminer la bonne connexion de la borne factice.
- Appuyez sur le bouton **1%** ou **5%**, l'appareil indiquera sur l'échelle inférieure le pourcentage d'écart de la résistance des jauges par rapport à la valeur nominale dans la plage de la précision sélectionnée.
- Appuyez sur le bouton **MΩ** : l'appareil indiquera la résistance d'isolation de la jauge (résistance entre la feuille de la jauge et l'échantillon) en MΩ sur l'échelle supérieure

Conclusion

En conclusion, ce chapitre a présenté une revue des équipements disponibles au niveau des laboratoires pédagogiques de la faculté de technologie de l'Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen. En offrant un aperçu complet des fonctions et des modes opératoires de l'équipement, ce chapitre a effectivement introduit les outils utilisés dans l'étude expérimentale et fourni une compréhension claire de leurs capacités.

Ce chapitre constitue une ressource précieuse pour les futurs chercheurs de l'ingénierie intéressés par des domaines d'étude similaires. La vue d'ensemble complète des fonctions de l'équipement facilite une prise de décision éclairée lors de la sélection d'outils pour les efforts de recherche. De plus, il favorise les collaborations potentielles et l'échange de connaissances entre les chercheurs impliqués dans les essais de matériaux et l'analyse de déformation.

Les connaissances acquises dans ce chapitre seront déterminantes pour guider l'étude expérimentale ultérieure sur la déformation du faisceau. En tirant parti des capacités de l'équipement introduit, l'objectif est d'approfondir les connaissances sur le domaine d'extensométrie et pour faire intégrer ces équipements à l'avenir dans des TPs de la RDM.

Chapitre 3

Etude expérimentale

Introduction

Ce chapitre présente une étude expérimentale portant sur l'analyse des déformations des poutres. S'appuyant sur l'équipement présenté dans le chapitre précédent, l'étude vise à mettre l'équipement en marche et l'utiliser pour obtenir des données expérimentales de poutres sous diverses charges et conditions.

Les jauges de contrainte et les indicateurs de jauge de contrainte sont utilisés comme outils de mesure pour quantifier et analyser avec précision les déformations subies par les éprouvettes de test.

Ce chapitre présente les résultats et l'analyse dérivés de l'étude expérimentale, en soulignant les idées et les conclusions tirées des données collectées.

3.1. Description du l'éprouvette

L'éprouvette choisie dans cette étude est une pièce de bois rectangulaire de dimensions $420\text{mm} \times 76\text{mm} \times 76\text{mm}$. Montré dans la Figure 3.1

L'espèce de bois spécifique du spécimen examiné reste non identifiée, cependant, sur la base de ses attributs observables tels que la couleur, la texture et les motifs de grain, on peut en déduire que le spécimen correspond au chêne rouge. [19] [20]

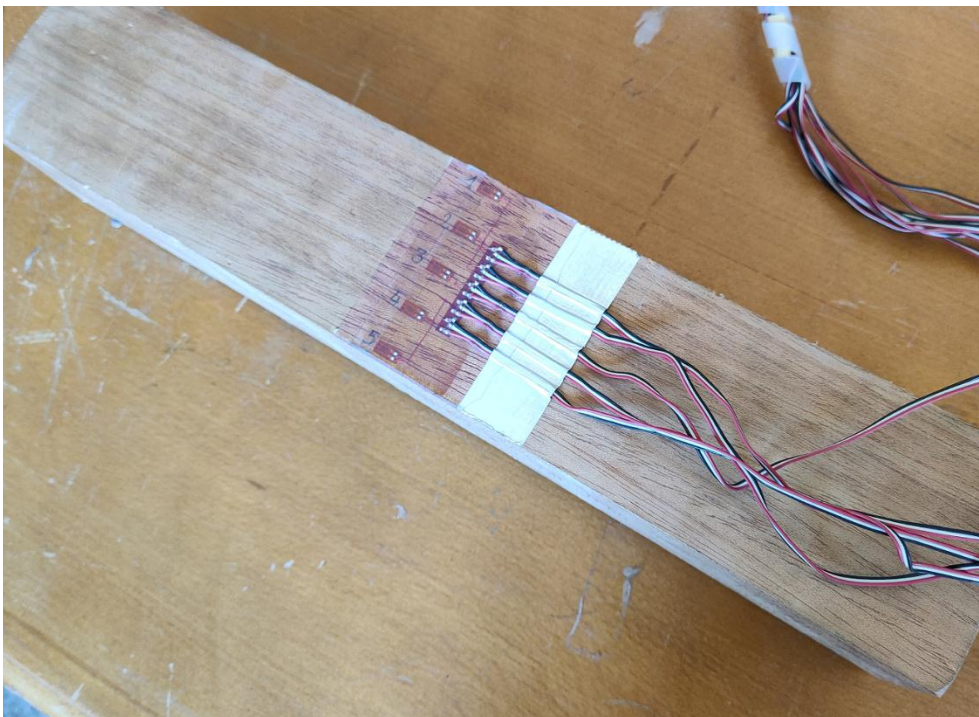


Figure 3.1 Photo du l'éprouvette choisie

10 jauges de contrainte ont été positionnées et collées au centre de l'échantillon, réparties uniformément avec cinq jauges de chaque côté opposé. Chaque jauge était connectée à un ensemble de trois fils.

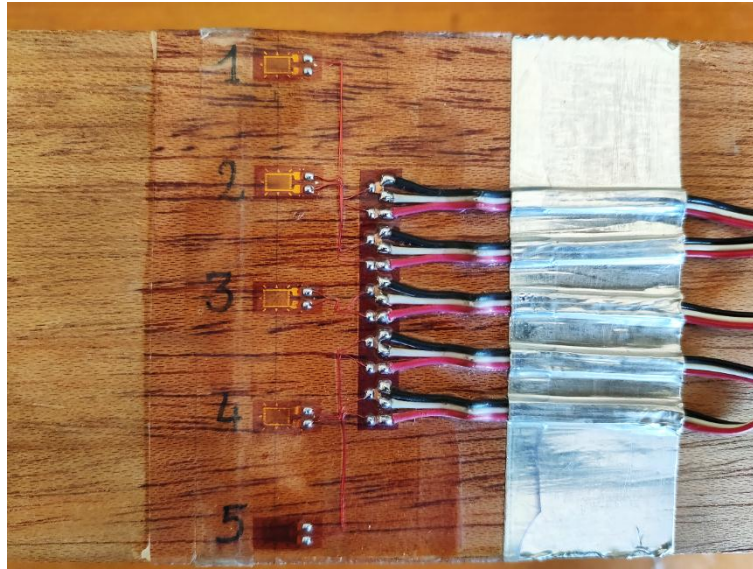


Figure 3.2 Photo des jauges installées sure l'éprouvette

3.2. Montage de tests expérimentaux

Les tests effectués sont des tests de flexion, où une force a été appliquée du haut vers le milieu de la poutre, qui était simplement été appuyée sur 2 points. Comme illustré dans le schéma ci-dessous.

La force a été appliquée à l'aide d'un vérin hydraulique (Montré dans la Figure 3.4), en incréments de 1KN jusqu'à 8KN.

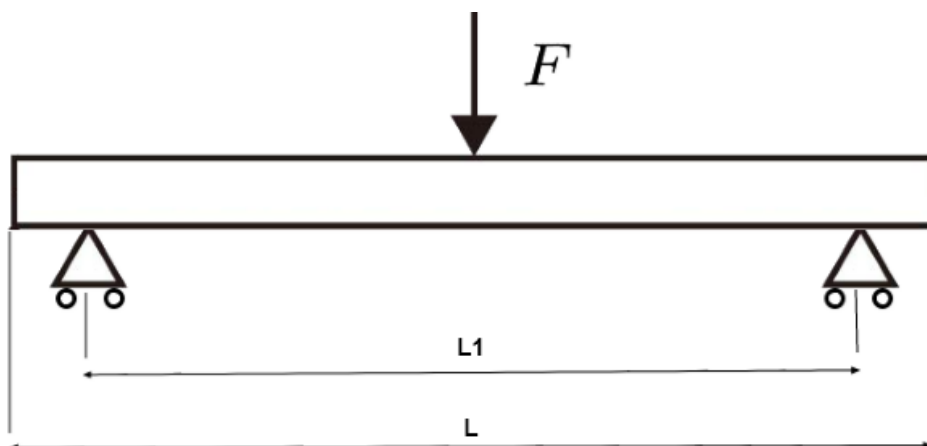


Figure 3.3 Schema du montage de l'expérience

L : 420mm

L1 : 380mm



Figure 3.4 Photo du montage de l'expérience

Initialement, la configuration expérimentale visait à incorporer l'unité de commutation et d'équilibrage SB-10 comme moyen de faciliter le processus de test, évitant ainsi le besoin de reconnections répétitives des jauges et d'expérimentations répétées pour chaque jauge. Cependant, l'inclusion de l'unité SB-10 a introduit des fluctuations substantielles et a entraîné des données de lecture excessivement bruyantes.

Des tentatives ont été faites pour identifier la source de ces résultats erratiques et rechercher une résolution, comme vérifier les jauges de contrainte individuellement, revérifier toutes les connexions et rechercher toute interférence électrique, cependant, ces efforts ont été infructueux. Par conséquent, les expériences se sont déroulées sans utiliser l'unité SB-10.

L'omission de l'unité SB-10 a eu des implications pour la configuration expérimentale, limitant notamment le nombre de tests réalisables en raison de contraintes de temps. Au total, 10 tests ont été réalisés, complétés par 2 séries de 3 tests supplémentaires pour valider les résultats obtenus.

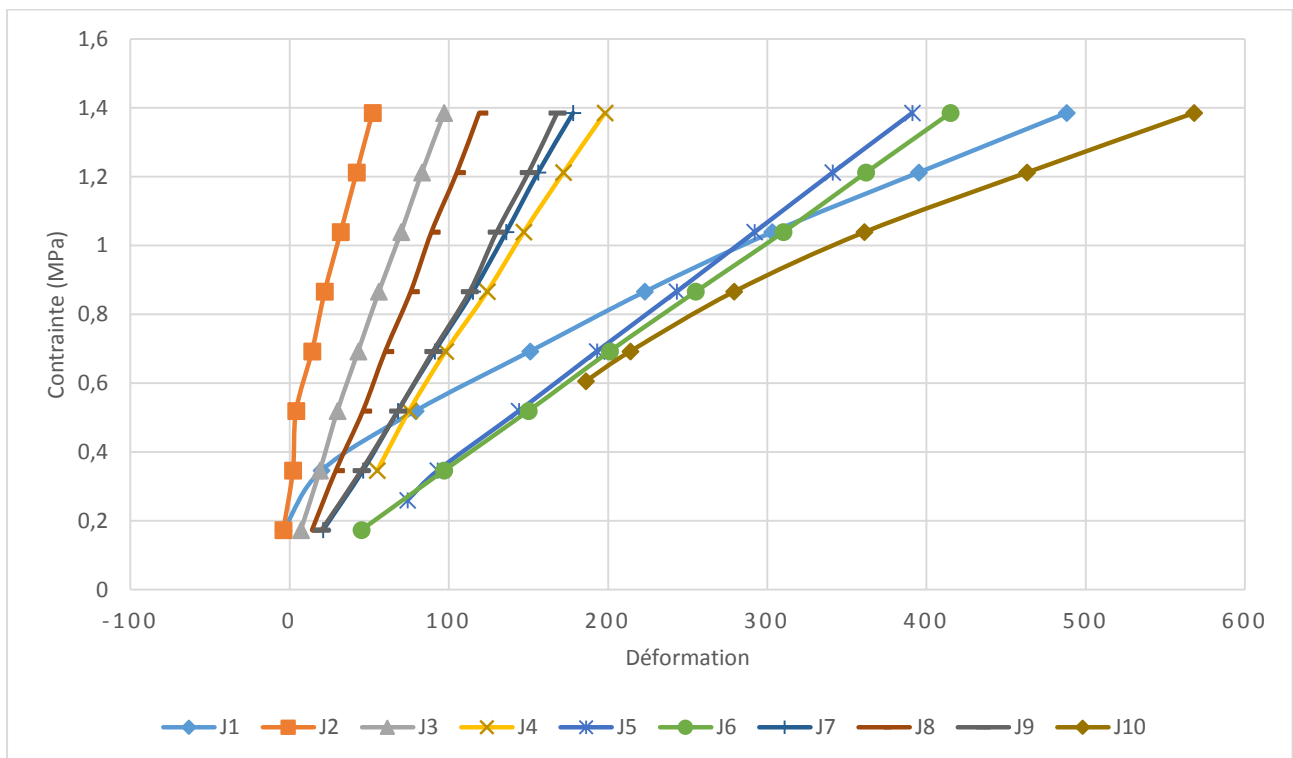
3.3. Résultats expérimentales

Parce que le vérin hydraulique utilisé avait des commandes très sensibles, nous n'avons pas pu saisir avec précision certaines lectures de force (pour des valeurs inférieures à 3KN), par conséquent, elles ont été manquées.

Ces résultats ont été pris directement de l'appareil P-3500, et sont en microdéformation ou ($\mu\text{m}/\text{m}$)

Tableau 3.1 Tableau des résultats expérimentaux de la 1ère expérience

FORCE (KN)	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10
1	-4	-4	7			45	21	14	20	
1,5					74					
2	20	2	19	55	93	97	46	29	45	
3	79	4	30	75	144	150	68	46	68	
3,5										186
4	151	14	43	98	193	201	91	60	90	214
5	223	22	56	124	243	255	115	76	113	279
6	303	32	70	147	292	310	136	89	130	361
7	395	42	83	172	341	362	156	105	150	463
8	488	52	97	198	391	415	178	119	168	568

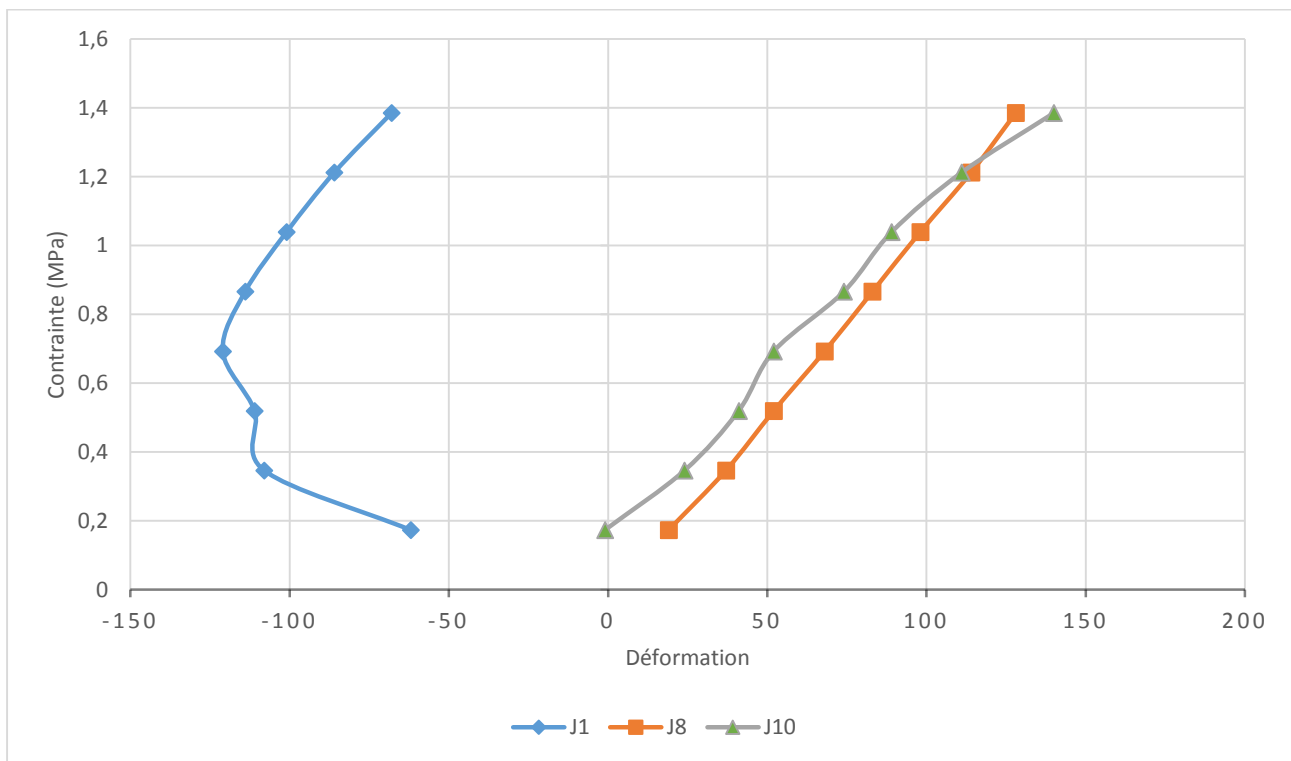


Graph 3.1 Courbe des résultats expérimentaux de la 1ère expérience

Une deuxième et une troisième série de tests ont été menées, mais à cause de contraintes de temps, seules 3 jauges de contrainte ont pu être testées à nouveau chaque fois, les jauges 1, 8 et 10 pour le deuxième test, et les jauges 1,2 et 10 pour le troisième test. Donnant ces résultats montrés dans les 2 tableaux et les 2 graphes ci-dessous :

Tableau 3.2 Tableau des résultats expérimentaux de la 2eme expérience

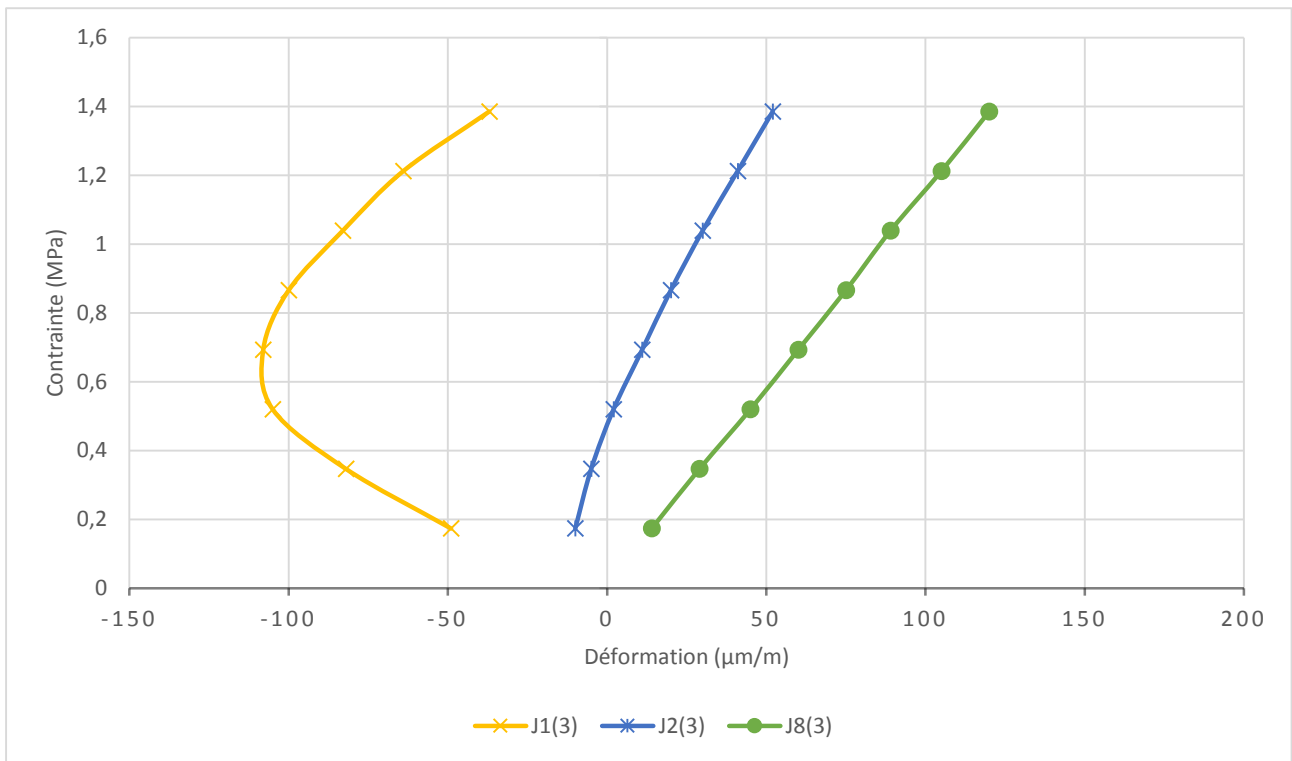
FORCE (KN)	J1	J8	J10
1	-62	19	-1
2	-108	37	24
3	-111	52	41
4	-121	68	52
5	-114	83	74
6	-101	98	89
7	-86	114	111
8	-68	128	140



Graph 3.2 Courbe des résultats expérimentaux de la 2eme expérience

Tableau 3.3 Tableau des résultats expérimentaux de la 3eme expérience

FORCE (KN)	J1	J2	J8
1	-49	-10	14
2	-82	-5	29
3	-105	2	45
4	-108	11	60
5	-100	20	75
6	-83	30	89
7	-64	41	105
8	-37	52	120



Graph 3.3 Courbe des résultats expérimentaux de la 3eme expérience

3.4. Interprétation des données

Ces 3 expériences nous ont fourni des données mixtes, entre certaines attendues et d'autres non.

3.4.1. Valeurs positifs

Bien que la configuration que nous avons soit supposée donner 2 zones de types de déformation différents, partie supérieure en compression (caractérisée par des valeurs négatives) et partie inférieure en traction (caractérisée par des valeurs positives), les données obtenues montrent que tous les essais ont donné valeurs positives.

À l'exception du deuxième test de la jauge °1, qui a montré de valeurs négatives (comme prévu).

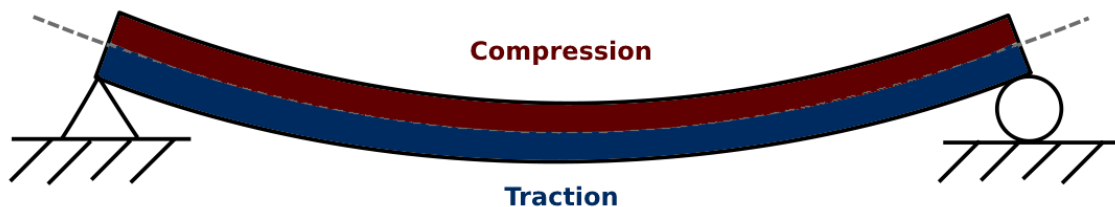


Figure 3.5 Diagramme d'une poutre en flexion

Cela peut être causé par un nombre de raisons :

Montage faux de l'appareil de mesure (P-3500)

- La configuration expérimentale et le schéma de câblage ont suivi les instructions écrites sur l'appareil lui-même et ont été revérifiés.
- Chacune des jauges installées a été testée individuellement avec le testeur de jauge et 1300, et a été confirmée comme étant opérationnelle dans ses spécifications.

Force appliqué non-parallèlement au plan des jauges

Les supports d'essai (Voir Figure 3.4), supportant l'éprouvette par le bas et appliquant la force par le haut, permettent une certaine inclinaison, ce qui garantit la perpendicularité de la force appliquée à l'éprouvette.

Matériau non isotrope

L'éprouvette sélectionnée est en bois de chêne rouge, qui n'est pas un matériau isotrope mais plutôt orthotrope, ce qui influencerait son comportement sous charge et pourrait expliquer la différence de valeurs obtenues à partir de différentes jauges de côtés opposés.

Influence directe du bras du vérin sur la jauge

Dans cette configuration expérimentale, le point d'application de la force appliquée par le vérin hydraulique est proche de la jauge de contrainte la plus haute sur l'éprouvette. Cette proximité pourrait signifier que le cylindre hydraulique applique directement une force à la jauge de contrainte, ce qui pourrait influencer ou fausser les valeurs mesurées à partir de celle-ci.

Position de la ligne neutre non parfaitement au milieu

La répartition des zones de compression/traction dans une poutre en flexion peut être différente dans les essais réels que dans le diagramme ci-dessus (Voir Figure 3.5), ce qui est démontré avec une technique appelée photoélastimétrie.

La photoélasticité est une méthode expérimentale, basée sur la propriété de biréfringence, qui est présentée par certains matériaux transparents, utilisée en conjonction avec la lumière polarisée pour déterminer la répartition des contraintes dans un matériau. [21]

On a appliqué cette technique à une éprouvette en acrylique afin de démontrer ce phénomène, le schéma du montage expérimental est décrit dans la Figure 3.6 ci-dessous. Cette expérience nous a donné des résultats montrant l'évolution des lignes de contrainte dans l'éprouvette. Les résultats ont été photographiés et sont présentés dans le Tableau 3.4 ci-dessous.

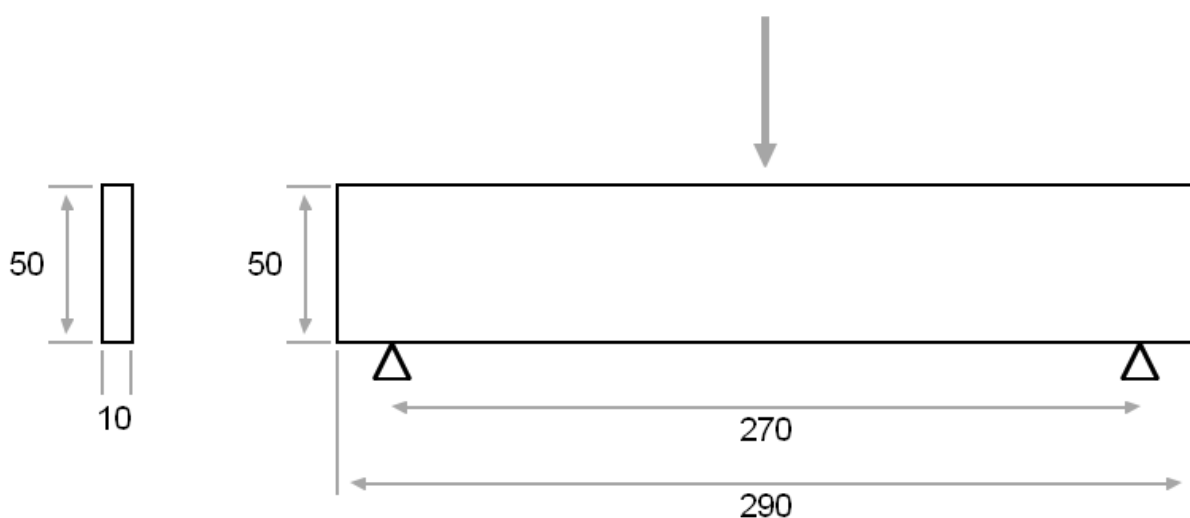
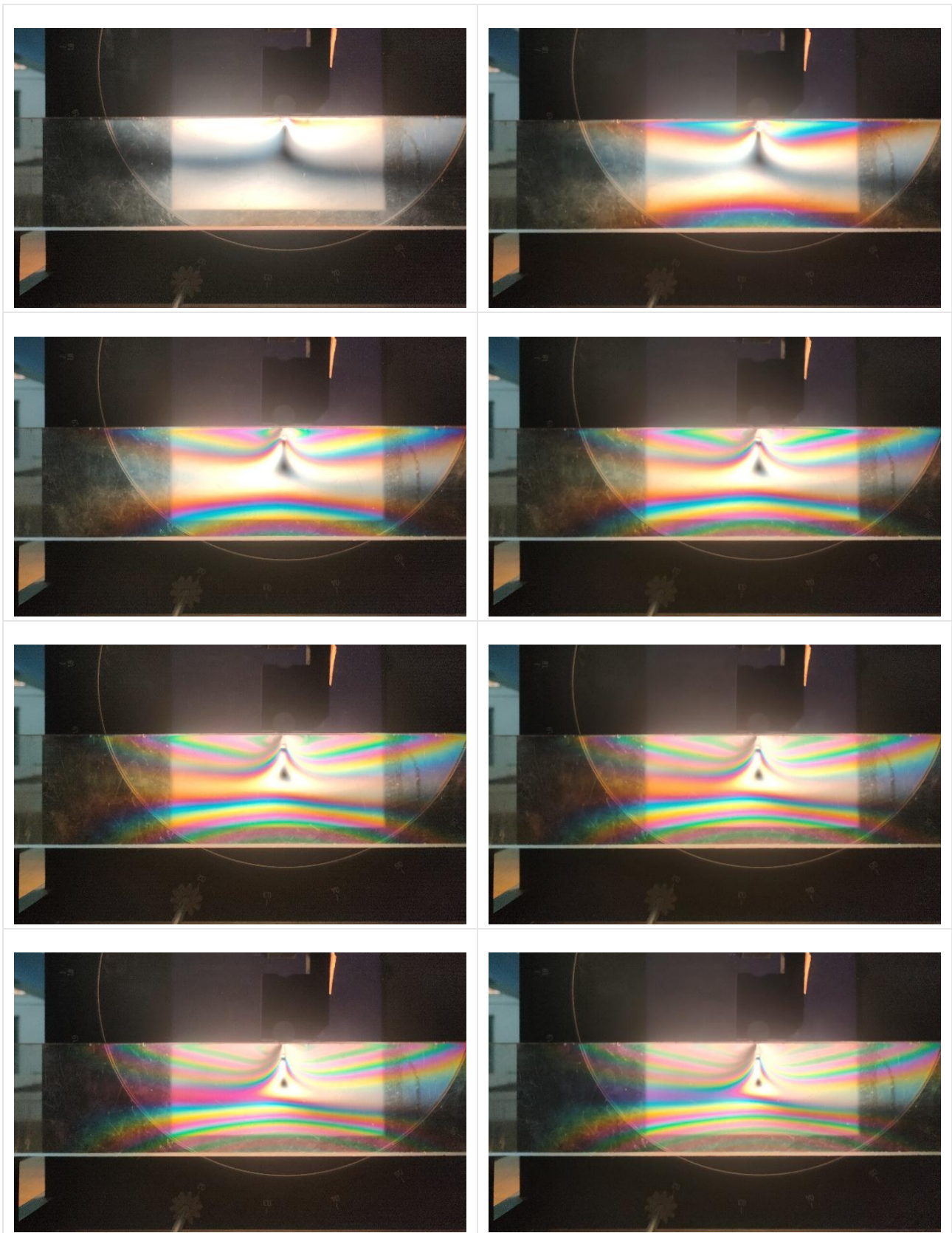


Figure 3.6 Schéma du montage de l'essai à photoélastimétrie

Tableau 3.4 Évolution des lignes de contrainte dans une éprouvette, visualisée par photoélastimétrie

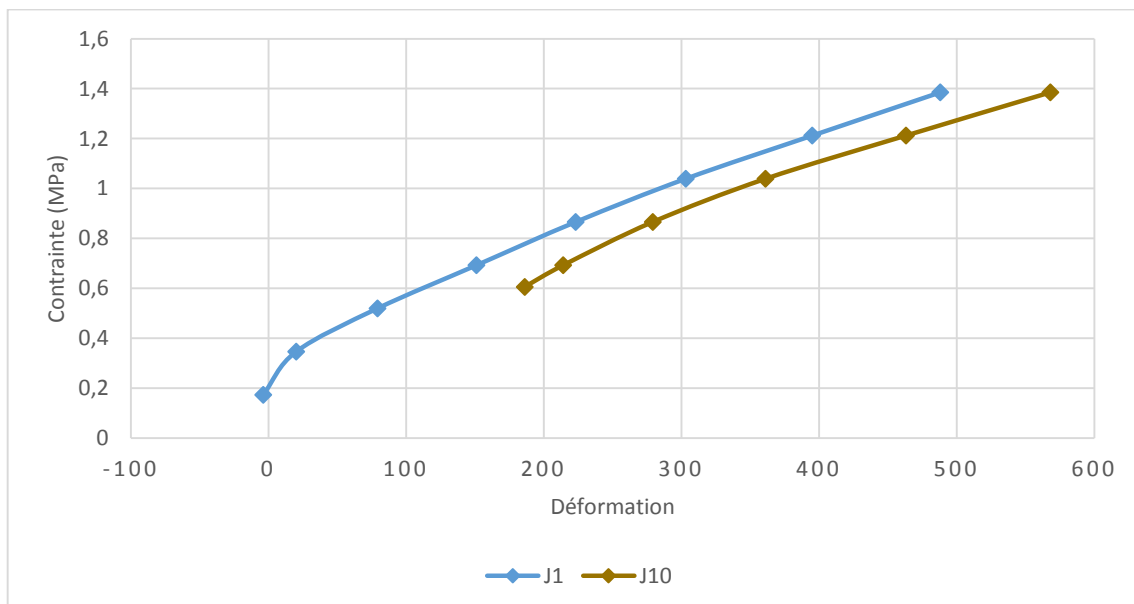


3.4.2. Symétrie des valeurs

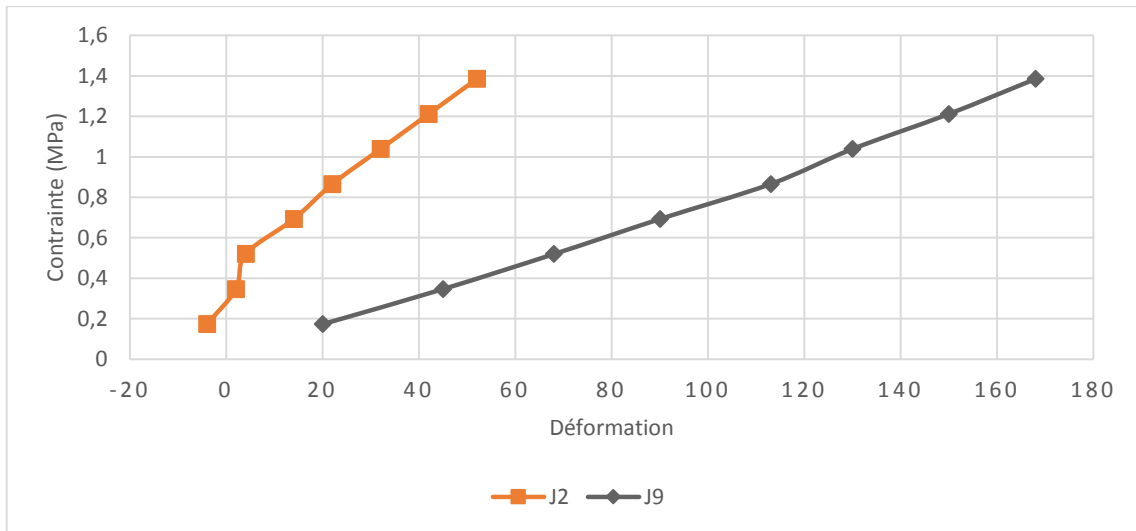
Les jauges sont installées d'une façon symétrique sur l'éprouvette, avec 5 jauges sur chaque côté, ce qui fait que les paires (1 ; 10), (2 ; 9), (3 ; 8), (4 ; 7) et (5 ; 6) fonctionnent de la même façon (compression ou traction) dans notre cas de flexion. Ceci est démontré par la cohérence des valeurs données de ces paires, surtout entre les paires (1 ; 10), (3 ; 8), (4 ; 7), (5 ; 6) qui montrent des valeurs presque identiques.

Bien que le pair des jauges (2 ; 9) aussi montre une cohérence des valeurs entre les deux, exprimant une tendance linéaire croissante, mais plutôt avec des pentes très différentes, ce qui peut indiquer un écart important dans la sensibilité de ces 2 jauges ou une contrainte non-uniforme sur l'éprouvette, à cause de sa nature non-isotrope.

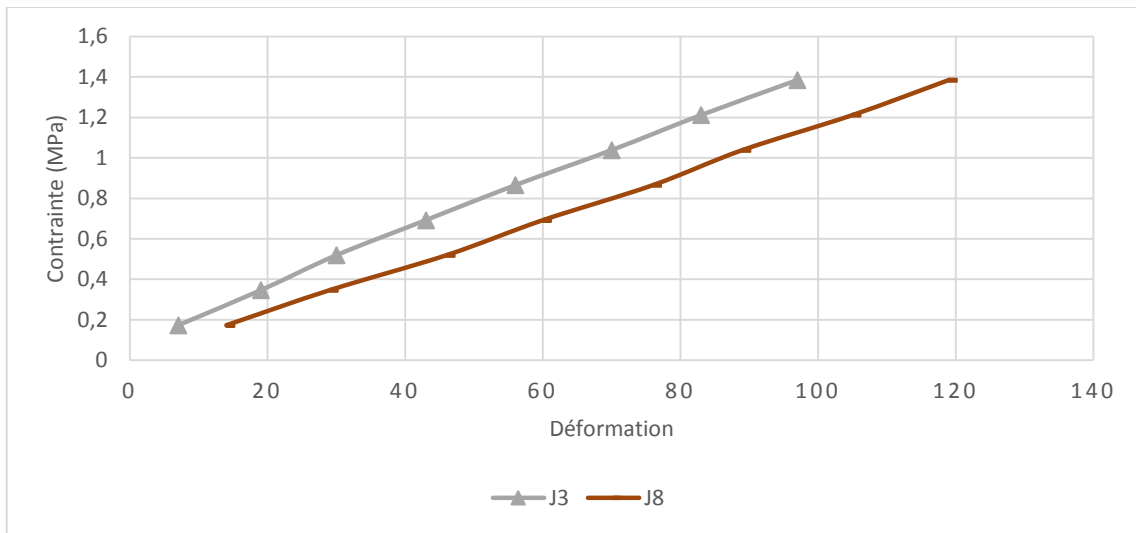
La comparaison entre chaque pair de jauges est illustrée dans les graphs ci-dessous.



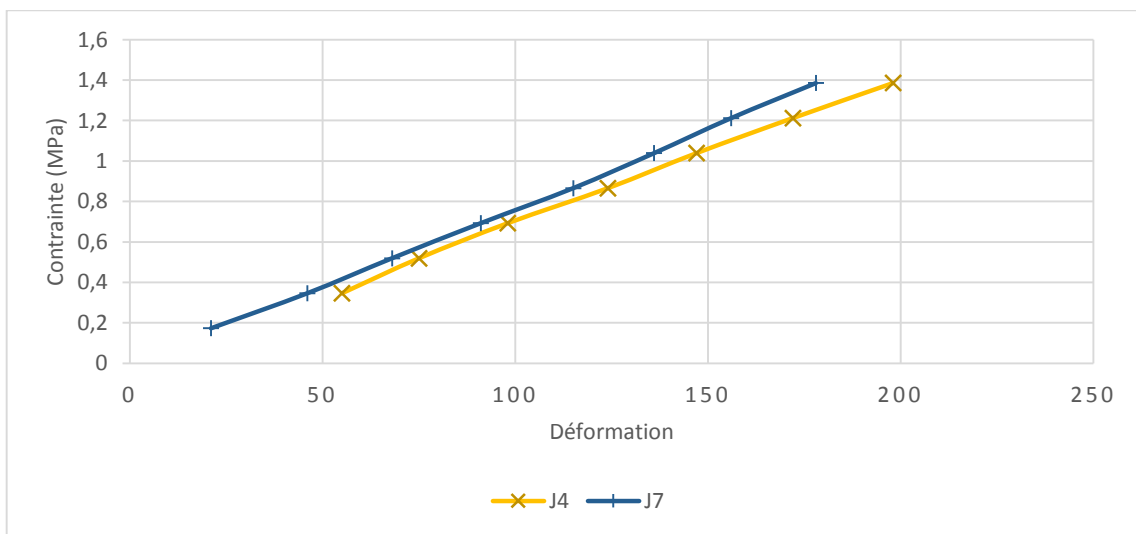
Graph 3.4 Courbe des résultats expérimentaux pour es jauges 1,10



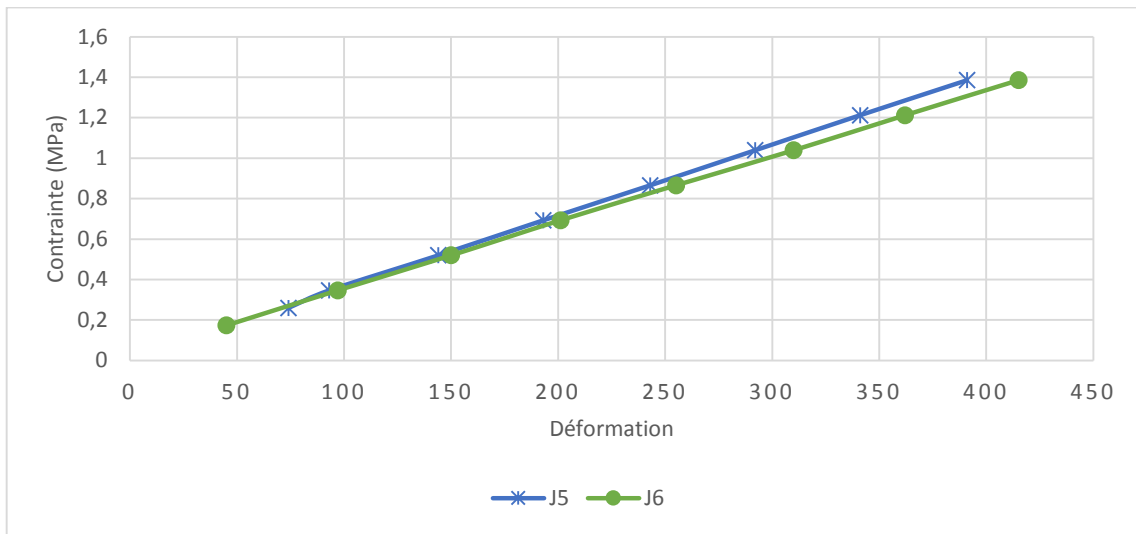
Graph 3.5 Courbe des résultats expérimentaux pour es jauges 2,9



Graph 3.6 Courbe des résultats expérimentaux pour es jauges 3,8



Graph 3.7 Courbe des résultats expérimentaux pour es jauges 4-7

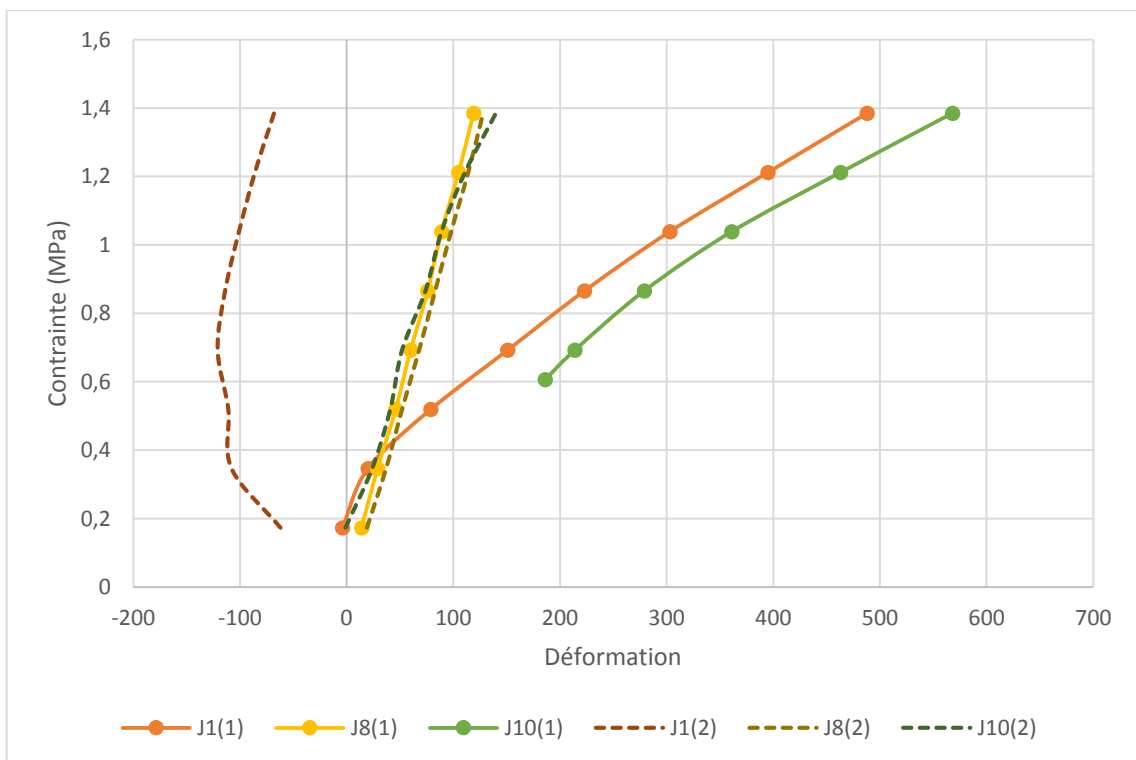


Graph 3.8 Courbe des résultats expérimentaux pour es jauges 5,6

3.4.3. Comparaison entre les résultats

3.4.3.1. Comparaison de la 1ere et la 2eme expérience

La comparaison des résultats des jauges 1, 8, et 10 entre la 1^{ère} expérience et la 2^{ème} (Illustrés dans le Graph 3.9 ci-dessous) montre un grand écart entre les résultats du premier test et du deuxième test pour les jauges 1 et 10.



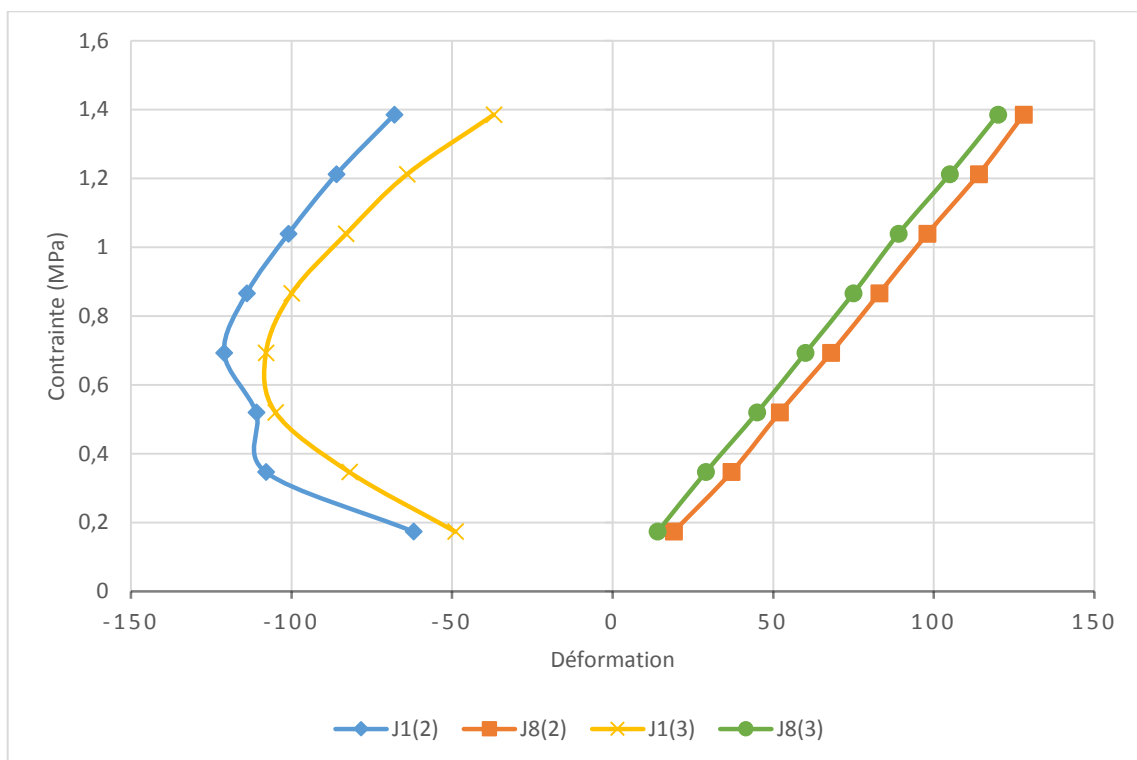
Graph 3.9 Courbe de comparaison des résultats du 1^{er} et 2^{ème} expériences

Les causes probables de ceci sont nombreuses :

- Lectures incohérentes de la force appliquée par le vérin hydraulique.
- Glissement du vérin hydraulique et réduction de la force appliquée (cause probable de la remontée de la courbe de la jauge 1 au deuxième essai).
- Jauges de contrainte mal collées provoquant un mauvais transfert de la déformation de l'éprouvette à la jauge.
- Influence directe de la force applique sur la jauge 10.
- Mauvaise utilisation de l'équipement de mesure (P-3500)

3.4.3.2. Comparaison de la 2^{eme} et la 3^{eme} expérience

La comparaison des résultats des jauges 1 et 8, entre la 2^{eme} expérience et la 3^{eme} (Illustrés dans le Graph 3.10 ci-dessous) montre une cohérence dans les résultats entre les 2 expériences, ce qui éliminerait la possibilité d'une mauvaise utilisation de l'appareil de mesure (P-3500), ainsi que confirmer que les jauges de contrainte sure cette éprouvette sont opérationnelles dans les spécifications, et renvoyer des résultats cohérents entre les différents tests.



Graph 3.10 Courbe de comparaison des résultats du 2^{eme} et 3^{eme} expériences

3.5. Tests supplémentaires

3.5.1. Test de la poutre métallique

Une poutre métallique (vraisemblablement d'un alliage d'acier) avec des dimensions de 300mm x 25mm x 3mm a été trouvée au laboratoire, avec une jauge de contrainte attachée et câblée dans une configuration à 3 fils. Cette éprouvette a été encastrée comme montré dans la figure ci-dessous, où une force a été appliquée à son extrémité libre, pour prendre des mesures de déformation afin de calculer son module d'élasticité.

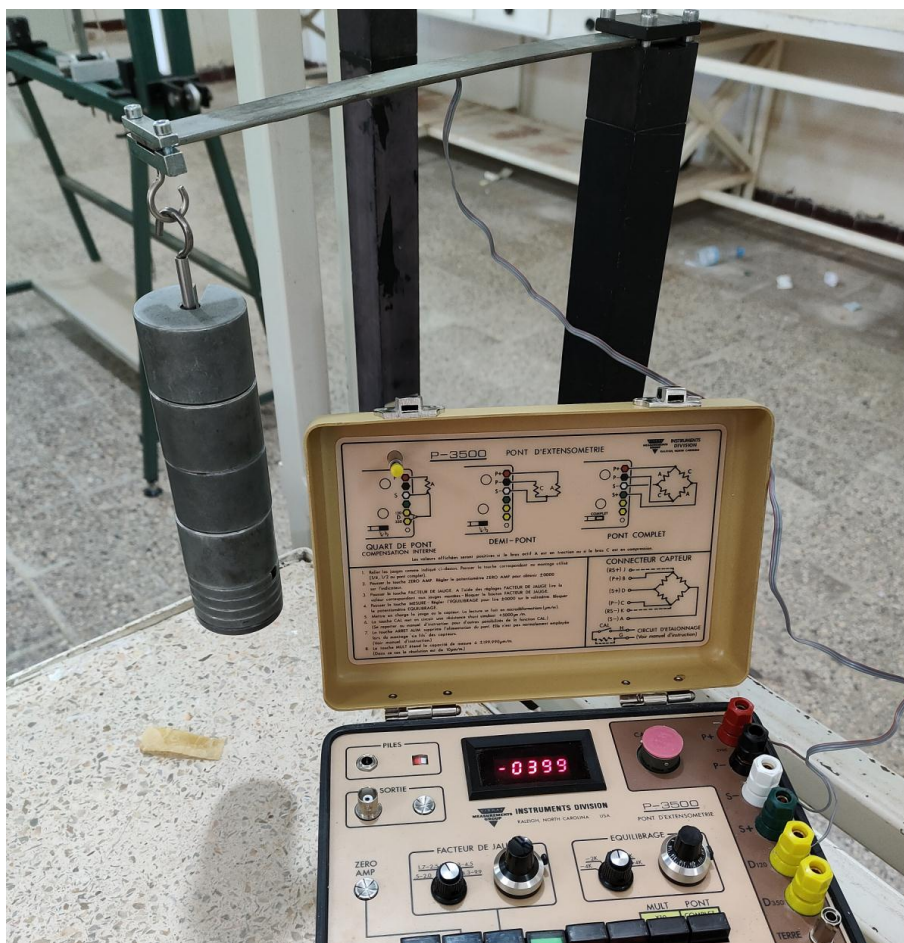


Figure 3.7 Photo du montage expérimental de la poutre encastrée

La partie encastrée mesure 40mm, ce qui rend la longueur de la poutre en porte-à-faux 260mm, et met position de la jauge depuis l'encastrement à 150mm. Comme montré dans le schéma ci-dessous.

L'expérience s'est déroulée en 2 parties, dans la première, la poutre était fixée avec le côté avec la jauge pointant vers le haut travaillant en tension, dans la deuxième partie, la poutre était retournée là où la jauge était maintenant dirigée vers le bas et travaillant dans compression.

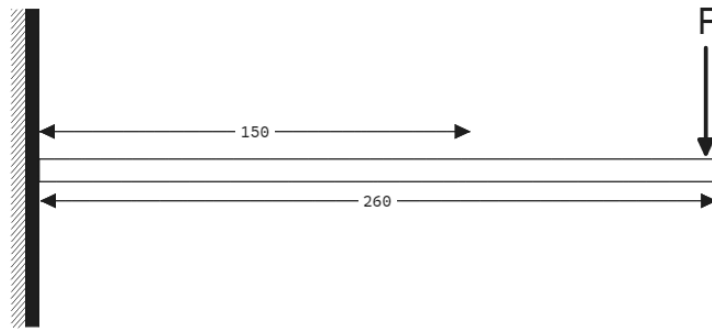


Figure 3.8 Schéma du montage de l'expérience avec poutre métallique

Les résultats expérimentaux obtenus sont décrits dans le tableau ci-dessous :

FORCE (N)	1 ^{ER} PARTIE	2 ^{EME} PARTIE
5	78	-76
10	157	-156
15	236	-237
20	315	-315
25	395	-398

En calculant les réactions de l'encastrement on peut calculer le moment fléchissant et déduire la valeur de la contrainte que la poutre subit.

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R_A = F \quad 3.1$$

$$\sum M = 0 \Rightarrow M_A = -FL \quad 3.2$$

A partir de ces 2 équations, on peut calculer l'équation du moment fléchissant

$$M_f(x) = F(L - x) \quad 3.3$$

A partir de là, nous pouvons calculer la contrainte maximale au point de la jauge de contrainte

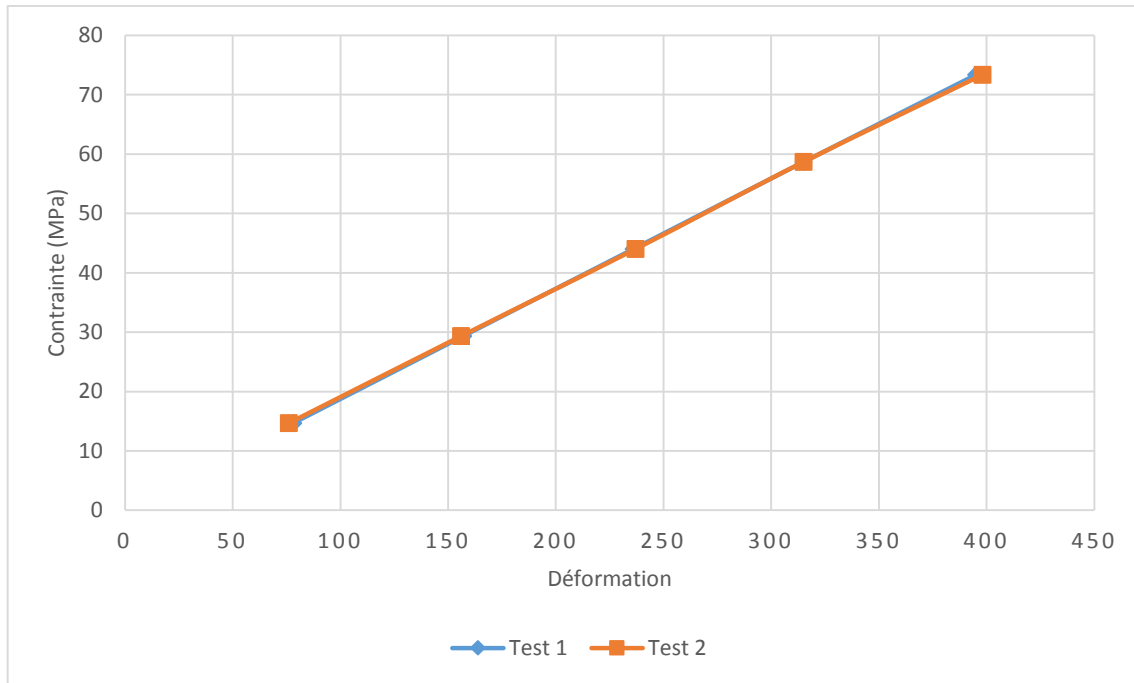
$$\sigma_{max} = \frac{M_f(150)y_{max}}{I_z} \quad 3.4$$

Avec :

y_{max} : La distance maximale depuis la ligne neutre $y_{max} = h/2 = 1.5mm$

I_z : Moment d'inertie de la section transversale $I_z = (bh^3)/12 = (25 * (3^3))/12 = 56.25 mm^4$

Les résultats obtenus sont montrés sur le graph ci-dessous.



Graph 3.11 Courbe déformation contrainte pour l'éprouvette en metal

Depuis ces résultats on peut déduire le module de Young E de cette éprouvette en utilisant la loi de Hooke :

$$\sigma = E\varepsilon \quad 3.5$$

Ce qui nous donne : $E \approx 187 \text{ GPa}$ ce qui correspond à notre hypothèse selon laquelle le métal inconnu est en effet un alliage d'acier, car la plupart des alliages d'acier se situent entre 190 GPa et 215 GPa. [23]

Les données obtenues à partir de ce test contribuent également à valider que l'unité P-3500 est en effet opérationnelle dans les spécifications, comme en témoigne la cohérence des valeurs obtenues à partir de cette éprouvette.

3.5.2. Banc d'essai de flexion et torsion

Des tentatives supplémentaires pour effectuer des tests expérimentaux sur un banc d'essai avec ses propres spécimens d'essai ont été menées. Le banc d'essai –montré dans la Figure 3.9- permet de tester aussi bien l'effort de flexion que l'effort de torsion, grâce à 2 éprouvettes différentes adaptées chacune au type d'effort précité.



Figure 3.9 Photo du banc d'essai

Cependant, nous n'avons pas pu obtenir une lecture valide à l'aide de l'appareil P-3500 en raison d'un signal très bruyant, ce qui a entraîné des fluctuations de la valeur lue au-delà de ce que les commandes d'équilibrage de l'appareil peuvent prendre en compte. Probablement en raison d'une mauvaise connexion car certains fils étaient effilochés et certains connecteurs étaient rouillés (Voir la figure ci-dessous).



Figure 3.10 Photo du montage au appareil P-3500

3.5.3. Eprouvette a section variable

Une autre tentative à faire un test a été menée sur une éprouvette en matière plastique (vraisemblablement acrylique) avec une section variable, l'éprouvette –montré sur la figure ci-dessous- avait un total de 6 jauges de contrainte attachées sur elle, 4 sur le côté supérieur et 2 sur le côté latéral.

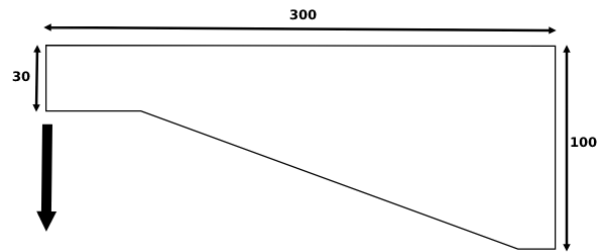
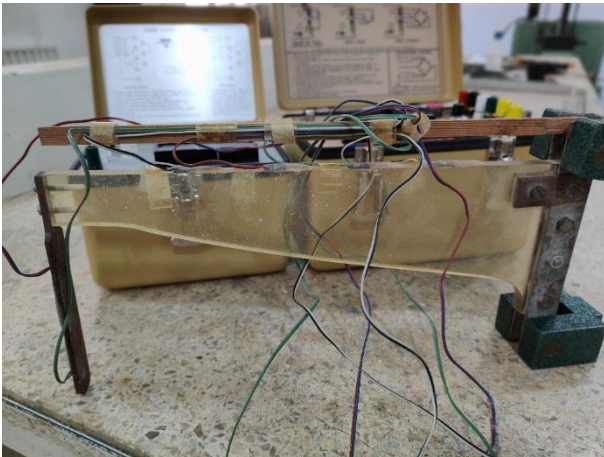


Figure 3.11 Photo de l'éprouvette à section variable Figure 3.12 Schéma du l'éprouvette a section variable

L'essai a été réalisé avec un empilement de charges normalisées totalisant 20N de force, accrochées à l'extrémité de la poutre. Comme montré ci-dessous.



Figure 3.13 Photo du montage expérimentale

Les jauges de contrainte ont été fixées et collées à l'éprouvette dans une configuration à 2 fils (montré dans la Figure 3.14 et la Figure 3.15 ci-dessous), ce qui a empêché la prise de mesures de contrainte à l'aide de l'unité P-3500, car elle a besoin de 3 fils pour fonctionner dans la configuration en quart de pont.

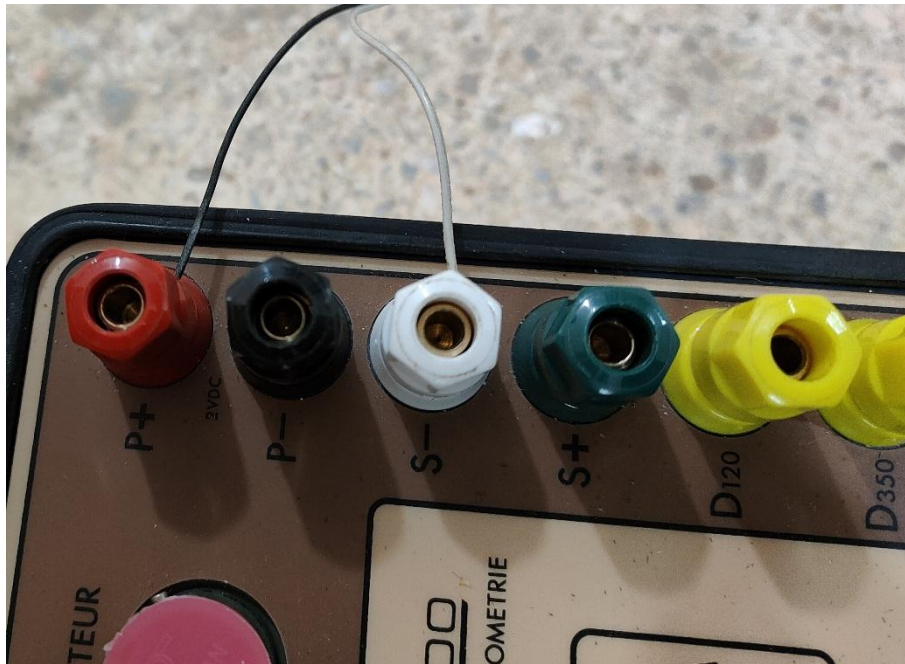


Figure 3.14 Montage des fils de la jauge sur l'appareil P-3500, montrant le cablage a 2 fils

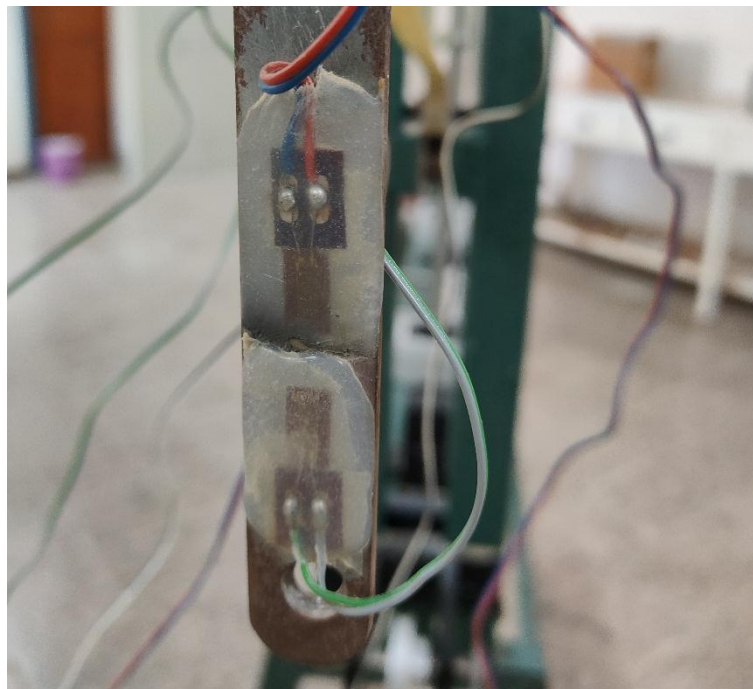


Figure 3.15 Photo des jauges de la contrainte attachée sur l'éprouvette, montrant le cablage a 2 fils

3.5.4. Pont d'extensométrie EI616

Le pont d'extensomètre EI616 est un appareil qui permet des mesures de déformation par jauge de contrainte ainsi que des mesures d'autres grandeurs physiques lorsqu'il est utilisé avec les capteurs appropriés. [22]

Similairement au P-3500, cet appareil contient un affichage numérique qui donne la mesure directe en microdéformations, un potentiomètre pour régler le facteur de jauge, 6 voies de mesure équilibrées indépendamment, et support 2 types de configurations du pont (demi-pont et pont complet). Les canaux peuvent être équilibrés indépendamment.

Nous avons tenté d'accrocher les jauges de contrainte disponibles (celles collées à l'éprouvette en bois) à cet appareil afin d'obtenir une lecture de déformation, mais avec aucun catalogue d'utilisation ni aucune instruction sur l'appareil, nous n'avons pas réussi et à effectuer des mesures.

Conclusion

En conclusion, ce chapitre a présenté des études expérimentales sur la déformation des 2 poutres à l'aide de jauges de contrainte et de l'indicateur de jauge de contrainte P-3500. L'objectif principal était de mettre ce matériel en marche, et d'observer expérimentalement le comportement d'une (ou plusieurs) poutres sous différentes charges, pour valider que le matériel est opérationnel selon ces spécifications.

Les résultats obtenus à partir de l'étude expérimentale, bien qu'avec quelques inexactitudes, ont fourni des informations précieuses sur les méthodes d'utilisation des jauges de contrainte et les pièges dans lesquels l'utilisateur pourrait tomber.

Il convient de noter que ces études expérimentales ont été menées dans les limites de l'équipement disponible et des contraintes de temps. Malgré ces limites, l'étude a donné des résultats significatifs qui peuvent contribuer à la compréhension et l'exploitation des équipements de laboratoire et de leurs implications sur leur utilisation à des fins pédagogiques.

Dans l'ensemble, ce chapitre conclut l'étude expérimentale, fournissant des informations cruciales sur les équipements utilisés et leur rôle dans l'étude des déformations mécaniques. Les résultats obtenus à partir de cette étude servent de base à d'autres recherches et développements dans le domaine.

Conclusion générale et perspectives

La mesure de la déformation dans les structures mécaniques revêt une grande importance dans diverses disciplines d'ingénierie. La mesure de la déformation fournit des informations précieuses sur le comportement et les performances des structures dans différentes conditions de chargement, Cependant La compréhension et le maitrise de l'utilisation du matériel et d'instruments de mesure jouent un grand rôle dans l'acquisition ces informations.

En conclusion, ce mémoire a exploré le domaine des extensomètres et jauges de contrainte, couvrant ces principes et subtilités.et a apporté de précieuses contributions, en examinant des extensomètres, en introduisant les capacités d'équipement et en menant des études expérimentales sur la déformation des poutres, ce recherche a fait progresser la compréhension du comportement du matériel de l'extensométrie. Les résultats présentés dans cette mémoire constituent une base solide pour les futurs efforts de recherche, qui peuvent être incorporés dans des travaux pratiques pour donner un aspect pratique aux études et améliorer la compréhension des étudiants faculté de technologie de l'Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen sur les déformations et les contraintes mécaniques.

En perspective, j'espère que ce travail permettra aux futures classes d'avoir une compréhension de la technologie des jauges de contrainte, et de continuer à explorer ce domaine. Avec plus d'efforts pour comprendre et fait marcher les équipements du laboratoire, particulièrement le pont d'extensométrie EI616 et le commutateur SB-10.

Références

- [1] B. McGinty, «Strain Gauges,» 2014. [En ligne]. Available: <https://www.continuummechanics.org/straingauges.html>. [Accès le 14 May 2023].
- [2] ZwickRoell GmbH Co. KG., «Understanding Extensometry During Tensile Testing,» AZoM., 24 Novembre 2022. [En ligne]. Available: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6052>. [Accès le 28 Avril 2023].
- [3] The ZwickRoell Group, «laserXtens 2-120 HP/TZ | ZwickRoell,» [En ligne]. Available: <https://www.zwickroell.com/accessories/extensometers/laserxtens/laserxtens-2-120-hptz/>. [Accès le 27 Avril 2023].
- [4] Bestech Australia, «Understanding a Wheatstone Bridge Strain Gauge Circuit - Bestech Australia,» [En ligne]. Available: <https://www.bestech.com.au/blogs/understanding-a-wheatstone-bridge-strain-gauge-circuit/>. [Accès le 27 Avril 2023].
- [5] NATIONAL INSTRUMENTS CORP, «Measuring Strain with Strain Gages - NI,» [En ligne]. Available: <https://www.ni.com/en-lb/shop/data-acquisition/sensor-fundamentals/measuring-strain-with-strain-gages.html>. [Accès le 12 May 2023].
- [6] EETech Media, LLC., «Wheatstone Bridge Calculator - Engineering Calculators & Tools,» [En ligne]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/tools/wheatstone-bridge-calculator/>. [Accès le 07 May 2023].
- [7] Elektronique.fr, «Loi des nœuds - Cours Électronique,» [En ligne]. Available: <http://www.elektronique.fr/cours/loi-des-noeuds.php>. [Accès le 12 May 2023].
- [8] Elektronique.fr, «Lois des mailles - Cours Électronique,» [En ligne]. Available: <http://www.elektronique.fr/cours/loi-des-mailles.php>. [Accès le 12 May 2023].
- [9] EETech Media, LLC., «Strain Gauges | Electrical Instrumentation Signals | Electronics Textbook,» [En ligne]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/direct-current/chpt-9/strain-gauges/>. [Accès le 12 May 2023].
- [10] S. Smith, «Three-Wire vs Two-Wire Quarter-Bridge Installations | The Essential Blog for Engineers | StrainBlog,» Vishay Precision Group, 2 Fevrier 2017. [En ligne]. Available: <https://strainblog.micro-measurements.com/tips/three-wire-vs-two-wire-quarter-bridge-installations>. [Accès le 12 May 2023].
- [11] V. Subramanian, «Strain Gage Connections,» Crystal Instruments, 27 Mars 2020. [En ligne]. Available: <https://www.crystalinstruments.com/blog/2020/3/27/strain-gage-connections>. [Accès le 13 May 2023].
- [12] Y. Hernik, «A Short History of (Micro) Measurements Group | The Essential Blog for Engineers | StrainBlog,» Vishay Precision Group, 20 Juillet 2020. [En ligne]. Available: <https://strainblog.micro-measurements.com/content/short-history-micro-measurements-group>. [Accès le 16 May 2023].
- [13] Vishay Precision Group, Inc., «About | Micro-Measurements,» [En ligne]. Available: <https://www.micro-measurements.com/index.php/about>. [Accès le 02 May 2023].

- [14] Instrumentation Editor, «Foil strain gauge | THE INSTRUMENT GURU,» 15 Avril 2022. [En ligne]. Available: <https://theinstrumentguru.com/foil-strain-gauge/>. [Accès le 17 May 2023].
- [15] A. Chithey, «What is a Strain Gauge Sensor and How Does It Work? | The Essential Blog for Engineers | StrainBlog,» Vishay Precision Group, 31 Mars 2020. [En ligne]. Available: <https://strainblog.micro-measurements.com/content/what-strain-gauge-sensor-and-how-does-it-work>. [Accès le 17 May 2023].
- [16] D. Peterson, «DOES SENSOR SIZE REALLY MATTER? | The Essential Blog for Engineers | StrainBlog,» Vishay Precision Group, 15 Juin 2021. [En ligne]. Available: <https://strainblog.micro-measurements.com/content/does-sensor-size-really-matter>. [Accès le 16 May 2023].
- [17] Vishay Intertechnology, Inc., *Model P-3500 Digital Strain Indicator Instruction Manual*, 2003.
- [18] Intertechnology, Inc., *SB-10 Switch and Balance Unit*, 1984.
- [19] Vishay Micro-Measurements, *Gage Installation Tester Model 1300 User Manual*, 2006.
- [20] B. D. Prince, «Distinguishing Red Oak and White Oak - Baillie Lumber - Hardwood Supplier,» [En ligne]. Available: <https://www.baillie.com/hardwood-lumber-blog/item/632-distinguishing-red-oak-white-oak>. [Accès le 16 May 2023].
- [21] Oh My Sander, «How to identify wood types in furniture - A complete guide with pictures,» 11 Avril 2022. [En ligne]. Available: <https://ohmysander.com/how-to-identify-wood-types-in-furniture-a-complete-guide/>. [Accès le 16 May 2023].
- [22] Tiedemann & Betz GmbH & Co. KG, «Stress in Components Easily Visualized,» [En ligne]. Available: https://tiedemann-instruments.de/fileadmin/Downloads/englische_medien/Brochure_Tiedemann_Photoelasticity.pdf. [Accès le 24 May 2023].
- [23] M. Ashby, «Material property data for engineering materials,» Oct 2021. [En ligne]. Available: <https://www.ansys.com/content/dam/amp/2021/august/webpage-requests/education-resources-dam-upload-batch-2/material-property-data-for-eng-materials-BOKENGEN21.pdf>. [Accès le 27 May 2023].
- [24] Deltalab, «Bridge of extensometry - EI616,» [En ligne]. Available: https://www.deltalab-smt.com/en/mechanical-engineering/mechanics-of-the-solid/ei616/bridge-of-extensometry_ca826.html. [Accès le 24 May 2023].