الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

جامعة الدكتور يحي فارس المدية

Université Dr Yahia FARES de Médéa

Faculté des sciences et de la technologie
Département du Génie de la Matière

Projet de Fin d'études

Présenté pour l'obtention du diplôme de

Master en Génie Mécanique

Spécialité : Mécatronique

Thème

CONCEPTION ET REALISATION D'UN BANC D'ESSAI DE FLEXION

Proposé et dirigé par :

Dr. AMOURA Nasreddine

Mr. TCHOKETCH KEBIR Sofiane

Réalisé par :

Mr. CHORFI Hamza

Mr. KAMOUMIA Mhamed

Année universitaire 2014-2015

Dédicaces

Tout d'abord je tiens à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé, la volonté et le courage pour finir ce travail.

Ensuite, Je dédie ce modeste travail.

A mon père et ma mère pour leurs soutiens et leurs encouragements, sachant qu'aucune dédicace ne pourra compenser leurs sacrifices pour mon bien être et mon bonheur.

A tous mes chers frères.

A tous les membres des familles

CHORFI et HAMIOUDA

A mes amis, en particulier mon collègue du présent projet KAMOUMIA M'hamed qui n'a jamais manqué de travailler et ceux de la promotion de la 2ème année master mécatronique

A mes encadreurs

M. AMOURA Nasreddine et M.TCHOKETCH KEBIR Sofiane

Et à tous ceux qui nous ont soutenus pour l'achèvement de ce projet de fin d'études avec réussite.

CHORFI HAMZA

Dédicaces

Tout d'abord je tiens à remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donné la santé, la volonté et le courage pour finir ce travail.

Ensuite, Je dédie ce modeste travail.

A mon père et ma mère pour leurs soutiens et leurs encouragements et qu'aucune dédicace ne pourra compenser leurs sacrifices pour mon bien être et mon bonheur.

A tous mes chers frères.

A tous les membres de la famille KAMOUMIA

A mes amis, en particulier mon collègue du présent projet CHORFI Hamza qui n'a jamais manqué de travailler et ceux de la promotion de la 2ème année master mécatronique

A mes encadreurs

M. AMOURA Nasreddine et M.TCHOKETCH KEBIR Sofiane

Et à tous ceux qui nous ont soutenus pour l'achèvement de ce projet de fin d'études avec réussite.

KAMOUMIA M'HAMED

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude à ALLAH le tout puissant.

Tous Nos remerciements à nos encadreurs, Messieurs ***AMOURA NASREDINE ET TCHOKETCH KEBIR SOFIANE*** *pour le soutien et l'accompagnement qu'ils nous ont procuré, durant toute la période de réalisation de ce travail. Sans oublier nos amis qui nous ont aidés : ABDRAHMANE, AMINE, SOFIANE, AZIZE, REDAH, AHMED et YOUCEF….*

Nous remercions également les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Nous ne pouvant oublier de mentionner notre gratitude envers nos enseignants, pour leurs efforts afin de nous former au sein de la faculté des sciences et de la technologie à l'université de Médéa.

Encore une autre fois, Merci…

الملخص
أجهزة الاختبار في مقاومة المواد هي أجهزة بيداغوجية تستعمل من اجل التيقن من مختلف القوانين ومقارنة النتائج النظرية مع النتائج التطبيقية وتكون هذه الأجهزة مصممة لنوع واحد من الاجهادات أو لعدة أنواع (الشد، القص، الضغط أو ثني).
الهدف من هذا المشروع هو تصميم و انجاز جهاز قياس من اجل قياس قيمة انحناء عارضة بمختلف وضعيات التثبيت مع استعمال لاقط الكتروني استنادا على المتحكم "أرد وينو إين" وبرنامج تشغيل.MATLAB وسيخصص هذا الجهاز لطلبة كلية العلوم والتكنولوجيا في الاعمال التطبيقية الخاصة بمادة "مقاومة المواد".

الكلمات المفتاحية: جهاز اختبار الانحناء، لاقط إلكتروني، بطاقة (أرد وينو)

Abstract
In strength of materials, test rigs are educational devices used to verify the various analytical formulas by comparing the experimental values (measured) and the theoretical ones (calculated). The test rig can be dedicated to one type of solicitation or combining several types (tension, compression, shear and bending).
The aim of this graduation work is the design and realization of a test rig to investigate the deflection for statically determinate and statically indeterminate straight beams. Three electronic sensors, a card acquisition Arduino Uno and processing software under MATLAB are used. The device will be available to students of ST common core, for practical works in "The material strength" course.

Key words: Test rig, bending, and electronic sensor. Acquisition card Arduino Uno.

Résumé
Les bancs d'essais en résistance des matériaux sont des appareils pédagogiques utilisés pour vérifier les différentes formules analytiques, en comparant les valeurs expérimentales (mesurées) et les valeurs théoriques (calculées). Le banc d'essai peut être dédié à un seul type de sollicitation ou plusieurs types (traction, compression, cisaillement et flexion).

L'objectif de ce travail de fin d'études est la conception et la réalisation d'un banc d'essai pour mesurer la flèche en flexion droite d'une poutre sous différents modes de fixations, par utilisation de capteurs électroniques, une carte d'acquisition Arduino Uno et un logiciel de traitement sous MATLAB. Le dispositif réalisé sera mis à la disposition des étudiants du tronc commun ST, pour les travaux pratiques de la matière « Résistance des matériaux »

Mots clés : Banc d'essai, flexion, capteur électronique. Carte d'acquisition Arduino Uno,

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES 6

LISTE DES TABLEAUX 7

LISTE DES GRAPHES 7

INTRODUTION GENERALE 8

I CHAPITRE I : LES BANCS D'ESSAI EN RDM 11

I.1 INTRODUCTION 11

I.2 LES DIFFERENTS TYPES DE BANCS D'ESSAI DES POUTRES 11

I.3 CONCLUSION 22

II CHAPITRE II : CONCEPTION DU BANC D'ESSAI DE FLEXION 24

II.1 INTRODUCTION : 24

II.2 BANC D'ESSAI DE FLEXION : 24

II.3 CARACTERISTIQUES MECANIQUES ET ELECTRONIQUES : 25

II.4 CONCLUSION 29

III CHAPITRE III : LA CHAINE D'ACQUISITION 31

III.1 INTRODUCTION 31

III.2 LE CAPTEUR 31

III.3 LES AMPLIFICATEURS : 38

III.4 LES CONVERTISSEURS ANALOGIQUE NUMERIQUE : 42

III.5 LES CONVERTISSEURS NUMERIQUE-ANALOGIQUE : 47

III.6 LA COMPARAISON ENTRE LES DIFFERENTES ARCHITECTURES 52

III.7 CONCLUSION 52

IV CHAPITRE IV : REALISATION ET TEST DU BANC 54

IV.1 INTRODUCTION 54

IV.2 DESCRIPTION DES BLOCS 54

IV.3 PROGRAMMATION DE L'INTERFACE GRAPHIQUE 54

IV.4 CARTE D'ACQUISITION 57

IV.5 LE MECANISME DU BANC 59

IV.6 TEST DU BANC 62

IV.7 CONCLUSION 67

CONCLUSION GENERALE 70

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 71

ANNEXES 71

LISTE DES FIGURES

FIGURE I-1: ESSAI DE TRACTION 13
FIGURE I-2: BANC D'ESSAI DE TRACTION 13
FIGURE I-3: BANC D'ESSAI DE TRACTION 14
FIGURE I-4: TEST DE COMPRESSION 16
FIGURE I-5: BANC D'ESSAI DE COMPRESSION 16
FIGURE I-6: CISAILLEMENT SIMPLE D'UNE POUTRE SELON L'AXE Y 17
FIGURE I-7: ESSAI DE CISAILLEMENT 18
FIGURE I-8: APPAREIL D'ESSAI DE CISAILLEMENT 19
FIGURE I-9: FLEXION TROIS POINTS 19
FIGURE I-10: ESSAI DE FLEXION 20
FIGURE I-11: BANC D'ESSAI DE FLEXION 21
FIGURE II-1 VUE EN PERSPECTIVE DU BANC 26
FIGURE II-2: TABLE DU BANC D'ESSAI 27
FIGURE II-3: SUPPORT DE LA POUTRE A TESTEE 28
FIGURE II-4: MECANISME DE SUPPORT DES CAPTEURS ELECTRONIQUES 28
FIGURE II-5: CAPTEUR DE DEPLACEMENT 29
FIGURE III-1: EFFET D'HYSTERESIS. 33
FIGURE III-2: SCHEMA DE PRINCIPE DES CAPTEURS DE PRESSION. 34
FIGUREIII-3 : EXEMPLE SUR CAPTEURS D'ACCELERATION 34
FIGURE III-4 : EXEMPLE DE CAPTEUR DE CHOC 35
FIGURE III-5 : EXEMPLE DE CAPTEUR DE DEPLACEMENT 35
FIGURE III-6: EXEMPLE DE CAPTEUR D'HUMIDITE 36
FIGURE III-7: EXEMPLE DE CAPTEUR DE POSITION 36
FIGURE III-9: LES AMPLIFICATEURS OPERATIONNELS. 41
FIGURE III-10: SCHEMA D'UN AMPLIFICATEUR D'INSTRUMENTATION 41
FIGURE III-11: CONVERSION ANALOGIQUE NUMERIQUE 42
FIGURE III-12: LES ETAPES DE LA CONVERSION 43
FIGURE III-13: PASSAGE DU SIGNAL ANALOGIQUE AU SIGNAL ECHANTILLONNE 43
FIGURE III-14: PASSAGE DU SIGNAL ECHANTILLONNE AU SIGNAL QUANTIFIE 44
FIGURE III-15: FONCTION DE TRANSFERT D'UN CAN 44
FIGURE III-16: ERREUR DE QUANTIFICATION 46
FIGURE III-17: SYNOPTIQUE D'UN CONVERTISSEUR NUMERIQUE-ANALOGIQUE N BITS 47
FIGURE III-18: CARACTERISTIQUE DE TRANSFERT IDEAL D'UN CNA A 3 BITS 48
FIGURE III-19: ERREUR DE GAIN DE CNA 49
FIGURE III-20: ERREUR D'OFFSET DE CNA 49
FIGURE III-21: ERREUR D'ETABLISSEMENT 50
FIGURE IV-1 IMAGE DU GUI REALISE 55
FIGURE IV-2: DIFFERENTES CARTE ARDUINO 57
FIGURE IV-3: DIFFERENTS ELEMENTS DE LA CARTE ARDUINO UNO. 58
FIGURE IV-4 CABLAGE CAPTEURS-CARTE D'ACQUISITION 59
FIGURE IV-5 BARRE SUPPORT DES CAPTEURS ELECTRONIQUES 60
FIGURE IV-6 : FIXATION DU CAPTEUR SUR SON SUPPORT (UTILISATION D'UNE RESINE) 60
FIGURE IV-7 INDICATEUR DE LA POSITION DU CAPTEUR 61
FIGURE IV-8 MACHOIRE POUR LA FIXATION DES EXTREMITES DE LA POUTRE 61
FIGURE IV-9 POINTS D'APPLICATION DU CHARGEMENT 62
FIGURE IV-10 IMAGE DE L'INTERFACE GRAPHIQUE MONTRANT LES DEPLACEMENTS MESURES ET CALCULES AUX POSITIONS DES CAPTEURS, POUR UN CHARGEMENT DE 1 KG 64
FIGURE IV-11 IMAGE DE L'INTERFACE GRAPHIQUE MONTRANT LES DEPLACEMENTS MESURES ET CALCULES AUX POSITIONS DES CAPTEURS, POUR UN CHARGEMENT DE 2,75 KG 64

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I-1: PROPRIETES DU MATERIAU ET GRANDEURS MESUREES 12
TABLEAU II-1: NOMENCLATEUR DES ELEMENTS CONSTITUTIFES DU BANC 26
TABLEAU III-1: LA COMPARAISON ENTRE LES DIFFERENTES ARCHITECTURES 52
TABLEAU IV-1: LES FORMULES ANALYTIQUES DES DEFORMEES SELON LE MODE DE FIXATION DES EXTREMITES DE LA POUTRE 56
TABLEAU IV-2 TABLE REGROUPANT LES VALEURS DES DEPLACEMENTS (MESURES ET ANALYTIQUES) 63
TABLEAU IV-3 TABLE REGROUPANT LES ERREURS RELATIVES SUR LES MESURES AUX TROIS CAPTEURS 66

LISTE DES GRAPHES

GRAPHE IV.1 COMPARAISON DES DEPLACEMENTS MESURES ET ANALYTIQUES POUR LE CAPTEUR1 65
GRAPHE IV.2 COMPARAISON DES **FLECHES** MESUREES ET ANALYTIQUES POUR LE CAPTEUR2 65
GRAPHE IV.3 COMPARAISON DES DEPLACEMENTS MESURES ET ANALYTIQUES POUR LE CAPTEUR 3 66
GRAPHE IV.4 APPROXIMATION DE LA COURBE CHARGEMENT-DEPLACEMENT PAR UNE REGRESSION LINEAIRE 67

INTRODUTION GENERALE

Introduction générale

Les essais mécaniques sont des expériences dont le but est de caractériser les lois de comportement des matériaux (mécanique des milieux continus). La loi de comportement établit une relation entre les contraintes et les déformations.

Les essais mécaniques sont la partie intégrante de n'importe quelle production,

Pour atteindre cet objectif, le travail est divisé en deux parties principales, à savoir : la partie structure mécanique et la partie acquisition électronique des mesures.

Le principal objectif est de disposer d'un banc d'ergonomie flexible permettant d'effectuer un grand nombre d'expériences avec plusieurs types d'appuis (simples, articulé, encastrés, etc.) Le banc est dédié à la découverte et à la pédagogie avec pour objectif la détermination des caractéristiques techniques d'une poutre de différents matériaux et sous différents schémas de contraintes.

Afin de présenter le travail, nous avons structuré le mémoire en quatre chapitres :

- Le chapitre 01 est un résumé succinct de plusieurs références décrivant les différents bancs d'essai utilisés pour l'enseignement de la RDM, selon les éléments constitutifs.
- Le chapitre 02 donne les étapes détaillées de la conception du banc ainsi que les matériaux utilisés.
- Le chapitre 03, quant à lui, est dédié à la partie électronique du banc. Une description de la chaine d'acquisition et des composants utilisés est donnée,
- Le chapitre 04 est consacré à la partie réalisation du banc ainsi qu'aux essais de validation.

Enfin, une conclusion générale résume le travail accompli ainsi que les perspectives attendues.

Chapitre I

Les bancs d’essai en RDM

Chapitre I : Les bancs d'essai en RDM

I.1 Introduction

Pour tester les performances de n'importe quelle structure (métallique ou non métallique), on lui fait subir un certain nombre d'essais mécaniques, de traction (ou compression), de torsion, de cisaillement et de flexion.

Pour réaliser ces essais, on a besoin d'utiliser différents types de machines qui sont le banc d'essai de traction-compression, le banc d'essai de flexion et le banc d'essai de cisaillement.

I.2 Les différents types de bancs d'essai des poutres

I.2.1 Le banc de traction

I.2.1.a Définition

La traction est une force appliquée par des moyens mécaniques solides (forces de frottement, appliquées directement, etc.). Contrairement à une idée répandue dans le milieu de l'automobile, cela n'a rien à voir avec la position du point d'application de la force par opposition au centre de masse, et la traction ne s'oppose pas à la propulsion qui serait appliquée à l'arrière. La propulsion est simplement une généralisation de la notion de traction, quand les forces ne s'appliquent pas forcément entre des solides.

En résistance des matériaux, la traction est une sollicitation qui consiste à tirer sur une poutre droite. Le contraire de la traction est la compression. [1]

I.2.1.b L'essai de traction

Un essai de traction est une expérience physique qui permet de mesurer le degré de résistance à la rupture d'un matériau.

Certains objets manufacturés doivent avoir un minimum de solidité pour pouvoir supporter les charges, le poids et bien d'autres efforts. L'essai de traction permet de caractériser les matériaux, indépendamment de la forme de l'objet sollicité, ou la performance d'un assemblage mécanique. Comme tout essai mécanique, l'essai de traction reproduit une sollicitation simple, donc éloignée des sollicitations réelles, mais facilement maîtrisables et reproductibles. [1]

Cet essai ou expérience consiste à placer une petite barre du matériau à étudier entre les mâchoires d'une machine de traction qui tire sur la barre jusqu'à sa rupture. On enregistre l'allongement et la force appliquée, que l'on convertit ensuite en déformation et contrainte.

L'essai de traction donne plusieurs valeurs importantes :

- Le module de Young, E, ou module d'élasticité longitudinal, exprimé en Méga-Pascals (MPa) ou en Giga-Pascals (GPa) ;
- La limite d'élasticité (lorsqu'elle existe), R_e, σ_e ou σ_y (*yield stress en Anglais*), qui sert à caractériser un domaine conventionnel de réversibilité ;
- La résistance à la traction R_m ou σ_m, qui définit la limite à la rupture ;
- L'allongement à la rupture A, qui mesure la capacité d'un matériau à s'allonger sous chargement avant sa rupture. Propriété intéressante dans certaines applications.
- Le coefficient de Poisson, qui correspond à la fraction (ou le pourcentage) de déformation transversale divisée par la fraction (ou le pourcentage) de déformation axiale.

Tableau I-1: Propriétés du matériau et grandeurs mesurées

Propriétés du matériau et grandeurs mesurées	
Grandeur	Propriété
E	Souple si E est faible et Rigide si E est élevé
R_e	Dureté : Mou si R_e est faible et Dur si R_e est élevée
A	Ductilité / Malléabilité : Fragile si A est faible, ductile et malléable si A est élevé

I.2.1.c Banc d'essai de traction :

1- Support mandrin sup
2- Cadre
3- Support mandrin inf
4- Echantillon
5- Mandrin inferieur
6- Mandrin supérieur

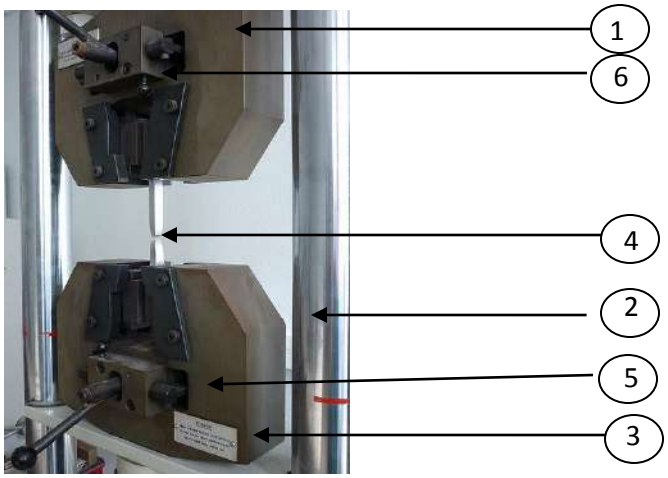


Figure I-1: Essai de traction

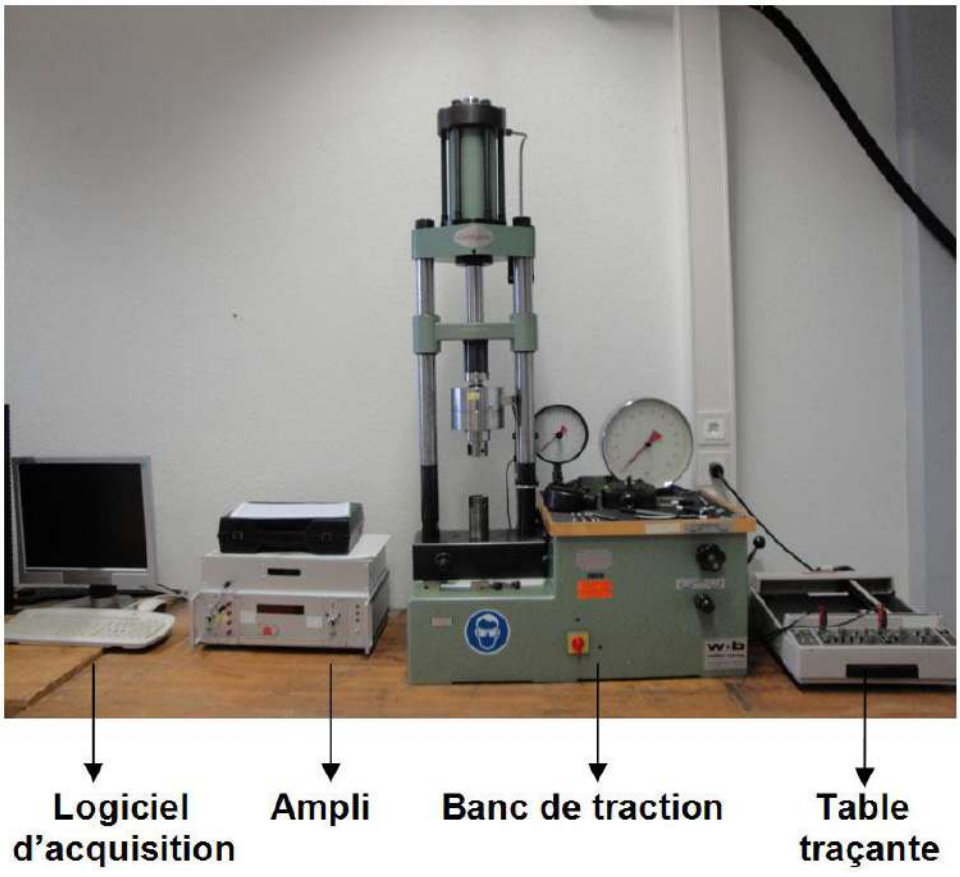


Figure I-2: Banc d'essai de traction

1- bâti

2- traverse mobile

3- cadre

4- mandrin supérieur

5- mandrin inferieur

6- pc de commande

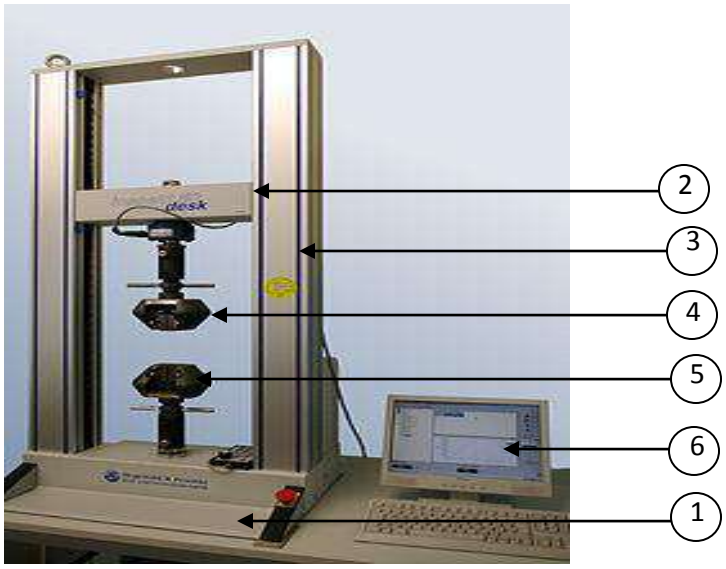


Figure I-3: Banc d'essai de traction

Une machine de traction (ou machine d'essais mécaniques ou encore machine d'essais universelle) est un appareil de laboratoire utilisé pour réaliser divers essais mécaniques, en général normalisés, sur des éprouvettes ou des pièces de matériau ayant éventuellement subi un vieillissement.

Une machine de traction est équipée d'un capteur de force interchangeable, fixé sur la traverse mobile, d'un capteur de déplacement, de deux attaches (mors) mobiles idéalement auto-serrantes pour réaliser un essai de traction et d'un enregistreur graphique. La traverse mobile est entraînée par deux vis latérales, actionnées par un motoréducteur à courant continu. La liaison entre les vis et le réducteur s'effectue en général par poulies et courroie crantée. La vitesse du mors mobile, en général constante, peut être réglée de 1 à500 mm/min (valeur typique : 10 mm/min).

Le type de sollicitation, tel la traction uni-axiale, la traction-cisaillement, la compression ou la flexion trois points, dépend du porte-échantillon choisi et des dimensions de l'échantillon. Le montage peut être disposé dans une enceinte thermo-régulée (disponible en option, pour essais à l'ambiante/chaud/froid) ; l'éprouvette de traction peut aussi être disposée dans un four ouvrant (en option, température maximale d'utilisation de 1 000 °C par exemple).

L'échelle de charges du capteur de force peut être de 1 N à plusieurs centaines de KN selon le type de produit examiné et le type de sollicitation.

Au moins trois éprouvettes sont prévues pour chaque essai. Une contrainte (ex. : de rupture en traction-cisaillement) ou une force d'emboîtage peuvent être mesurées. Les machines d'essais modernes disposent d'un logiciel de calcul approprié.

Certaines machines de traction, équipées en option d'un extensomètre, permettent, à partir d'éprouvettes de forme « haltère », l'enregistrement des courbes effort-allongement, pour par exemple caractériser la souplesse des matériaux utilisés par la valeur de l'allongement à la rupture. Dans ce cas, la mesure des allongements ne peut plus être obtenue par la mesure du déplacement de la traverse : les extensomètres prennent en compte l'allongement entre deux repères (valeur de L_0 de 10 à 50 mm, éventuellement prescrite par un document normatif) dans la partie centrale (calibrée) de l'éprouvette haltère.

Des caractéristiques d'extensibilité d'éprouvettes (modules d'Young et sécant, allongement et contrainte à la rupture) peuvent être mesurées.

I.2.2 Le banc de Compression :

I.2.2.a Définition :

La compression est une contrainte mécanique équivalente à l'action d'une force qui exerce une pression à chaque extrémité d'un cylindre ou d'une poutre rectiligne.

I.2.2.b L'essai de compression :

L'essai de compression consiste à soumettre une éprouvette de forme cylindrique, placée entre les plateaux d'une presse, à deux forces axiales opposées. Si le matériau étudié est ductile, la rupture ne peut être atteinte avec ce test. L'essai de compression est surtout utilisé pour déterminer la contrainte de rupture des matériaux fragiles (comme les céramiques) qui sont difficiles à usiner pour un essai de traction.

Tout comme les essais de traction et de flexion, les essais de compression sont une manière commune de déterminer les propriétés des matériaux plastiques (non renforcés ou renforcés). Cet essai est utile pour déterminer le module d'élasticité, la

contrainte d'élasticité, la résistance à la compression et la déformation au-delà de la limite d'élasticité

F_1- force

F_2- force

1- plaque métallique

2- échantillon

3- plaque métallique

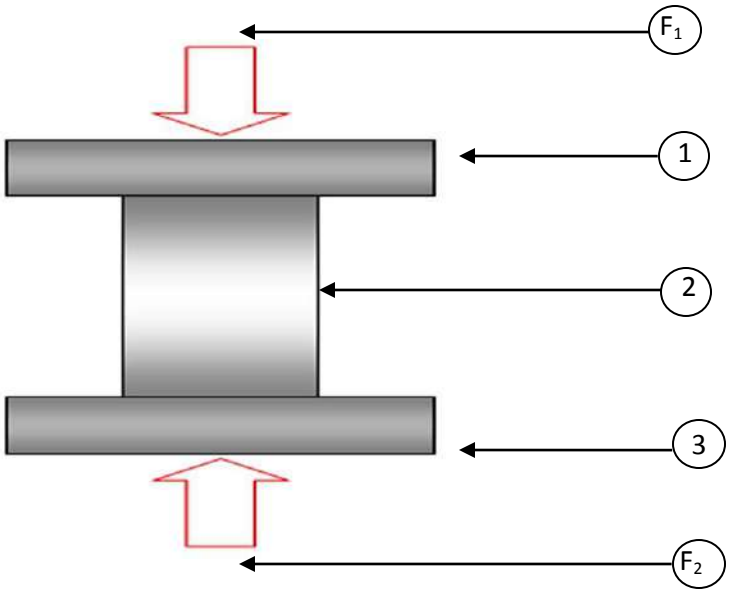


Figure I-4: Test de compression



1- bâti
2- commande
3- arrêt d'urgence
4- traverse mobile
5- vérin
6- plaque6
7- support
8- support de flexion

Figure I-5: Banc d'essai de compression

I.2.3 Le banc de cisaillement :

I.2.3.a Définition :

On a du cisaillement simple lorsque l'on applique deux forces $\vec{T}$ et $-\vec{T}$ perpendiculairement à l'axe, les points d'application étant légèrement décalées (d'une quantité notée *d* sur la Figure I-6: s'ils sont au droit (à la même abscisse), on a du pincement, et s'ils sont très éloignés, on a de la flexion. On remarque au passage qu'il en résulte un moment de couple T×*d*, qui doit être compensé par ailleurs, c'est ce couple qui crée de la flexion si *d* est important et qui différencie le cisaillement pur (cisaillement théorique dont le torseur de cohésion ne contient qu'un effort tranchant) du cisaillement simple (qui lui contient un moment de flexion) [2].

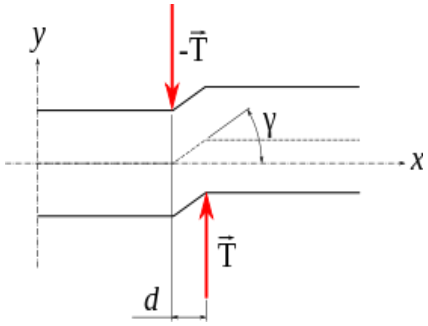


Figure I-6: Cisaillement simple d'une poutre selon l'axe

Le cisaillement simple a lieu entre les points d'application de la force ; on n'est donc pas dans les conditions d'application du principe de Saint-Venant. On considère que la contrainte est uniforme :

$$\tau = \frac{T}{S}$$

Où **S** est l'aire de la section droite.

T : effort de cisaillement

La matière reste dans le domaine élastique tant que le cisaillement vérifie :

$\tau \leq R_{eg}$

Où R_{eg} est la limite d'élasticité au glissement. Elle est reliée aux limites d'élasticité à la traction (R_e) et à la compression (R_{ec}) par :

$$R_{eg} = \frac{k_0}{1 + k_0} \cdot R_e$$

Avec

$$k_0 = \frac{R_e}{R_{ec}}.$$

I.2.3.b L'essai de cisaillement

1- support

2- cylindre

3- échantillon

4- traverse de tension

5- support

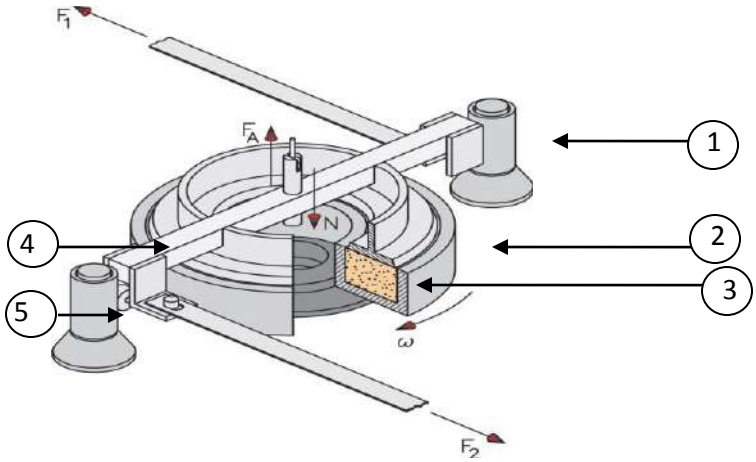


Figure I-7: Essai de Cisaillement

L'échantillon annulaire est disposé autour d'un cylindre central dont la mise en rotation assurera le cisaillement de l'échantillon. Sur l'autre bord cylindrique, une pression de confinement est exercée par l'intermédiaire d'une membrane en néoprène elle-même soumise à une pression.

Un tel principe assure l'homogénéité des conditions aux limites de déplacement sur toute l'interface et minimise les effets de bord comme ceux que présente une boîte de cisaillement direct modifiée (où il y a une dissymétrie entre le bord « amont » et le bord « aval »).

I.2.3.c Banc d'essai de cisaillement

1- plaque de fixation

2- cylindre

3- bâti

4- support

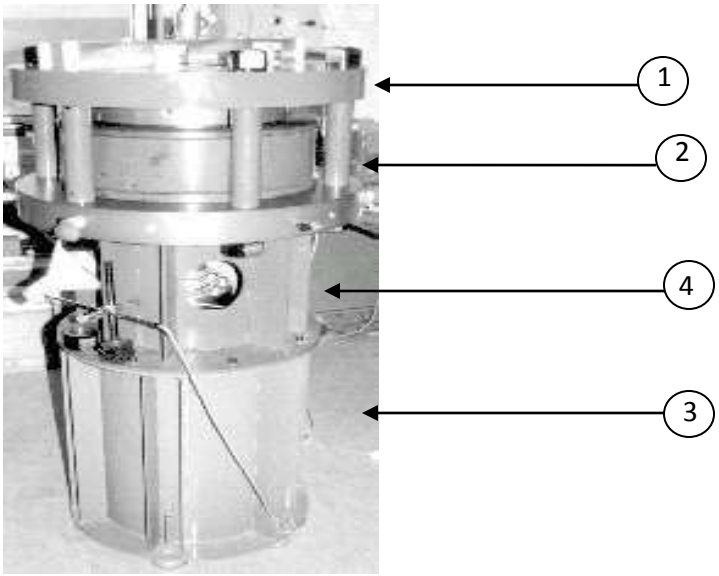


Figure I-8: Appareil d'Essai de Cisaillement

L'appareil de cisaillement simple annulaire est un appareil destiné à l'étude de l'interface sol/structure. [3]

I.2.4 Le banc de flexion

I.2.4.a Définition

La flexion est la déformation d'un objet qui se traduit par une courbure. Dans le cas d'une poutre, elle tend à rapprocher les deux extrémités de la poutre. Dans le cas d'une plaque, elle tend à rapprocher deux points diamétralement opposés sous l'action d'un chargement. [4]

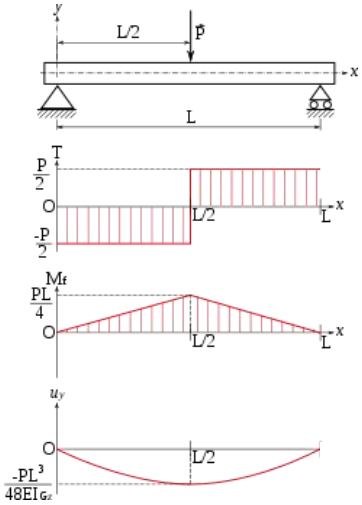


Figure I-9: Flexion trois points

I.2.4.b L'essai de flexion

La flexion provoque une distribution de contraintes présentant à la fois un gradient et une répartition de contraintes de traction et de compression de part et d'autre de la fibre neutre.

L'essai de flexion détermine l'aptitude à la déformation d'un matériau sur deux appuis avec une application de l'effort à mi-distance.

On impose à une éprouvette normalisée une déformation, ou *flèche*, à vitesse de déformation constante, et on mesure la force qu'oppose l'éprouvette à cette déformation.

Cet essai permet de connaître :

• Le comportement mécanique du matériau ;

• Les propriétés du matériau ;

• Les valeurs des caractéristiques du matériau

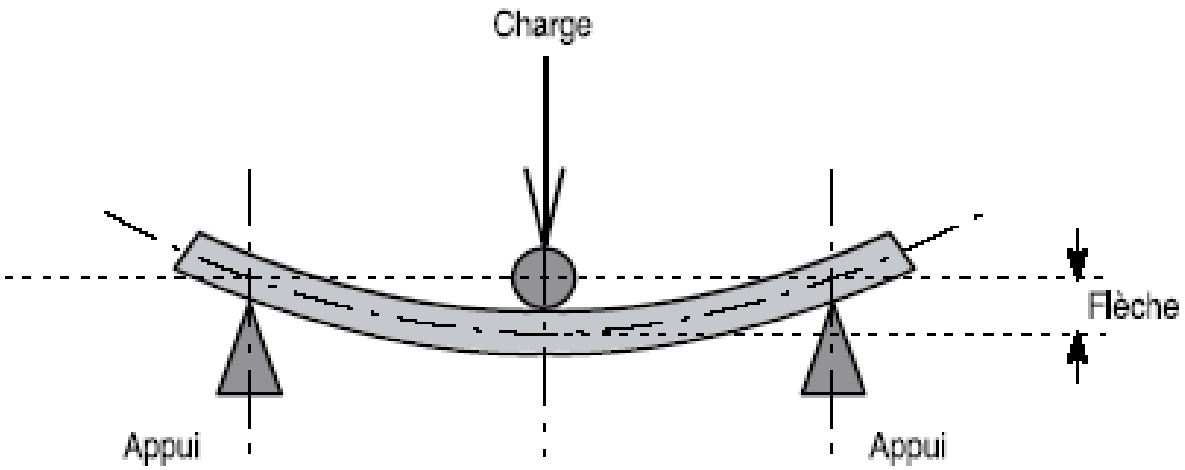


Figure I-10: Essai de flexion

I.2.4.c Banc d'essai de flexion :

Machine d'essai assurant une vitesse de chargement constante : 2mm/mn et qui permet de mesurer la charge exercée avec une précision de 1% au moins.

Dans le laboratoire où on va effectuer les essais la machine d'essai est une machine universelle elle est constituée d'un bâti rigide qui comprend une traverse fixe à laquelle est fixée la base du montage de flexion sur laquelle repose l'éprouvette. La panne du complément du montage qui va appuyer sur l'éprouvette est fixée à une traverse mobile. [5]

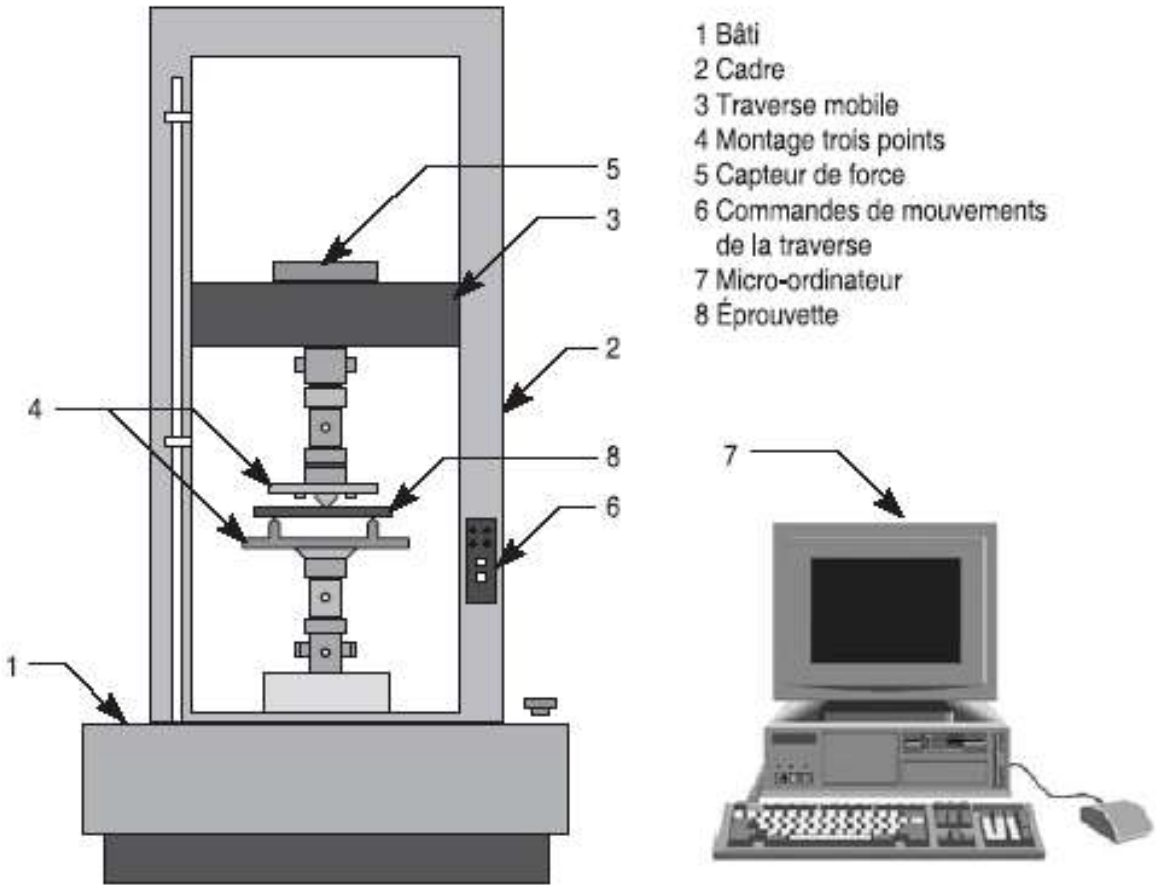


Figure I-11: Banc d'essai de flexion

I.2.4.d Dispositif

Dispositif assurant la flexion de l'éprouvette par application de la charge, il est composé :

- d'un banc de flexion constitué de deux appuis cylindriques horizontaux libre de rotation d'un diamètre de 60 mm et distants entre axes d'une valeur l,
- d'une traverse avec rotule en centre et comportant une tête cylindrique horizontale de même diamètre que les appuis et placée au milieu de l'éprouvette, elle est libre de rotation.

Instruments de mesurage

Pied à coulisse

Permettant de déterminer les dimensions de la section transversale de l'éprouvette avec une précision de 0,05 mm au moins.

Le principe de l'essai est le suivant :

On mesure à mi- longueur de l'éprouvette, les dimensions de la section transversale et la longueur avec une précision de ± 0,05 mm

On place l'éprouvette en appui sur le banc de flexion de façon que la charge soit appliquée parallèlement aux cernes.

On amène les deux têtes cylindriques de chargement en contact avec la face supérieure, ensuite on augmente la charge de flexion à vitesse constante de chargement : 2mm/mn jusqu'à atteindre la rupture.

La durée de l'essai est de (1,5± 0,5) min.

I.3 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu des différents types de bancs d'essai en résistance des matériaux. Pour chaque type d'essai, nous avons donné une description des principales caractéristiques du dispositif utilisé et nous avons argumenté cette présentation d'images, décrivant les parties principales des différents appareils.

Chapitre II

Conception du banc d’essai de flexion

Chapitre II : conception du banc d'essai de flexion

II.1 Introduction :

Il est vrai que le numérique occupe aujourd'hui une place importante dans l'étude des problèmes des milieux continus et particulièrement dans la résistance des matériaux.

Parfois même lorsque l'on traite un problème de résistance des matériaux en se basant uniquement sur les mathématiques, voire l'informatique en utilisant les équations appropriées, il nous semble suffisant pour conclure à l'exactitude des résultats. Alors qu'en vérité, on ne peut confirmer de pareils résultats (théoriques) que s'ils concordent avec ceux de l'expérience.

Il faut dire que, quel que soit le degré de précision que pourra atteindre le calcul numérique dans le traitement des problèmes physiques en général, l'analyse mathématique demeurera toujours sujette à validation. Il est donc nécessaire de passer par des expériences réelles sur des machines pour assurer les résultats finaux.

Il existe déférentes méthodes permettant de faire des mesures en résistance des matériaux et pour réaliser ces mesures on a besoin d'utiliser des bancs d'essai dédiés aux sollicitations simples ou composées : Traction, compression, flexion, cisaillement…

Dans ce chapitre on va présenter la conception du banc d'essai de flexion droite de poutres.

II.2 Banc d'essai de flexion :

II.2.1 Définition :

Les bancs d'essais de flexion sont des dispositifs pédagogiques conçus afin de vérifier les formules analytiques de calcul de la flèche enseignées en RDM. Le banc de flexion est conçu pour les travaux pratiques de résistance des matériaux. Ainsi, l'étudiant pourra comparer les déplacements calculés avec ceux mesurés par les trois capteurs de déplacement du dispositif. Les déplacements mesurés sont affichés sur une interface graphique développée sous Matlab selon le mode de fixation de la poutre. A ce titre, quatre modes de fixations des extrémités des poutres ont été intégré dans l'interface graphique avec les formules analytiques appropriées.

II.2.2 Avantage du banc d'essai :

Le banc d'essai de flexion conçu, possède les propriétés suivantes :

- Permet de calculer le déplacement de la poutre fléchie en trois points distincts.
- Une grande précision de mesure de la flèche ($5\,\mu m$) donnée par la qualité des capteurs électroniques utilisés.
- Le logiciel d'acquisition développer pour le banc d'essai permet de simplifier les calculs des formules analytiques.
- La manipulation du banc et l'utilisation de l'interface graphique sont simplifiées.
- La mobilité des positions des capteurs électroniques le long de la poutre permet de mesurer la flèche en n'importe quel point sur la poutre testée.

II.3 Caractéristiques mécaniques et électroniques :

II.3.1 Dessin du banc d'essai de flexion :

On a utilisé le logiciel de modélisation volumique « SolidWorks » pour la conception du banc d'essai de flexion [6]. La figure II.1 donne une présentation 3D du banc, ainsi que les différents éléments constitutifs.

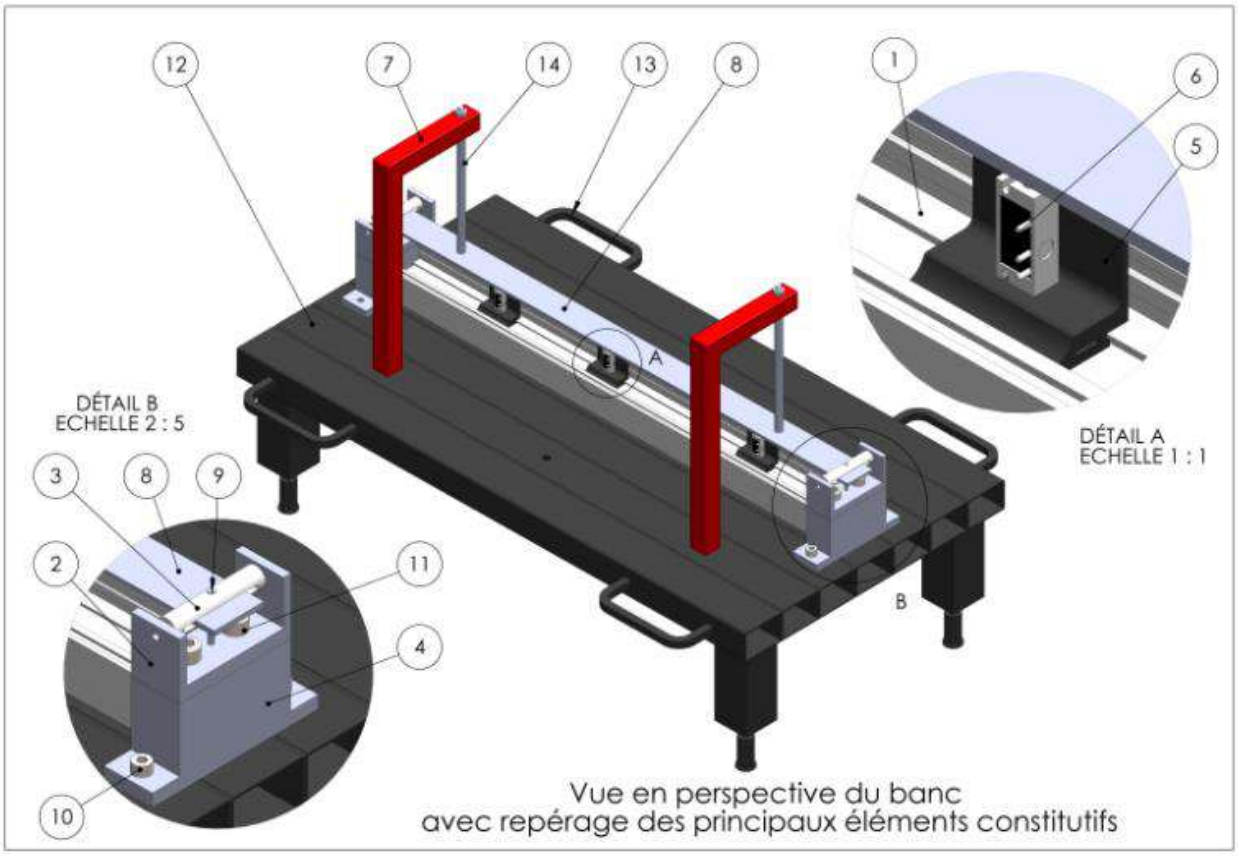


Figure II-1 vue en perspective du banc

Tableau II-1: nomenclateur des éléments constitutifs du banc

II.3.2 Composantes mécaniques du banc :

No. ARTICLE	NOM DE PIECE	QTE
1	Barre porte capteur	1
2	Support poutre	2
3	Mâchoire	2
4	Porte support poutre	2
5	Elément de fixation capteur	3
6	Capteur déplacement	3
7	Support chargement	2
8	Poutre à tester	1
9	Axe mâchoire	2
10	ISO 4762 M8 x 40 --- 28N	3
11	ISO 4762 M10 x 20 --- 20N	4
12	Table	1
13	Poignée	4
14	Axe fixation chargement	2
15	Ecrou ISO 4032 M8	2

1-Le bâti ou le châssis :

Un châssis mécano-soudé pour éviter au maximum les déformations du banc lui-même. Il se compose d'une série de tubes carrés en acier et quatre pieds réglables, ce châssis supporte toutes les pièces du banc. Pour bien illustrer le dispositif, nous l'avons présenté dans le dessin de la Figure II-2

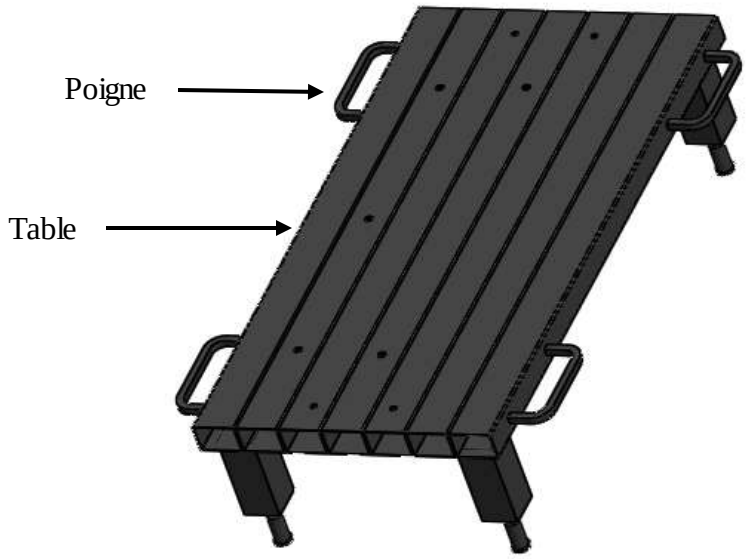


Figure II-2: Table du banc d'essai

2 – Supports de la poutre à tester

Les supports de la poutre à tester sont des pièces usinées en aluminium de forte section, avec une mâchoire permettant la fixation de l'extrémité de la poutre en polyamide. Les dimensions des supports permettent de s'affranchir des problèmes de déformation de la structure lors des chargements. La figure II.3 donne une image de la forme des supports. Les différentes dimensions sont données dans les dessins de définitions en annexe.

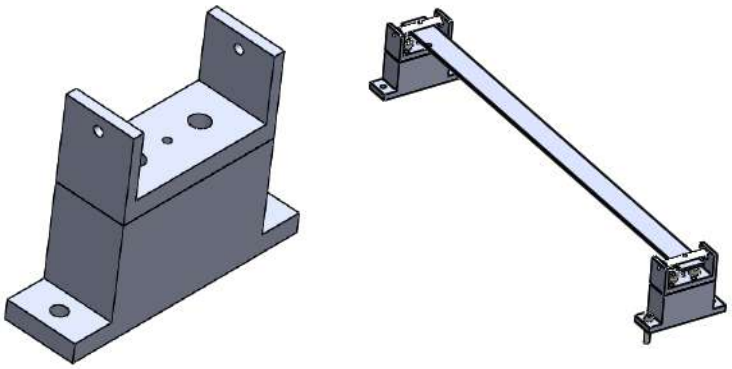


Figure II-3: Support de la poutre à testée

3-Mécanisme de support des capteurs électroniques :

C'est un ensemble de trois pièces ; traverse en aluminium de faible section rainuré, support de capteur glissent et port capteur.

Ce mécanisme assure le déplacement des capteurs électroniques sur toute la langueur de la poutre testée .la Figure II-4 présente ce mécanisme :

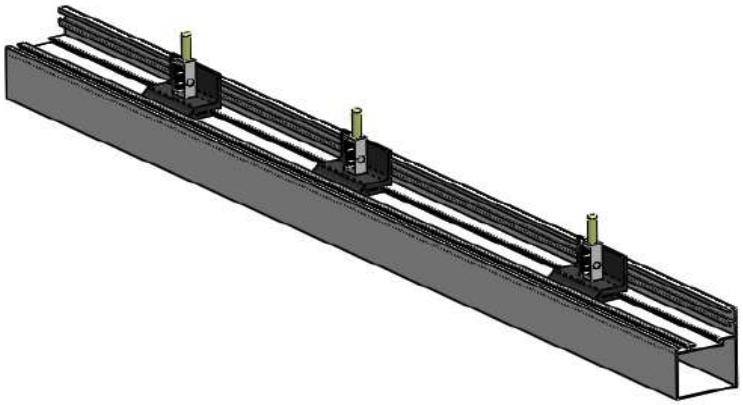


Figure II-4: Mécanisme de support des capteurs électroniques

II.3.3 Composants électroniques du banc :

1 – Capteur de déplacement :

Un capteur résistif permet l'acquisition des données demandées, dans un intervalle de mesure entre 0 mm et 12 mm, c'est une pièce très sensible capable de donner des mesures de fléchissements très petites ($f \leq 0.005$ mm).

On a choisi ce capteur parce qu'il est facile à utiliser, de bonne résistance aux chocs et ses résultats sont fiables. Le faible encombrement du dispositif facilite son placement sur le banc.

1- Tête de contact
2 - Boitier
3 - Pôle des données
4 - Pôle d'alimentation
5 - Pôle d'alimentation

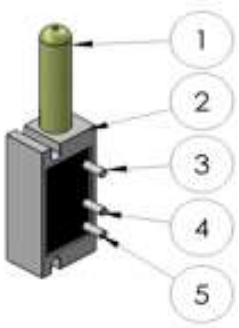


Figure II-5: Capteur de déplacement

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit la conception de la partie mécanique du banc. Des dessins d'ensemble sont donnés avec un repérage des différentes pièces constitutives. Enfin, une description des capteurs de déplacement utilisés est donnée. Les dessins de définition des différentes pièces, ainsi que la fiche donnant les références et les caractéristiques électroniques des capteurs, sont donnés en annexe à la fin du rapport.

Chapitre III

La chaîne d’acquisition

Chapitre III : La chaine d'acquisition

III.1 Introduction

La chaîne d'acquisition est un ensemble de composants électroniques qui permet de transformer une grandeur physique en une grandeur normée. Dans ce chapitre nous allons donner une description des différents composants constituants la chaine d'acquisition.

III.2 Le capteur

III.2.1 Définition :

Un capteur transforme une grandeur physique en une grandeur normée, généralement électrique, qui peut être interprétée par un dispositif de contrôle commande [7].

III.2.2 Etalonnage des capteurs :

L'étalonnage est l'opération qui établit la relation entre le mesuré et la grandeur électrique de sortie. Cette relation peut dépendre non seulement du mesuré mais aussi des grandeurs d'influence. S'il n y a pas de grandeurs d'influence, l'étalonnage est simple, sinon il est multiple.

III.2.3 Principales caractéristiques des capteurs :

III.2.3.a Sensibilité et Linéarité :

La sensibilité « S » d'un capteur est la variation de la mesure « s » prélevée pour une variation du mesuré « m ».

$$S = \frac{\partial s}{\partial m}$$

Pour que la sensibilité soit indépendante de m (constante), il faut que le capteur soit linéaire :

$$s = S.m + s_0$$

Bien entendu, on peut toujours définir une plage de valeurs de m pour lesquels S est constante.

III.2.3.b Précision :

C'est la capacité d'un instrument de mesure de donner la même valeur lorsque la mesure est répétée plusieurs fois sous les mêmes conditions. Autrement dit, si plusieurs mesures sont effectuées, l'écart entre les résultats est très faible.

III.2.3.c Incertitude :

C'est la marge d'erreur ΔR entre la valeur donnée par l'appareil de mesure et la vraie valeur du mesuré. L'erreur relative donne une meilleure appréciation sur l'incertitude d'un appareil de mesure.

III.2.3.d Temps de réponse :

C'est l'aptitude d'un capteur à répondre aux variations du mesuré avec le temps.

III.2.3.e Etendue de mesure :

L'étendue d'un capteur définie la valeur minimum est la valeur maximum du mesuré pour lesquels le capteur a été conçu pour mesurer.

III.2.3.f Seuil :

Le seuil d'un capteur est la valeur minimum du mesuré à partir de laquelle le capteur devient sensible. En dessous de cette valeur le capteur ne mesure rien et il affiche zéro.

III.2.3.g Hystérésis :

La figure ci-dessous illustre les caractéristiques de sortie d'un capteur présentant un effet d'hystérésis. L'hystérésis consiste au non coïncidence entre la courbe de charge et celle de décharge.

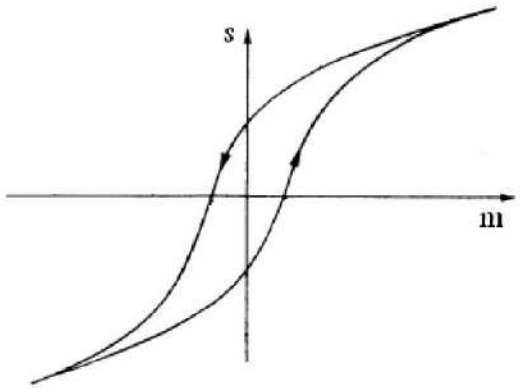


Figure III-1: Effet d'hystérésis.

III.2.4 Classification des capteurs :

On classifie les capteurs en deux grandes familles en fonction de la caractéristique électrique de la grandeur de sortie. Cette classification influe sur le conditionneur qui lui est associé.

III.2.4.a Capteurs actif :

Fonctionnant en générateur, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en ´énergie ´électrique de la forme d'énergies propre à la grandeur physique à prélever, énergie thermique, mécanique ou de rayonnement

III.2.4.b Capteur passif :

Dans ce cas, la sortie du capteur est équivalente à un générateur. C'est un dipôle actif qui peut être du type courant, tension ou charge.

III.2.5 Type des capteurs :

Il existe dans l'industrie une panoplie de capteurs qui peuvent être classés suivant leurs natures (actifs ou passifs) ou suivant le phénomène physique qui est à l'origine de leurs fonctionnements. On cite à titre d'exemple quelques types des capteurs les plus utilisés.

III.2.5.a Capteurs de pression :

Dans tous les cas, les capteurs de pression peuvent se ramener au schéma synoptique ci-dessous. Le corps d'épreuve est l'élément mécanique qui, soumis aux variations de la grandeur à mesurer a pour rôle de transformer celle-ci en grandeur physique mesurable.

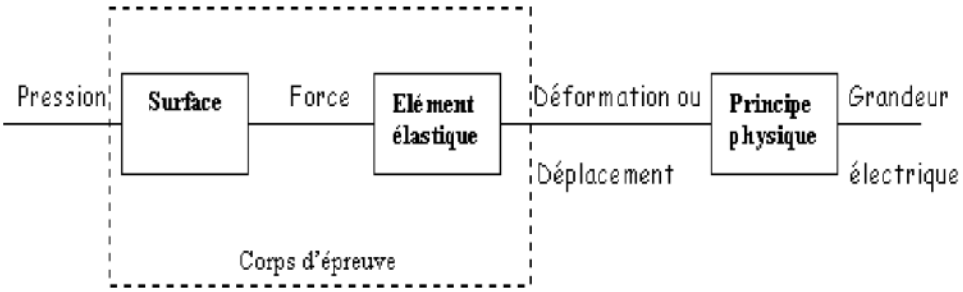


Figure III-2: Schéma de principe des capteurs de pression.

III.2.5.b Capteurs d'accélération

Un accéléromètre est un capteur fixé à un élément fixe, permet de mesurer l'accélération de ce dernier. Le principe de tous les accéléromètres est basé sur la loi fondamentale de la dynamique :

$$F = m.\gamma$$

Plus précisément, il consiste en l'égalité entre la force d'inertie de la masse sismique du capteur et une force de rappel appliquée à cette masse. On distingue deux grandes familles d'accéléromètres.



FigureIII-3 : Exemple sur capteurs d'accélération

III.2.5.c Capteurs de choc :

Certains capteurs d'accélération (à détections piézoélectrique, piézorésistive, capacitive, etc.) peuvent être utilisés pour mesurer les chocs qui ne sont autre que des accélérations de très forte amplitude.



Figure III-4 : Exemple de Capteur de choc

III.2.5.d Capteurs de déplacement :

Les capteurs de déplacement permettent de détecter une variation de faibles distances. Parmi les méthodes de détection les plus utilisées dans ce type de capteurs, on trouve les capteurs à détection capacitive, ou résistive.



Figure III-5 : Exemple de capteur de déplacement

III.2.5.e Capteurs d'humidité :

La mesure d'humidité est difficile. Généralement l'humidité dans l'air est mesurée comme la fraction maximum d'eau qui peut être absorbée à une certaine température. Les

techniques de détection les plus utilisées sont la détection résistive et la détection capacitive.



III-6: Exemple de capteur d'humidité

III.2.5.f Capteurs de position :

Les capteurs de position sont des capteurs de contact. Ils peuvent être équipés d'un galet, d'une tige souple, d'une bille. L'information donnée par ce type de capteur est de type tout ou rien et peut être électrique ou pneumatique.



III-7: Exemple de capteur de position

III.2.5.g Capteurs de température :

De toutes les grandeurs physiques, la température est certainement l'une dont la mesure est la plus fréquente. La température détermine en effet de façon décisive les propriétés de la matière. Sa mesure n'est pas directe, mais à travers un phénomène associé tel que la variation de résistance d'un conducteur électrique, la dilatation d'un fluide ou l'émission d'un rayonnement thermique.



III-8: Exemple de capteur de température

III.2.6 Méthodes de transduction :

La méthode de transduction est la technique qui permet d'associer à la grandeur physique captée, une grandeur électrique proportionnelle à la grandeur qu'on veut mesurer. Parmi les méthodes de détection les plus utilisées on trouve :

III.2.6.a Détection résistive :

Les capteurs résistifs sont plus utilisés pour la mesure de la température (thermistances), de pression (jauge de contrainte) ou de déplacement (capteurs potentiométriques).

$$R = \frac{\rho L}{S}$$

III.2.6.b Détection capacitive :

Les dispositifs capacitifs sont souvent utilisés comme des capteurs de déplacement dans lesquels la variation de la distance entre les deux armatures (d) varie la valeur de la capacité. Is peuvent être aussi utilisé comme des capteurs de pression ou d'accélération. La valeur de la capacité et aussi fonction du type de diélectrique (εr) entre les armatures (capteurs d'humidité).

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d}$$

III.2.6.c Détection inductive :

Utilisant leurs propriétés magnétiques, ils sont plus utilisés comme des capteurs de proximité (capteurs à courant de Foucault, etc.)

III.2.6.d Détection piézoélectrique :

Les matériaux piézoélectriques, parce qu'ils permettent de convertir une contrainte mécanique en polarisation électrique, sont des candidats naturels pour les applications basées sur la détection de pressions.

III.2.6.e Détection pièze-résistive :

Les matériaux pièze-résistifs (métaux et semi-conducteurs) possèdent la particularité de convertir une contrainte mécanique en une variation de résistance ce qui leurs permet d'être utilisées comme capteurs de pression ou d'accélération. Ce type de capteurs qui est certainement le moins connu se caractérise par une excellente linéarité et une faible impédance de sortie. Leur sensibilité à la température est par contre problématique.

III.3 Les amplificateurs :

III.3.1 Définition :

Les signaux électriques issus de capteurs (thermocouple, ponts de mesure) sont généralement de faible niveau. Si l'on souhaite travailler avec une bonne précision, il est nécessaire de les amplifier. Mais cette amplification ne doit concerner que le signal utile. Or ce dernier côtoie bien souvent une tension parasite (souvent du même ordre de grandeur que le signal utile) ainsi qu'une tension de mode commun due au conditionneur associé au capteur (cas d'un pont de Wheatstone). Il faut donc faire une amplification « sélective » qui élimine ou atténue fortement tout signal ne contenant pas d'information pour ne garder que le signal capteur.

III.3.2 Principe de fonctionnement

Un amplificateur électronique utilise un ou plusieurs composants actifs (transistor ou tube électronique) afin d'augmenter la puissance électrique du signal présent en entrée. Les composants actifs utilisés dans les amplificateurs électroniques permettent de contrôler leur courant de sortie en fonction d'une grandeur électrique (courant ou tension), image du signal à amplifier. Le courant de sortie des composants actifs est directement tiré de l'alimentation de l'amplificateur. Suivant la façon dont ils sont implantés dans l'amplificateur, les composants actifs permettent ainsi d'augmenter la tension et/ou le courant du signal électrique d'entrée

III.3.3 La distorsion dans les amplificateurs électroniques :

Un amplificateur doit fournir une tension de sortie ayant la même forme que le signal d'entrée, mais d'amplitude supérieure. Si la forme du signal de sortie (à l'amplitude près) est différente de la forme du signal d'entrée, on dit qu'il y a distorsion.

III.3.3.a La distorsion d'amplitude :

Cette distorsion a lieu si la bande passante de l'amplificateur n'est pas suffisante pour amplifier l'ensemble des fréquences (spectre) composant le signal. Cependant, si le signal d'entrée est sinusoïdal, le signal de sortie le sera également.

III.3.3.b La distorsion harmonique :

Cette distorsion est provoquée par un défaut de linéarité de l'amplificateur. Si le signal d'entrée est sinusoïdal, le signal de sortie ne l'est plus. Cette sinusoïde déformée peut être considérée comme la somme d'une sinusoïde pure (fondamentale) et de sinusoïdes de fréquences multiples de cette fondamentale (harmoniques). Le taux de distorsion harmonique sera fonction du rapport entre ces harmoniques et la fondamentale.

III.3.3.c La distorsion de phase ou de temps de propagation :

Le signal de sortie d'un amplificateur est composé généralement de plusieurs fréquences, qui devraient être amplifiées strictement en même temps. La forme d'un tel signal complexe ne sera plus conservée si le temps de propagation des fréquences qui le composent n'est pas le même. Ces retards sont peu audibles pour l'oreille. Cependant, si l'amplificateur doit amplifier des signaux numériques, cette distorsion devient très gênante et peut conduire à des erreurs sur les bits transmis et décodés. Pour cette raison,

cette caractéristique est très importante pour les amplificateurs de signaux numériques. On quantifie cette distorsion en précisant les différences de retard en fonction de la fréquence. Il est aussi possible de préciser la courbe du déphasage en fonction de la fréquence. Cette courbe doit être une droite pour ne pas avoir de distorsion de propagation de groupe. Pour cette raison, les amplificateurs sans cette distorsion sont parfois qualifiés « à phase linéaire »

III.3.3.d La distorsion d'intermodulation :

Si des étages d'amplification sont non linéaires, on observera en plus de la distorsion harmonique, l'apparition de « fréquences parasites » qui sont des combinaisons linéaires des fréquences composant le signal à amplifier. Ce type de défaut est très gênant pour les amplificateurs traitant de signaux radioélectriques, car ces fréquences parasites peuvent perturber les liaisons radio. Cette distorsion peut également être gênante pour les amplificateurs audio, car l'oreille pourra percevoir ces fréquences parasites qui sont surajoutées au signal.

III.3.4 Types d'amplificateurs :

III.3.4.a Les amplificateurs intégrés :

On appelle amplificateur intégré un amplificateur se présentant sous la forme d'un circuit intégré. Un circuit intégré (CI ou puce électronique) est lui-même un type de composant constitué de plusieurs composants électroniques sous forme miniaturisée. Le circuit intégré permet de reproduire une ou plusieurs fonctions électroniques plus ou moins complexes, facilitant sa mise en œuvre. Ils contient principalement des transistors, des diodes, des résistances, des condensateurs, plus rarement des inductances car elles sont plus difficilement miniaturisa blés.

III.3.4.b Les amplificateurs opérationnels :

Les amplificateurs opérationnels (aussi dénommé ampli-op ou ampli op, AO, AOP, ALI, AIL ou encore CIL) ont été initialement conçus pour effectuer des opérations mathématiques en utilisant la tension comme image d'une autre grandeur. C'est le concept de base des calculateurs analogiques dans lesquels les amplificateurs opérationnels sont utilisés pour modéliser les opérations mathématiques de base (addition, soustraction, intégration, dérivation…). Cependant, un amplificateur opérationnel idéal est extrêmement souple d'utilisation et peut effectuer bien d'autres

applications que les opérations mathématiques de base. En pratique, les amplificateurs opérationnels sont constitués de transistors, tubes électroniques ou de n'importe quels autres composants amplificateurs et ils sont implémentés dans des circuits discrets ou intégrés.

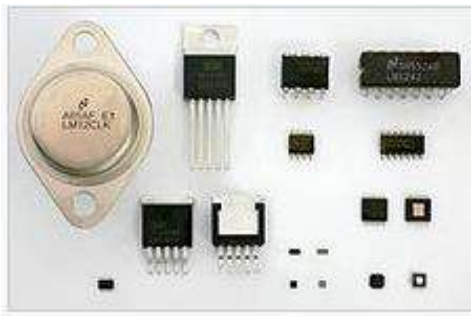


Figure III-8: Les amplificateurs opérationnels.

III.3.4.c Les amplificateurs d'instrumentation :

L'amplificateur d'instrumentation est généralement réalisé à partir d'un ou de plusieurs amplificateurs opérationnels, de telle manière qu'il améliore leurs caractéristiques intrinsèques : offset, dérive, bruit d'amplification, gain en boucle ouverte, taux de réjection du mode commun, impédance d'entrée

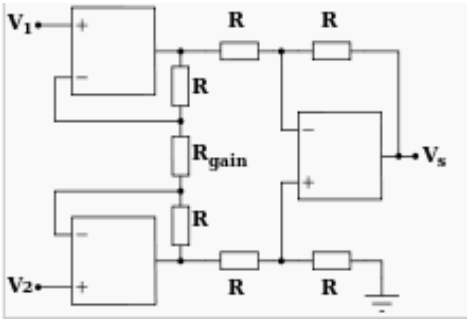


Figure III-9: Schéma d'un amplificateur d'instrumentation

III.3.4.d Les amplificateurs programmables :

Un amplificateur programmable désigne un amplificateur conçu pour que son gain soit programmable à distance, généralement via une liaison filaire (RS, GPIB ou autre), à la différence des amplificateurs classiques nécessitant un réglage manuel via une molette par exemple.

III.4 Les Convertisseurs Analogique Numérique :

III.4.1 Définition :

Un convertisseur analogique numérique est un dispositif qui transforme une grandeur analogique (continuellement variable dans le temps) à un instant précis par une représentation numérique (mot binaire d'un certain nombre de bit).

Il permet de faire la liaison entre le domaine réel analogique et le domaine numérique.

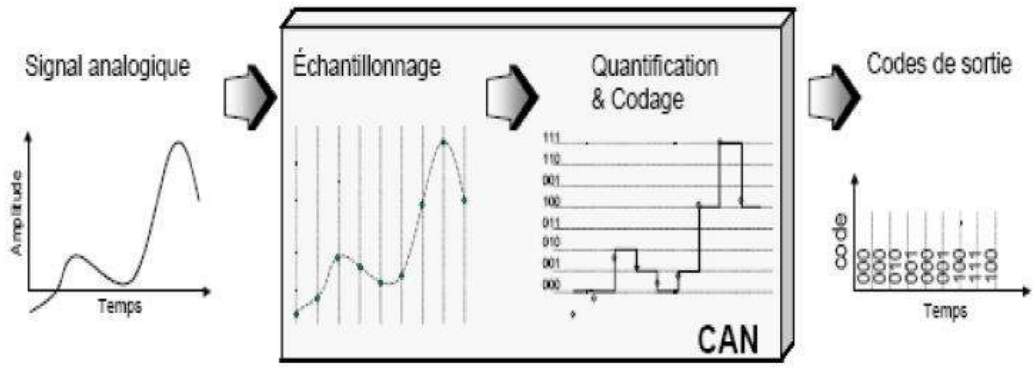


Figure III-10: Conversion analogique numérique

Un convertisseur analogique numérique reçoit à son entrée une tension analogique Vin délivre en sortie un mot de n bits correspondant selon un code binaire déterminer, à la valeur numérique N associée à Vin.

III.4.2 Principe de la conversion analogique numérique :

Un convertisseur analogique numérique (CAN) est un système qui permet de prélever périodiquement des échantillons d'un signal analogique provenant du monde qui nous entoure, et de le quantifier, cette quantification permet un traitement ultérieur numérique des données recueillies.

Pour faire une conversion analogique numérique on est donc ramené à faire deux opération principales qui sont l'échantillonnage et la quantification.

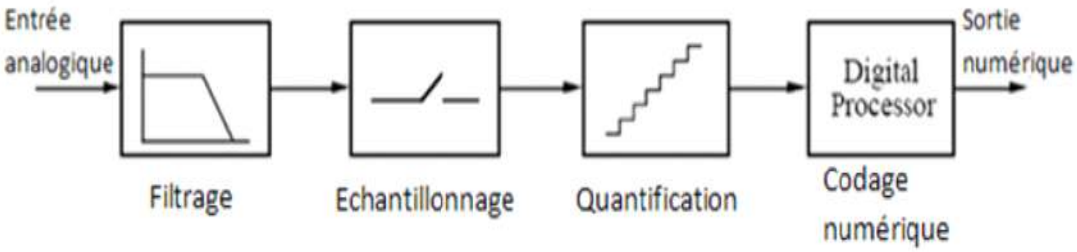


Figure III-11: Les étapes de la conversion

III.4.2.a L'échantillonnage :

L'échantillonnage consiste à transformer un signal analogique (continu dans le temps) en un signal discret, en capturant des valeurs à intervalle de temps régulier. Il est répété à intervalles temporels équidistants contrôlés par une horloge d'échantillonnage de période Te.

Chaque échantillon est repéré par son numéro d'ordre n (entier positif) à l'instant n Te.

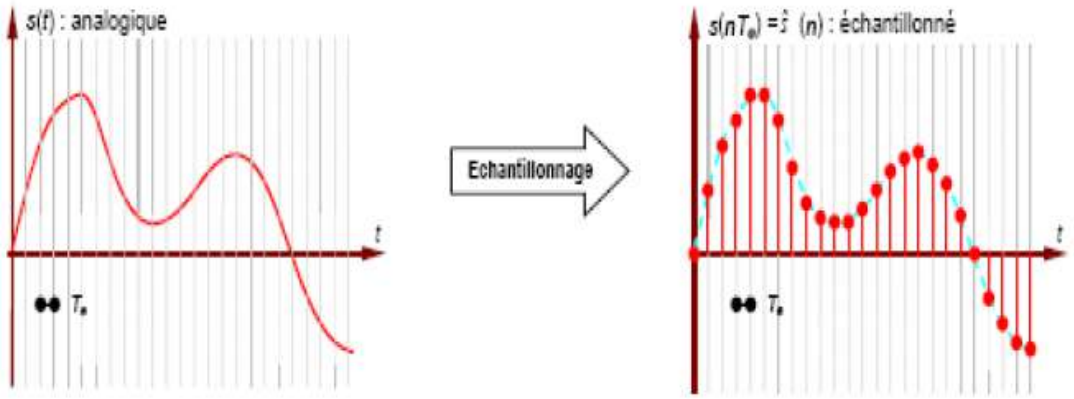


Figure III-12: Passage du signal analogique au signal échantillonné

III.4.2.b La quantification :

La quantification consiste à associer à la valeur réelle échantillonnée et bloquer, la valeur numérique entière la plus proche, Cette opération est imposée par le CAN puisque le code numérique ne dispose que d'un nombre fini de valeurs pour convertir les valeurs analogiques variant continûment.

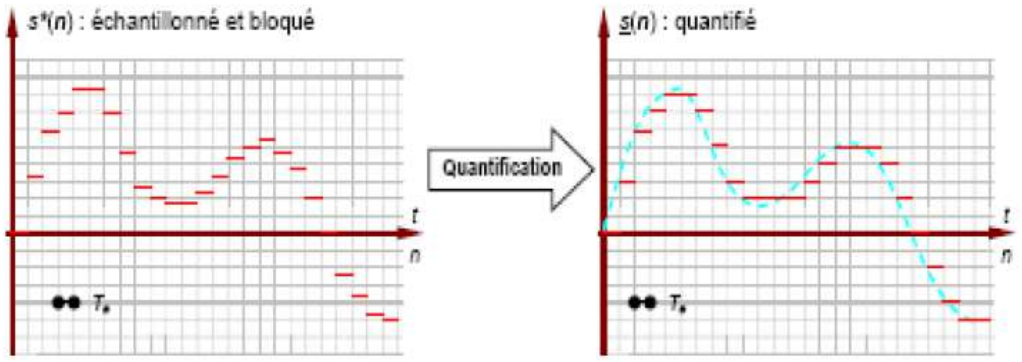


Figure III-13: Passage du signal échantillonné au signal quantifié

III.4.3 Caractéristiques d'un convertisseur analogique numérique :

III.4.3.a Caractéristique de transfert d'un CAN :

La fonction de transfert traduit la réponse du convertisseur à une entrée analogique.

La dynamique maximale ou pleine échelle (P_E) du convertisseur est divisée en intervalles délimités par les tensions de seuil V_T. A chaque valeur analogique à convertir est associé un code numérique de sortie qui correspond à la plus proche tension de seuil V_T inférieure à cette valeur analogique. Finalement, dans le cas le plus classique d'un codage binaire naturel, la fonction de transfert d'un convertisseur est constituée par une suite de paliers dont l'origine s'appuie sur la droite d'équation $N = K^* (P_E)$.

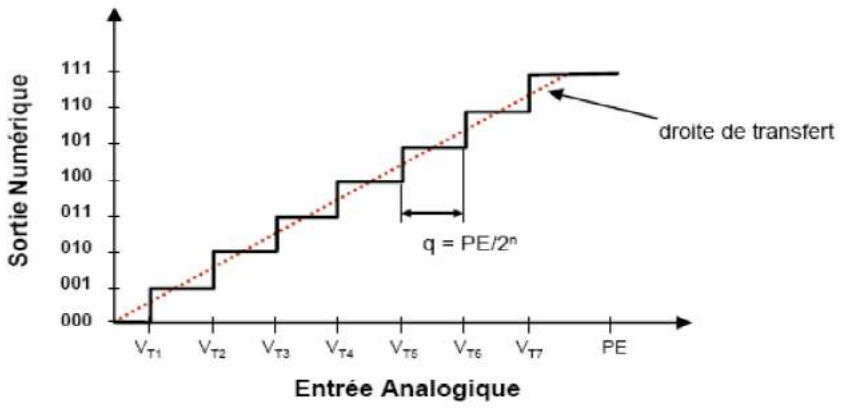


Figure III-14: Fonction de transfert d'un CAN

La largeur de chaque palier, appelée pas de quantification ou quantum « q», correspond à la plus petite déférence de tension analogique entre deux codes successifs elle est souvent exprimée en terme de LSB (Least Significats Bit). Dans le cas d'un CAN parfait sans loi de compression, le pas de quantification est constant pour tous les codes :

$$q = \frac{PE}{2^n} = 1LSB$$

Où *n* représente le nombre de bits du convertisseur.

III.4.3.b Résolution :

C'est la plus petite variation de tension qui engendre une modification du code. La résolution d'un CAN fait référence au nombre d'états qui sont utilisés pour coder le signal analogique.

On l'exprime très souvent en pourcentage (%)

Résolution $= \frac{1}{2^n} * 100$ (%)

III.4.3.c Erreur de quantification :

Si on définit le pas de quantification «q» comme étant à l'intervalle de valeur de signal d'entrée qui a pour image le même code numérique de sortie, alors on peut dire que l'on connaît la valeur d'un signal numérisé avec une résolution de $\pm \frac{q}{2}$. En outre c'est l'écart entre la tension que l'on convertit (entrée du CAN) et la tension correspondant au code que l'on obtient (sortie du CAN).

C'est une caractéristique en dent de scie à une valeur moyenne nulle de manière à minimiser son influence. Elle évolue entre $\pm \frac{q}{2}$.

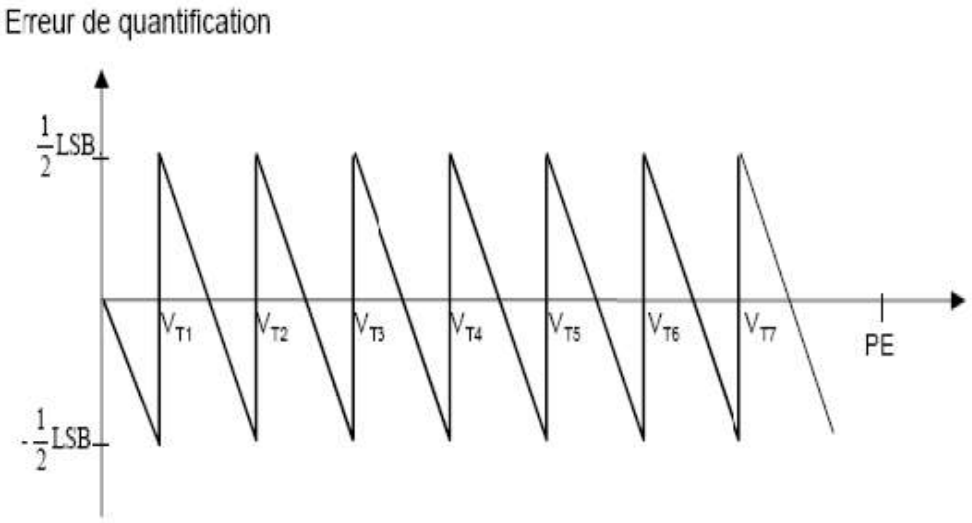


Figure III-15: Erreur de quantification

III.4.3.d Tension de référence :

Pour effectuer une conversion, le convertisseur analogique numérique à besoin d'une tension de référence à laquelle il compare les tensions à convertir. Cette tension est souvent intégrée directement dans le composant. On la notera V*ref* .Sa stabilité est très importante car toute fluctuation de sa valeur peut entraîner des erreurs dans les conversions.

III.4.3.e Temps de conversions :

C'est le temps minimum nécessaire au convertisseur pour stabiliser une donnée numérique en sortie après avoir appliqué une tension analogique stable à l'entrée du CAN. Cette caractéristique fixe la fréquence maximale du travail.

III.4.4 Type de convertisseur :

Il existe différentes méthodes pour convertir une tension analogique en tension numérique.

- **Les convertisseurs à intégration :**
  - C.A.N. simple rampe
  - C.A.N. double rampe

- C.A.N. delta-sigma

➢ **Les convertisseurs à comptage :**

- C.A.N. à rampe numérique
- C.A.N. à poursuite
- C.A.N à conversion Tension / Fréquence

➢ **Les autres techniques de conversion :**

- C.A.N. flash
- C.A.N. à approximation successive

Ces 8 techniques de conversion Analogique Numérique présentent toutes des performances différentes, notamment pour les trois caractéristiques contradictoires suivantes :

➢ La précision du résultat numérique obtenu

➢ La rapidité de conversion

➢ La complexité de mise en œuvre

III.5 Les Convertisseurs Numérique-Analogique :

III.5.1 Définition :

Un Convertisseur Numérique-Analogique CNA. Est un circuit qui est employé pour convertir une configuration binaire en une grandeur analogique directement proportionnelle à la valeur décimale de la configuration. Les entrées d'un convertisseur N bits sont des niveaux logiques b_0, b_1, ... b_{N-1} prenant les états logiques '0' ou '1'. La sortie analogique est une tension ou courant.

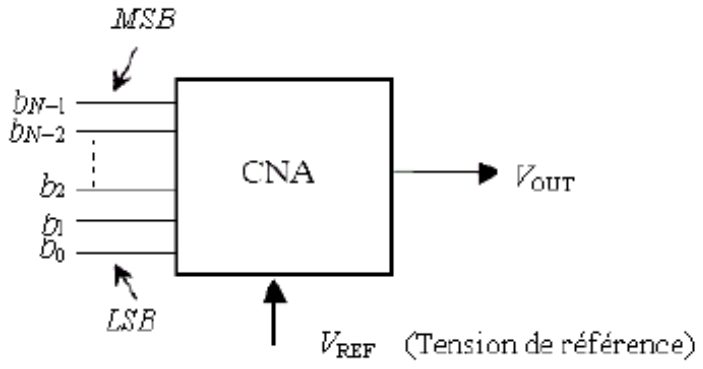


Figure III-16: Synoptique d'un convertisseur numérique-analogique N bits

La caractéristique de transfert idéal c'est la caractéristique qui sert de référence pour l'analyse des erreurs.

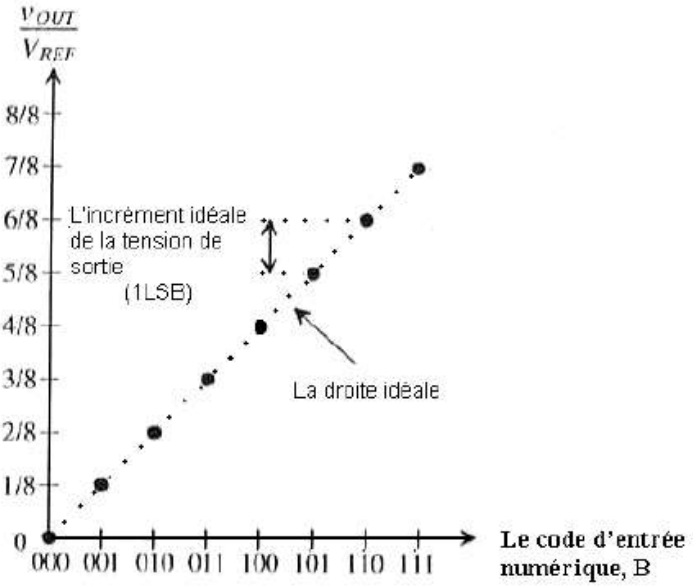


Figure III-17: Caractéristique de transfert idéal d'un CNA à 3 bits

III.5.2 Les caractéristiques principales :

III.5.2.a La résolution :

C'est l'écart minimum entre deux codes, et exprimée en % PE du CNA. La résolution dépend essentiellement du nombre de bits. C'est la raison pour laquelle les fabricants expriment généralement la résolution d'un CNA comme un nombre de bits. Un CNA de 10 bits a une résolution plus fine qu'un CNA de 8 bits. La résolution d'un convertisseur N bits est : $R = \frac{PE}{2^N}$

III.5.2.b La précision :

La précision appelée aussi erreur pleine échelle traduit la différence entre la tension de sortie obtenue et la tension de sortie théorique (idéale) et inclut toutes les sources d'erreurs (la non-linéarité, l'erreur d'offset,...). Elle s'exprime en % PE.

III.5.3 Les Spécifications (Erreurs des Convertisseurs) :

Plusieurs paramètres sont utilisés dans la caractérisation de la performance de CNA. Les spécifications les plus communes pour toutes les applications sont les suivantes :

III.5.3.a Erreur de gain :

C'est l'écart entre la valeur de la tension la sortie théorique et la valeur de la tension de la sortie réelle mesurée sur la dernière transition (PE) du convertisseur et exprimé en LSB. Cette mesure suppose que l'ajustage du zéro soit parfait. En pratique, pour ajuster un convertisseur, on réglera d'abord l'offset, et ensuite le gain.

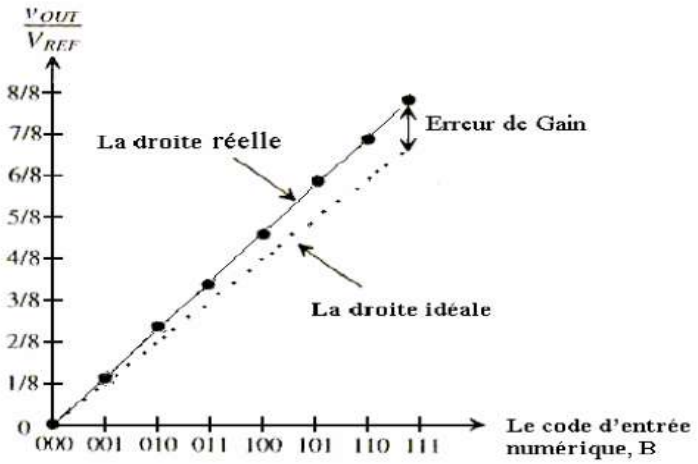


Figure III-18: Erreur de gain de CNA

III.5.3.b Erreur d'offset

C'est l'écart entre la valeur de la tension du sortie théorique et la valeur de la tension du sortie réelle mesurée sur la première transition du convertisseur (le code 00…0) et exprimé en LSB

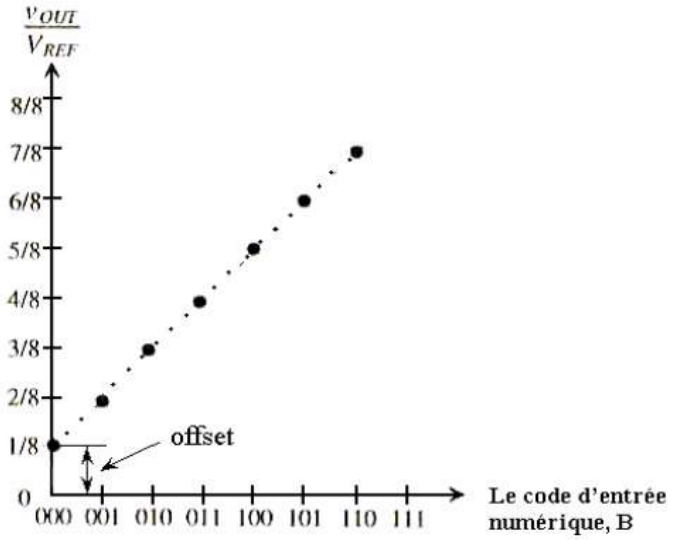


Figure III-19: Erreur d'offset de CNA

III.5.3.c Les erreurs de linéarité

L'erreur de linéarité est due au fait que la résolution des convertisseurs n'est pas constante. On distingue deux formes de non linéarité : le non linéarité intégrale, et le non linéarité différentielle.

III.5.3.d Mono-tonicité (CNA) :

Ce phénomène est le même que le précédent, mais poussé à l'extrême : il peut arriver que la pente de la courbe de conversion change de signe. Pour une tension analogique de sortie, il ne sera pas possible d'attribuer un nombre binaire correspondant : il y aura plusieurs solutions possibles.

III.5.3.e Temps d'établissement (CNA) :

La vitesse de fonctionnement d'un CNA est définie par son temps d'établissement. Le temps d'établissement est défini comme le temps que prend le CNA pour se stabiliser à ±1/2 LSB de sa valeur finale de pleine échelle, en réponse à un changement de code d'entrée binaire de tous 0 à des 1.

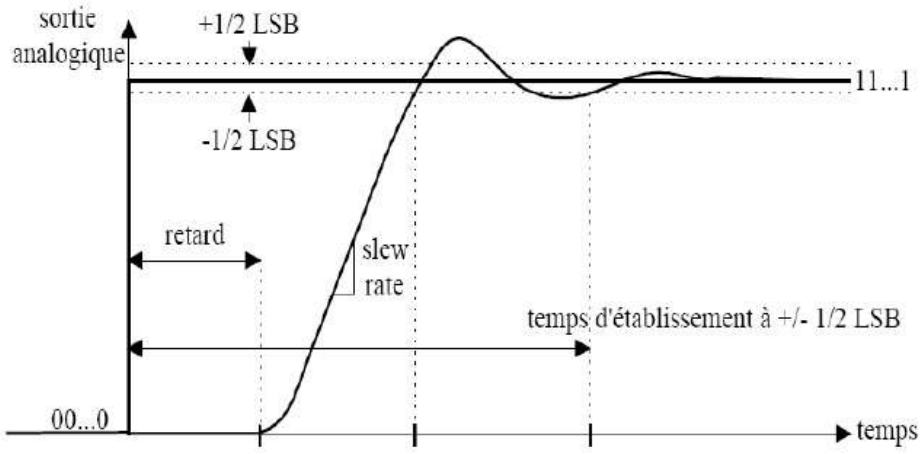


Figure III-20: Erreur d'établissement

III.5.3.f Bande passante :

Le temps nécessaire au traitement des données à l'intérieur des convertisseurs fixe une fréquence maximale de fonctionnement ou taux d'échantillonnage limite qui est la bande passante du convertisseur.

Lorsque l'application nécessite seulement que la sortie analogique soit comprise dans une bande définie autour de sa valeur finale avant que le nouveau code numérique d'entrée puisse être traité alors :

$$\text{La bande passante du CNA} = \frac{1}{\text{temps d'établissement}}$$

Plus généralement, la procédure d'évaluation de la bande passante du convertisseur s'appuie sur le tracé du nombre effectif de bit du convertisseur en fonction de la fréquence du signal d'entrée. Dès que le nombre effectif de bit chute d'1/2 par rapport à la résolution DC, la précision nominale n'est plus garantie et la limite de la bande passante du convertisseur est atteinte.

III.5.4 Type de convertisseur :

III.5.4.a CNA Parallèle (Flash)

- CNA à série de résistance

  Le CNA flash à réseau de capacités

  CNA flash à somme de courants

III.5.4.b Les CNA série

CNA cyclique

CNA Pipeline

III.6 La comparaison entre les différentes architectures

Tableau III-1: La comparaison entre les différentes architectures

Le type de CNA	Les avantages	Les inconvénients
Série de résistance	Monotone, des résistances égales, haute vitesse, faible consommation.	Grande surface, sensible aux capacités parasites, le grand courant peut couler à travers la série de résistance, faible résolution.
Réseau de capacités	rapide, bonne précision	Grande surface, non monotone, sensible aux capacités parasites.
Somme de courants	Rapide, insensible au parasite d'interrupteur	Glitch, non monotone,
Sériel	Simple, surface minimum	Lent, rapport de capacité précis
Cyclique	Simple, surface minimum, faible consommation	temps de conversion augmenté, insensible de longueur de mot
pipeline	Des blocs répétés, la sortie à chaque cycle après *N* cycles.	Grand surface pour grand nombre de bits

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une description des différents composants de la chaine d'acquittions (les capteurs, les amplificateurs, les CANs, les CNAs). Ainsi, sont données les définitions des différents éléments avec leurs caractéristiques, leurs avantages et leurs inconvénients.

Chapitre IV

Réalisation et test du banc

Chapitre IV : Réalisation et test du banc

IV.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des différentes étapes du travail accompli selon les différentes phases de réalisation.

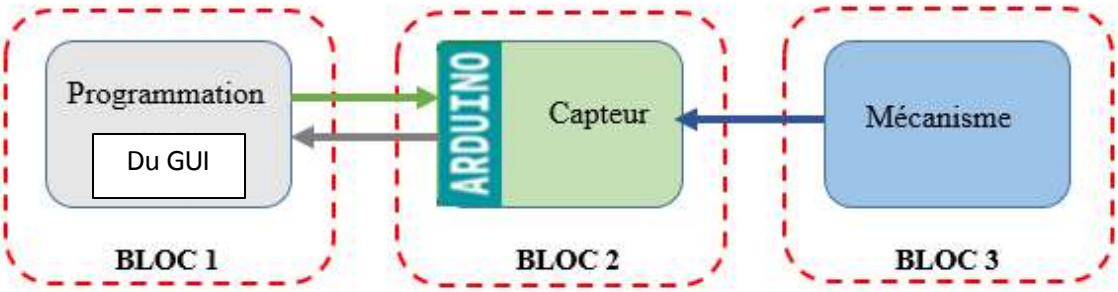
Ainsi, deux parties importantes sont à considérer dans la phase de réalisation :

- La partie réalisation de la chaine d'acquisition et programmation de l'interface graphique sous Matlab.
- La partie réalisation du châssis mécano-soudé.

IV.2 Description des blocs

On distingue trois blocs :

- **Bloc 01** : Programmation de l'interface graphique
- **Bloc 02** : Etablissement des jonctions : Capteurs-Carte d'acquisition
- **Bloc 03** : Usinage et montage des constituants mécaniques



IV.3 Programmation de l'interface graphique

Cette partie est réalisée au moyen de l'outil de programmation MATLAB.

IV.3.1.a Définition de MATLAB

Le logiciel MATLAB, ou « MATRIX LABORATORY », est un outil de programmation et de développement de quatrième génération. Développé par la société «Math Works », MATLAB permet la manipulation de matrices, d'afficher des courbes et de données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer

avec d'autres langages comme le C, C++, Java, et Fortran. Les utilisateurs de MATLAB sont de milieux très différents comme l'ingénierie, les sciences et l'économie dans un contexte aussi bien industriel que pour la recherche. Dans notre projet, nous avons utilisé la version R2014b de MATLAB qui est plus développée que les anciennes versions surtout dans le domaine de l'ingénierie.

IV.3.1.b Interface graphique

Les interfaces graphiques ou GUI (Graphical User Interface) permettent de contrôler des applications logicielles avec des commandes de type pointer-cliquer. Avec une interface de ce type, l'utilisateur n'a pas besoin de connaître un langage ni de saisir des commandes pour se servir d'une application. Les applications MATLAB sont des programmes autonomes, dotés d'une interface graphique, qui permettent d'automatiser une tâche ou un calcul. L'interface graphique contient généralement des commandes telles que des menus, des barres d'outils, des boutons et des curseurs.

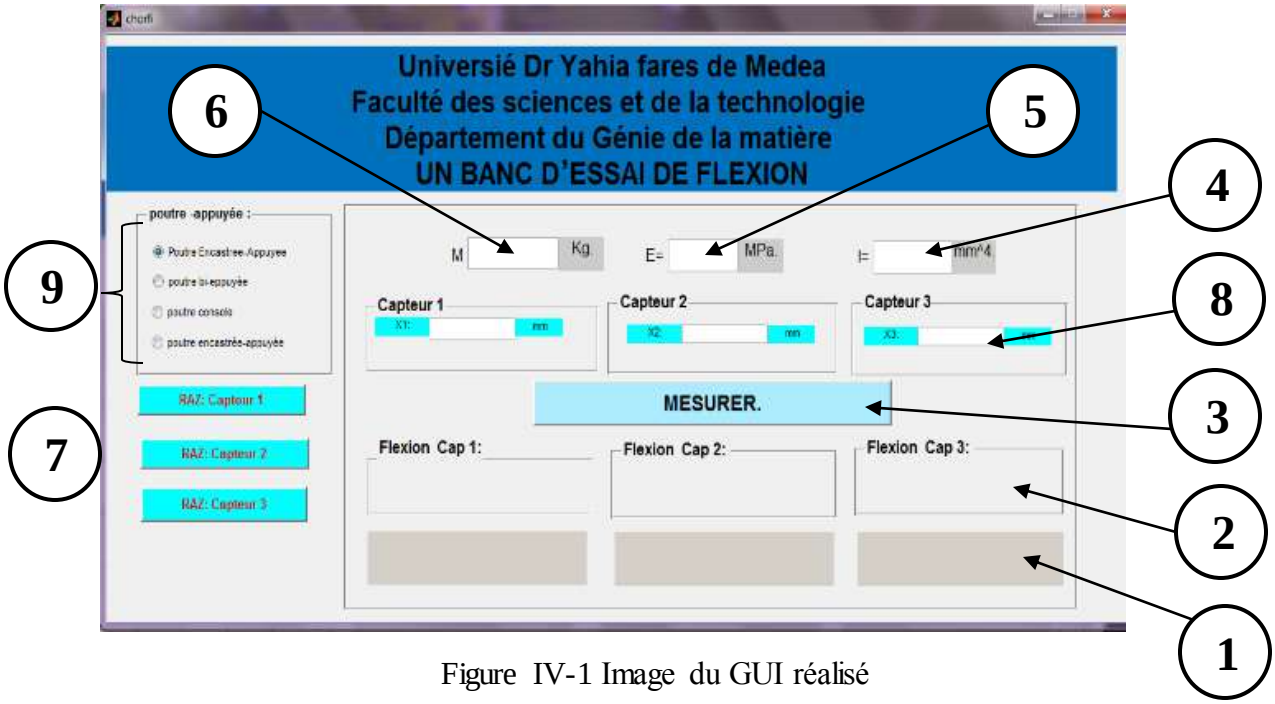


Figure IV-1 Image du GUI réalisé

1 : Fenêtre d'affichage des résultats théoriques.

2 : Fenêtre d'affichage des mesures.

3 : Bouton de démarrage de la mesure.

4 : Fenêtre d'affichage du module de Yong.

5 : Fenêtre d'affichage du moment d'inertie de la section droite de la poutre.

6 : Fenêtre d'affichage de la masse.

7 : Fenêtre d'affichage du mode de fixation de la poutre.

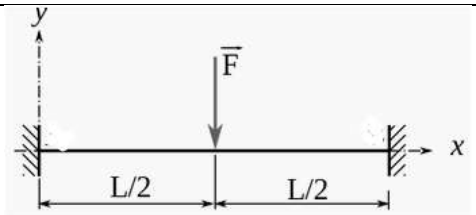
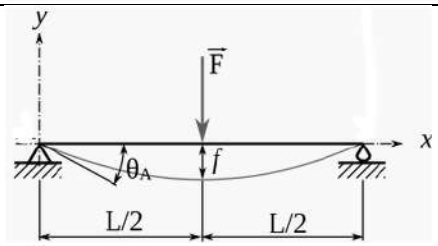
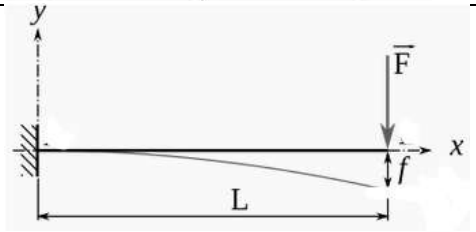
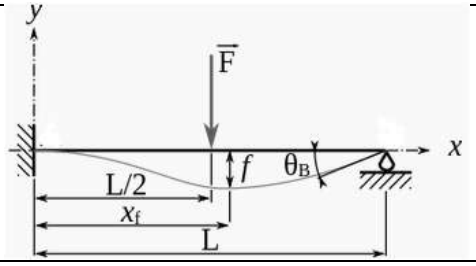
8 : Fenêtre d'affichage de la position des capteurs sur la poutre.

9 : Boutons de remise à zéro des déplacements des trois capteurs

IV.3.1.c Les solutions analytiques des déformées selon le mode de fixation de la poutre

Dans le tableau ci-dessous, sont donnés les schémas des différentes configurations de fixation adaptées sur le banc, avec les solutions analytiques correspondantes pour le calcul des flèches [9].

Tableau IV-1: Les formules analytiques des déformées selon le mode de fixation des extrémités de la poutre

Nom de cas	Sollicitation	Formule
Poutre bi-Encastrée.		$f = -\frac{FL^3}{192EI}$
Poutre bi-appuyée.		$f = -\frac{FL^3}{48EI}$
Poutre console.		$f = -\frac{FL^3}{3EI}$
Poutre encastrée-appuyée		$f = -\frac{7FL^3}{768EI}$

IV.4 Carte d'acquisition

IV.4.1 Présentation de l'Arduino :

L'Arduino est une plateforme open source d'électronique programmée qui est basée sur une carte à microcontrôleur et un logiciel. Plus simplement, on peut dire que l'Arduino est un module électronique, doté d'un microcontrôleur programmable. Il peut être utilisé pour développer des objets interactifs, munis d'interrupteurs ou de capteurs, et peut contrôler une grande variété de lumières, moteurs ou toutes autres sorties matérielles [8].

Le principe de fonctionnement est simple :

1. On réalise le programme sur un ordinateur.
2. On connecte l'ordinateur à l'Arduino via une prise USB.
3. On envoie le programme sur l'Arduino.
4. L'Arduino exécute le programme de manière autonome



Figure IV-2: Différentes carte Arduino

IV.4.2 La carte Arduino Uno

Il existe plusieurs types de cartes Arduino. La carte Arduino Uno est une des versions majeures des cartes Arduino.

Le modèle UNO de la société ARDUINO est une carte électronique dont le cœur est un microcontrôleur ATMEL de référence ATMega328. Le microcontrôleur ATMega328 est un microcontrôleur 8 bits de la famille AVR dont la programmation peut être réalisée en langage C. L'intérêt principal des cartes ARDUINO (d'autres modèles existent) est leur facilité de mise en œuvre. ARDUINO fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils open source. Le chargement du programme dans

la mémoire du microcontrôleur se fait de façon très simple par port USB. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties courantes : gestion des E/S TOR, gestion des convertisseurs ADC, génération de signaux PWM, exploitation de bus TWI/I2C, ...

IV.4.2.a Présentation

Il s'agit d'une carte au format « standard » Arduino c'est-à-dire environ 52 mm sur 65mm. Deux rangées de connecteurs, situées de part et d'autre de la carte, permettent la connexion des composants extérieurs ou des modules shields, au format Arduino, il est possible d'enficher directement ces derniers dans la carte de base, sur plusieurs niveaux si nécessaire.

IV.4.2.b Différents éléments de la carte Arduino Uno :

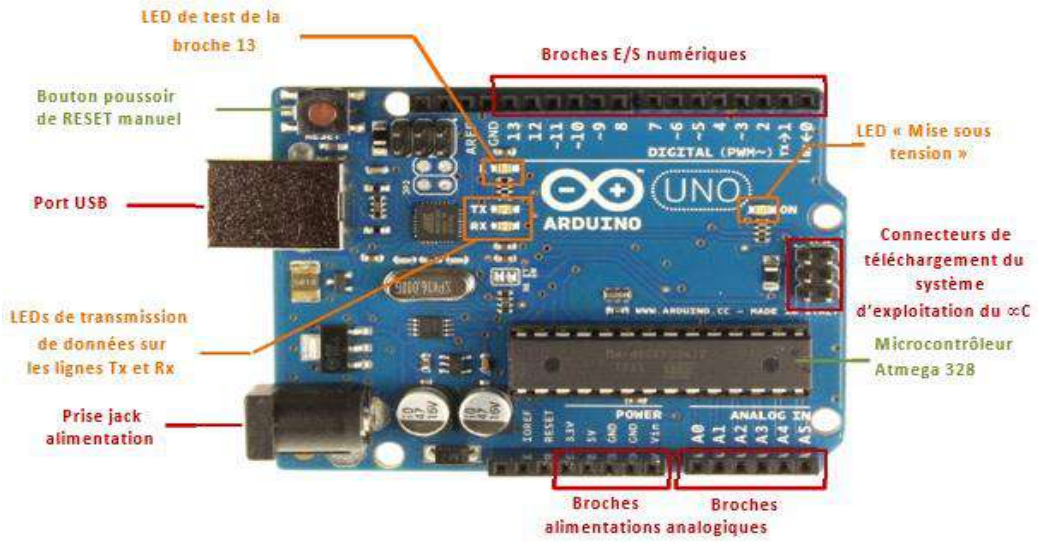


Figure IV-3: Différents éléments de la carte Arduino Uno.

IV.4.2.c Caractéristiques de la carte Arduino Uno :

- Microcontrôleur : ATmega328
- Tension d'alimentation interne : 5 V
- Tension d'alimentation (recommandée) : 7 à 12 V.
- Entrées/sorties numériques : 14 dont 6 sorties PWM
- Entrées analogiques : 6
- Courant max par broches E/S : 40 mA
- Courant max sur sortie 3,3V : 50mA
- Mémoire Flash 32 kb dont 0.5 kb utilisée par le boot loader

- Mémoire SRAM 2 kb
- mémoire EEPROM 1 kb
- Fréquence horloge : 16 MHz
- Dimensions : 68.6mm x 53.3mm

IV.4.3 Etablissement des jonctions entre les capteurs et la carte

La figure IV-4 montre les différentes jonctions reliant les capteurs de déplacements

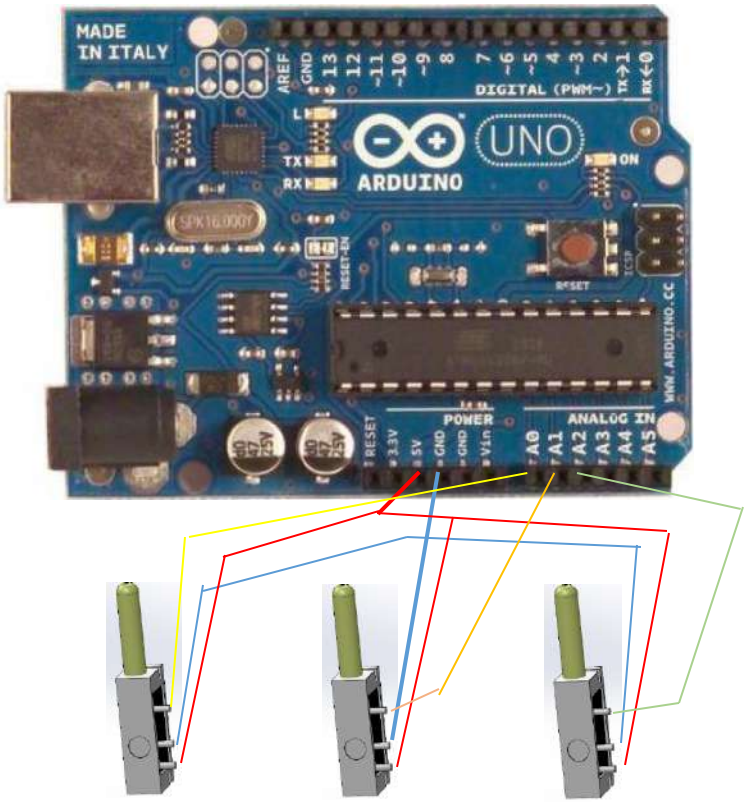


Figure IV-4 Câblage capteurs-carte d'acquisition

IV.5 Le Mécanisme du banc

Les capteurs sont montés coulissants sur le châssis du banc, portés par une barre en profilé d'aluminium (Figure IV.5). Le montage des capteurs est fait de telle sorte que les têtes mobiles soient positionnées sous la poutre à tester. Les capteurs sont rigidement fixés à leurs supports au moyen d'une résine durcissant (Figure IV.6). Les câbles reliant les

capteurs à la carte d'acquisition sont encastrés dans la barre d'aluminium de façon à ce que le capteur puisse coulisser librement le long de la poutre (Figure IV.5).

La position des capteurs sur la poutre est indiquée au moyen d'une règle graduée fixée parallèlement à la poutre (Figure IV.7).

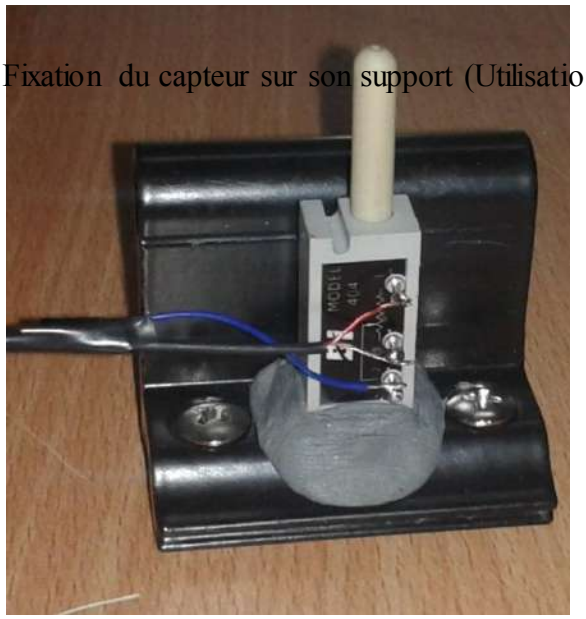
La poutre à tester est fixée aux deux extrémités par des mâchoires en plexiglass portées par des supports en aluminium. Les mâchoires sont conçues de façon à permettre les trois modes de fixations : Encastrement, articulation et appui simple (Figure IV.8).

Le chargement, ponctuel, peut être appliqué en trois endroits distincts de la poutre. Le premier à ¼ de l'extrémité gauche de la poutre, le deuxième au milieu et le troisième à ¾ de l'extrémité gauche (Figure V.9).



Figure IV-5 Barre support des capteurs électroniques

Figure IV-6 : Fixation du capteur sur son support (Utilisation d'une résine)



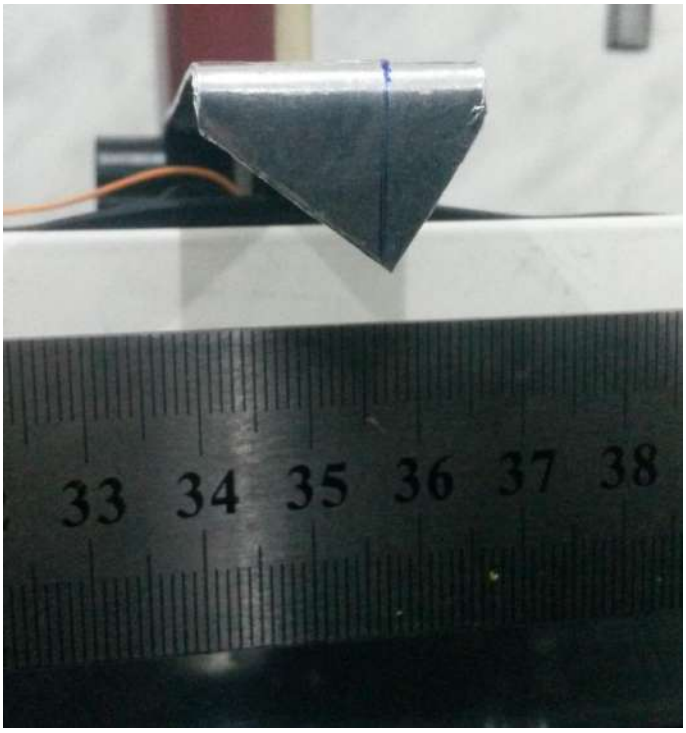


Figure IV-7 Indicateur de la position du capteur

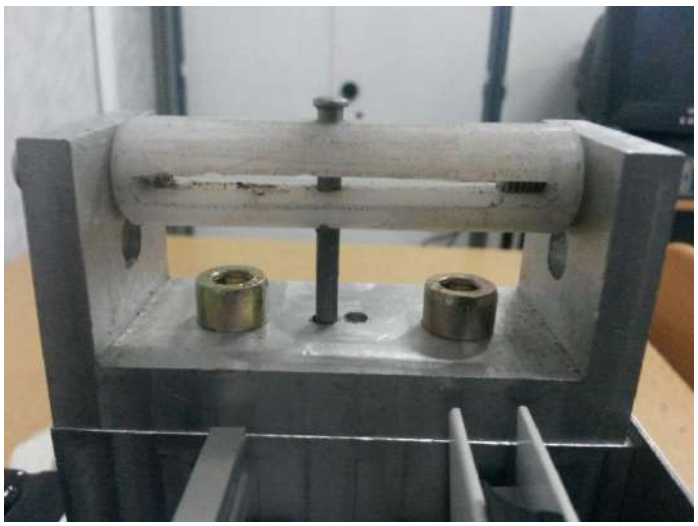


Figure IV-8 Mâchoire pour la fixation des extrémités de la poutre



Figure IV-9 Points d'application du chargement

IV.6 Test du banc

IV.6.1 Mesures des flèches en flexion

Afin de tester la précision du banc, nous avons utilisé une poutre droite de section rectangulaire en mode de fixation : bi-appuyée.

Les dimensions de la poutre sont :

- Longueur entre appuis : 700 mm
- Largeur **b** : 35 mm
- Hauteur **h** : 5 mm

Les propriétés du matériau utilisé sont :

- Type de matériau : Acier laminé
- Module d'élasticité **E** : 210 GPa

La solution analytique pour le calcul de la flèche, dans le cas d'un chargement appliqué au milieu de la longueur, est donnée par la formule (voir tableau VI-1) :

$$\mathbf{f=\frac{PL^3}{48EI}} \qquad (4.1)$$

Où :

- **f** : est la flèche de la poutre (déplacement maximal de la poutre dans la direction y).
- **P** : Chargement appliqué en Newtons.
- **L** : Longueur de la poutre entre appuis.
- **E** : Module d'élasticité du matériau utilisé
- **I** : Moment d'inertie de la section droite de la poutre $I = \frac{bh^3}{12}$ (4.2)

Pour effectuer le test du banc, nous avons chargé progressivement le milieu de la poutre avec des masses graduelles de 0,25 Kg à 6,0 Kg. Les flèches affichées sur l'interface graphique et ceux données par le calcul analytique sont regroupées dans le tableau IV-2. Les positions des capteurs sur la poutre, à partir de l'extrémité gauche, sont les suivantes :

- **Capteur 1 : X1=0,175m**
- **Capteur 2 : X2=0,350m**
- **Capteur 2 : X3=0,525m**

Tableau IV-2 Table regroupant les valeurs des déplacements (mesurés et analytiques)

Charge (Kg)	Dépl Capt X1	Dépl Capt X2	Dépl Capt X3	Dépl Analy 1	Dépl Analy 2	Dépl Analy 3
0,250	0,1485	0,2514	0,1515	0,1836	0,2670	0,1836
0,500	0,3656	0,5142	0,3614	0,3672	0,5341	0,3672
0,750	0,6170	0,8684	0,4913	0,5508	0,8012	0,5508
1,000	0,7084	1,1083	0,7770	0,7344	1,0282	0,7344
1,250	1,0740	1,3368	1,0055	0,9180	1,3352	0,9180
1,500	1,1197	1,5996	1,0512	1,1016	1,6023	1,1016
1,750	1,3825	1,7938	1,3368	1,2852	1,8693	1,2852
2,000	1,5768	2,2280	1,6567	1,4688	2,1364	1,4688
2,250	1,7253	2,5022	1,7824	1,6524	2,4034	1,6524
2,500	2,0909	2,7765	1,9510	1,8360	2,6705	1,8360
2,750	2,1366	3,1192	2,1010	2,0196	2,9375	2,0196
3,000	2,4137	3,3478	2,2509	2,2032	3,2046	2,2032
3,500	2,6745	3,7819	2,6723	2,5704	3,7387	2,5704
6,000	4,6046	6,6727	4,6760	4,4063	6,4092	4,4063

Les deux images suivantes sont une impression de l'écran du PC montrant les valeurs obtenues pour deux chargements (1,0 et 2,75 Kg). Les mêmes valeurs se retrouvent dans le tableau VI-2 avec un fond de trame en gris.

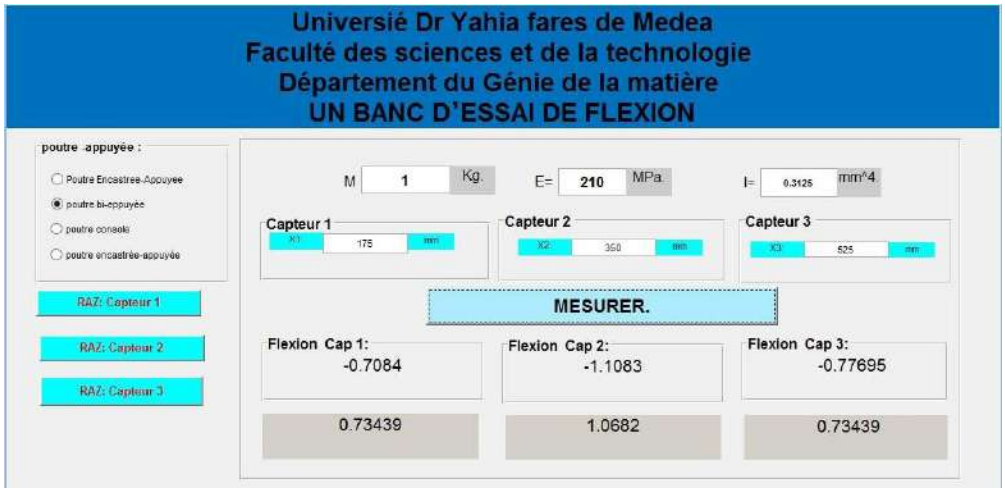


Figure IV-10 Image de l'interface graphique montrant les déplacements mesurés et calculés aux positions des capteurs, pour un chargement de 1 Kg

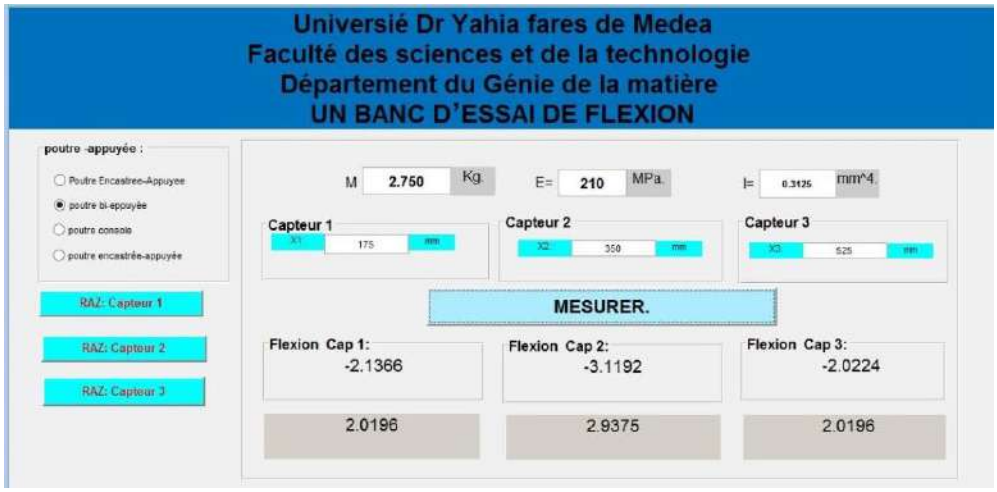
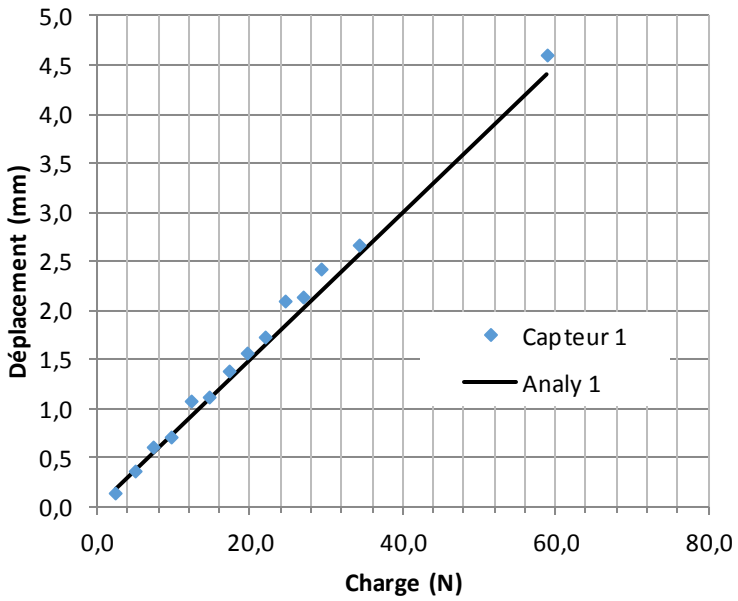


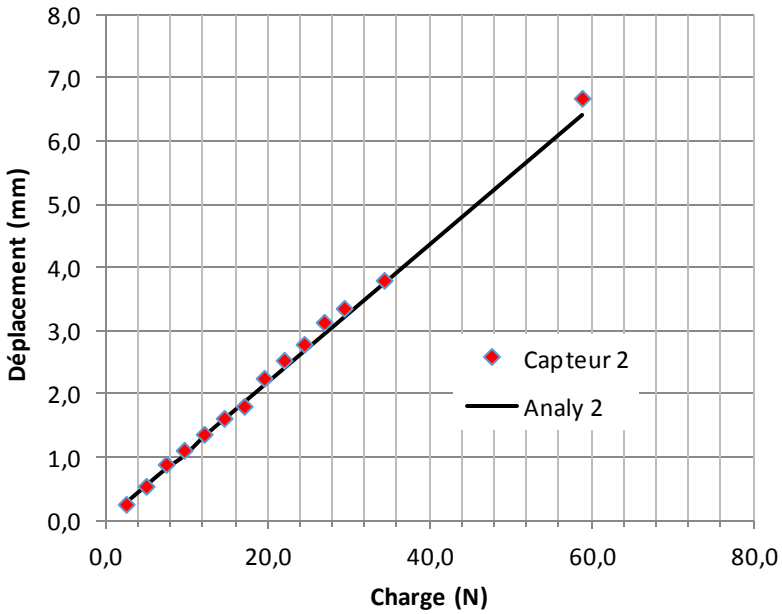
Figure IV-11 Image de l'interface graphique montrant les déplacements mesurés et calculés aux positions des capteurs, pour un chargement de 2,75 Kg

Afin de bien illustrer la précision des résultats, nous donnons ci-dessous, la superposition graphique des résultats analytiques et expérimentaux (Graphes IV-1, IV-2 et IV-3). Les trois graphes montrent une bonne linéarité des mesures expérimentales par rapport à la formule analytique.

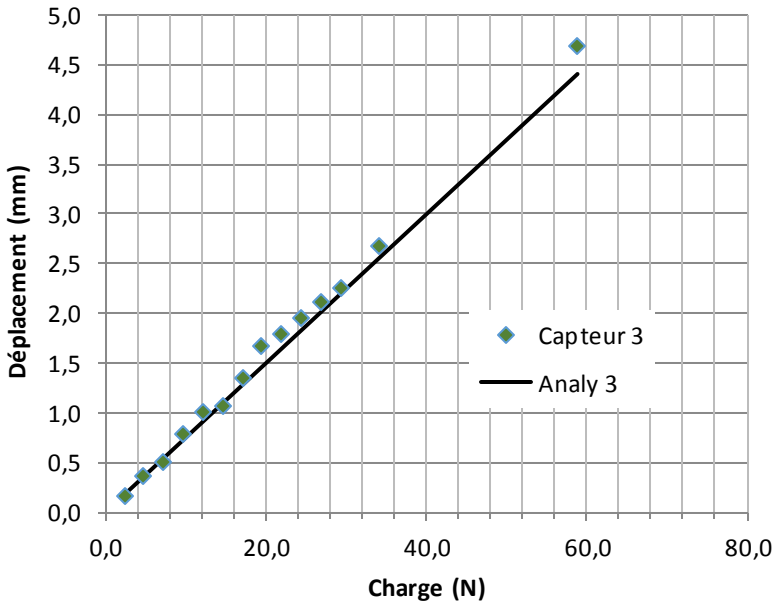
Le tableau IV-3, donne les valeurs de l'erreur relative en % pour les trois positions des capteurs et pour les différents chargements. Nous constatons que les valeurs mesurées des flèches de la poutre (capteur 2) sont les plus précises vue que l'erreur relative ne dépasse pas 9%. Pour les deux autres capteurs, et vue leur proximité des extrémités, l'erreur relative est plus importante et peut atteindre 17%. Concernant la linéarité des résultats, nous constatons que les mesures sont peux précises pour des chargements faibles (inférieurs à 5,0 N)



Graphe IV.1 Comparaison des déplacements mesurés et analytiques pour le capteur1



Graphe IV.2 Comparaison des **flèches** mesurées et analytiques pour le capteur2



Graphe IV.3 Comparaison des déplacements mesurés et analytiques pour le capteur 3

Tableau IV-3 Table regroupant les erreurs relatives sur les mesures aux trois capteurs

Charge (N)	Erreur en X1 (%)	Erreur en X2 (%)	Erreur en X3 (%)
2,5	8.7	5,8	8.4
4,9	0,4	3,7	1,6
7,4	12,0	8,4	10,8
9,8	3,5	7,8	5,8
12,3	17,0	0,1	9,5
14,7	1,6	0,2	4,6
17,2	7,6	4,0	4,0
19,6	7,4	4,3	12,8
22,1	4,4	4,1	7,9
24,5	13,9	4,0	6,3
27,0	5,8	6,2	4,0
29,4	9,6	4,5	2,2
34,3	4,0	1,2	4,0
58,9	4,5	4,1	6,1

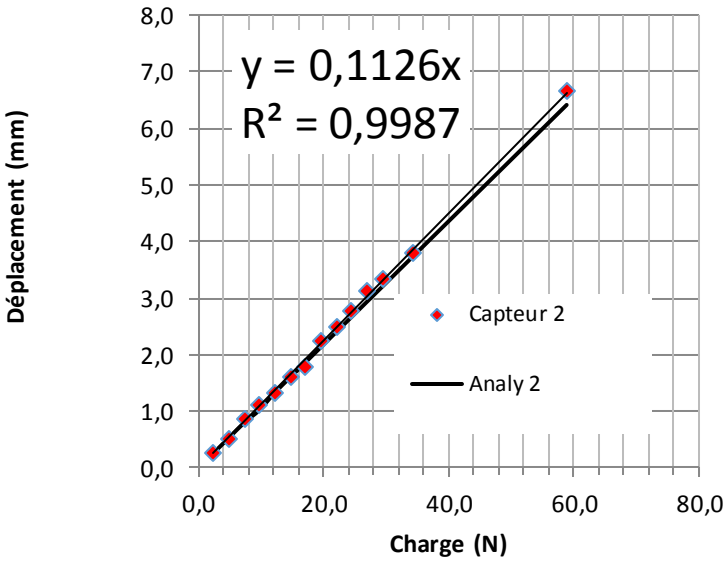
IV.6.2 Evaluation du moment d'inertie de la section de la poutre à partir de la mesure de la flèche

Comme deuxième test, nous allons évaluer le moment d'inertie de la section droite de la poutre à partir de la courbe du graphe IV-4.

Calcul du moment d'inertie de la section à partir des dimensions géométriques :

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{30*10^{-3}*(5*10^{-3})^3}{12} = 3,125.10^{-12}\,m^4$$

- Calcul du moment d'inertie à partir d'une régression linéaire appliquée à la courbe chargements-déplacements.



Graphe IV.4 Approximation de la courbe Chargement-Déplacement par une régression linéaire

D'après l'équation de la régression linéaire, nous pouvons déterminer la pente de la droite. Ainsi, la flèche est reliée au chargement par la relation $f = 0,1126*P$ (4.3)

Si nous comparons ce résultat avec l'équation (4.1), nous pouvons déduire que la pente de la droite de régression est égale à :

$$\frac{\mathbf{L^3}}{\mathbf{48EI}} = 0,1126 \Rightarrow I = \frac{L^3}{5,4048*E} = \frac{0,7^{\wedge 3}}{5,4048*210*10^9} = 3,022*10^{-12}$$

Et l'erreur relative sur la valeur du moment d'inertie estimée est de :

$$Err = \frac{I_{exp} - I_{th}}{I_{th}} = \frac{3,022 - 3,125}{3,125} \approx -3,3\%$$

Conclusion : l'erreur relative obtenue confirme la très bonne précision des mesures.

IV.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les étapes de réalisation du banc d'essai. A savoir, le montage des pièces mécaniques sur le châssis, le câblage capteurs-carte d'acquisition et connexion de la carte au PC au moyen d'une interface graphique développée sous Matlab.

En deuxième lieu, nous avons procédé à l'essai du banc en utilisant une poutre droite à section constante. Les mesures des flèches obtenues au moyen des trois capteurs sont en bonne corrélation avec ceux obtenues analytiquement. Toutefois, l'erreur sur les mesures aux deux capteurs latéraux reste élevée par rapport au capteur du milieu (qui donne la valeur de la flèche). Nous pouvons justifier ceci par l'effet des supports des extrémités. Et comme les mesures, du capteur milieu, restent très précises (Erreur moyenne inférieur à 5%), nous avons approximé la courbe des mesures par une droite et nous avons déduit une évaluation du moment d'inertie de la poutre avec une précision inférieur à 4%.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Dans ce projet de fin d'études de Master Mécatronique, nous avons voulu, à travers le thème choisi, de mettre en application nos connaissances acquises durant les trois trimestres de la formation de Master. En effet, la conception et la réalisation du banc de flexion de poutres, nous a permis de mettre en pratiques nos connaissances, entre autres, en résistance des matériaux, en conception et fabrication mécanique, en électronique et en programmation sous MatLab. Il faut mentionner qu'une des motivation derrière le choix de ce sujet est de mettre un outil pour les travaux pratiques de RDM, à la disposition des étudiants du tronc commun ST, conçu et réalisé par des étudiants.

Pour la conception du banc, nous avons adopté l'idée de la flexibilité alliée à la simplicité afin de pouvoir varier le nombre d'expériences possibles.

Ainsi, et pour la fixation des extrémités de la poutre à tester, nous avons conçu des supports permettant les trois types de fixations possibles à savoir, l'appui simple, l'articulation et l'encastrement. Pour le chargement, il peut être appliqué à n'importe quelle position de la poutre. Pour cela, il suffit de déplacer le support de la charge le long de la poutre à tester.

Pour la partie acquisition des données, et par manque de moyens (composants électroniques) nous avons utilisé une carte électronique du commerce l'Arduino-Uno. L'intérêt principal des cartes ARDUINO est leur facilité de mise en œuvre. Ce type de carte fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils open source et le chargement du programme dans la mémoire du microcontrôleur se fait de façon très simple par port USB.

Pour les capteurs de déplacements, nous avons choisi d'utiliser des capteurs résistifs ayant une plage de mesure de 12 mm. Ce qui est suffisant pour la mesure des flèches.

En ce qui concerne l'affichage des mesures sur PC, nous avons developpé une interface graphique sous MatLab. Cette interfacepermet d'afficher les mesures expérimentales et les valeurs analytiques calculées à partir des formules correspondantes au cas étudié.

Enfin, et pour tester le banc, nous avons fixé une poutre droite à section rectangulaire en mode bi-appuyée, et nous avons relevé les déplacements aux capteurs pour un chargement incrémental progressif.

Les tests on montré de faibles erreurs (inférieurs à 5%) sur la mesure de la flèche et l'évaluation du moment d'inertie de la poutre. Ce qui représente une très faible marge d'erreur sur un dispositif pédagogique destiné à l'enseignement.

Le banc, réalisé, peut être amélioré en ajoutant des jauges de déformations pour la mesure des contraintes. Pour celà, il faut réaliser un pont de jauges et le raccorder à la carte d'acquisition. L'interface peut être amélioré pour l'évaluation du moment d'inertie de la section de la poutre ainsi que pour dessiner la déformée de la poutre.Ce travail pourra être proposé comme PFE aux étudiants de la spécialité Mécatronique

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

[1] https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_de_traction

[2] :https://fr.wikipedia.org/wiki/Contrainte_de_cisaillement#Cisaillement

[3] : http://www.dietmar-schulze.de/leaflefr1.pdf

[4] : http://eost.u-strasbg.fr/schmittb/Articles/Ch-Co-Le-Sc02.pdf

[5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Flexion_(mat%C3%A9riau)

[6] T. Crespeau, SolidWorks 2012, France, ENI 2012, ISBN: 9782746071001

[7] P. Meyne. Généralités sur les capteurs, Faculté des Sciences et Technologie, Université de Paris 12 Val de Marne, 2009

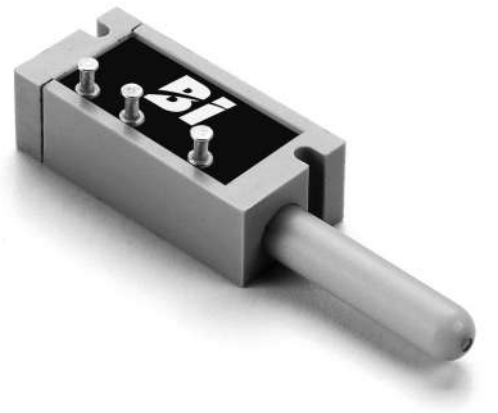
[8] M. Banzi, G. Sablancat. Démarrer avec Arduino, 2nd Edition, Paris Dunot 2013, ISBN: 9782100701520

[9] J.M Gere. Mechanics of Materials, Sixth edition 2006, Thomson learning, ISBN: 9780534417932

ANNEXES

Model 404 Series

Spring Return
Linear Actuation
Conductive Plastic
Position Sensor



Applications in Robotics, Automotive, Heavy Equipment, and Industrial Automation

FEATURES & BENEFITS

Short travel (0.5 inches), linear motion with spring return
Accurate position feedback
Low cost
Compact design for small spaces
Conductive plastic technology
Long life - 5 million actuations

ELECTRICAL[1]

Resistance Range	1K to 150K Ohms
Standard Resistance Tolerance	±10%
Minimum Practical Resistance Tolerance	±5%
Independent Linearity[2]	±1%
Minimum Practical Independent Linearity	±0.5%
Input Voltage	400 VDC maximum, not to exceed power rating
Power Rating	0.25 Watts at 70°C, derating to 0 at 125°C
Dielectric Strength	1,000 V rms
Insulation Resistance	1,000 Megohms minimum
Output smoothness	0.1% maximum at 10” to 18” per minute
Actual Electrical Travel	0.50” ±0.015” (12.7 mm ±0.38 mm)
Electrical Continuity Travel	within mechanical travel
End Voltage	maximum 0.5% of input voltage
Resolution	essentially infinite
Temperature Coefficient of Resistance[3]	-400 ppm/°C typical
Temperature Coefficient of Output Voltage[4]	±10 ppm/°C typical

[1] *Specifications subject to change without notice.*
[2] *Linearity is measured between 1% and 99% of input voltage.*
[3] *Special TCR available to ±100 ppm/°C.*
[4] *Measured with 10 VDC CW to CCW and slider at 50% of electrical travel.*

Pb RoHS 2 compliant

BI Technologies Corporation
4200 Bonita Place, Fullerton, CA 92835 USA
Phone: 714 447 2345 Website: www.bitechnologies.com

TT electronics BI Technologies

Model 404

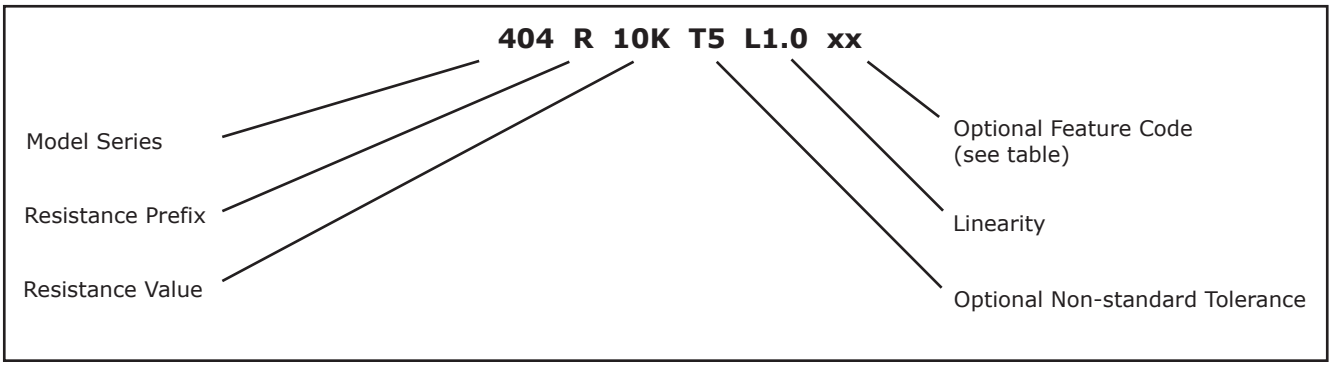
MECHANICAL

Total Mechanical Travel	0.56” ±0.015” (14.2 mm ±0.38 mm)
Actuating Force	14 oz. maximum, internal spring to return slider to extended position
Backlash	0.003” maximum
Static Stop Strength	20 lb. minimum
Body Style	rectangular
Termination Style	turret terminations

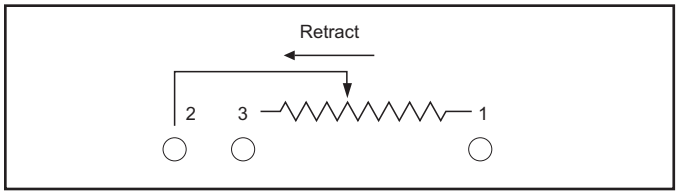
ENVIRONMENTAL (MIL-PRF-39023)

Operating Temperature Range	-40°C to +125°C dynamic, -55°C to +125°C static
Load Life	1 million shaft cycles at 0.25 Watts & 70°C, maximum 10% ΔR

ORDERING INFORMATION



CIRCUIT DIAGRAM

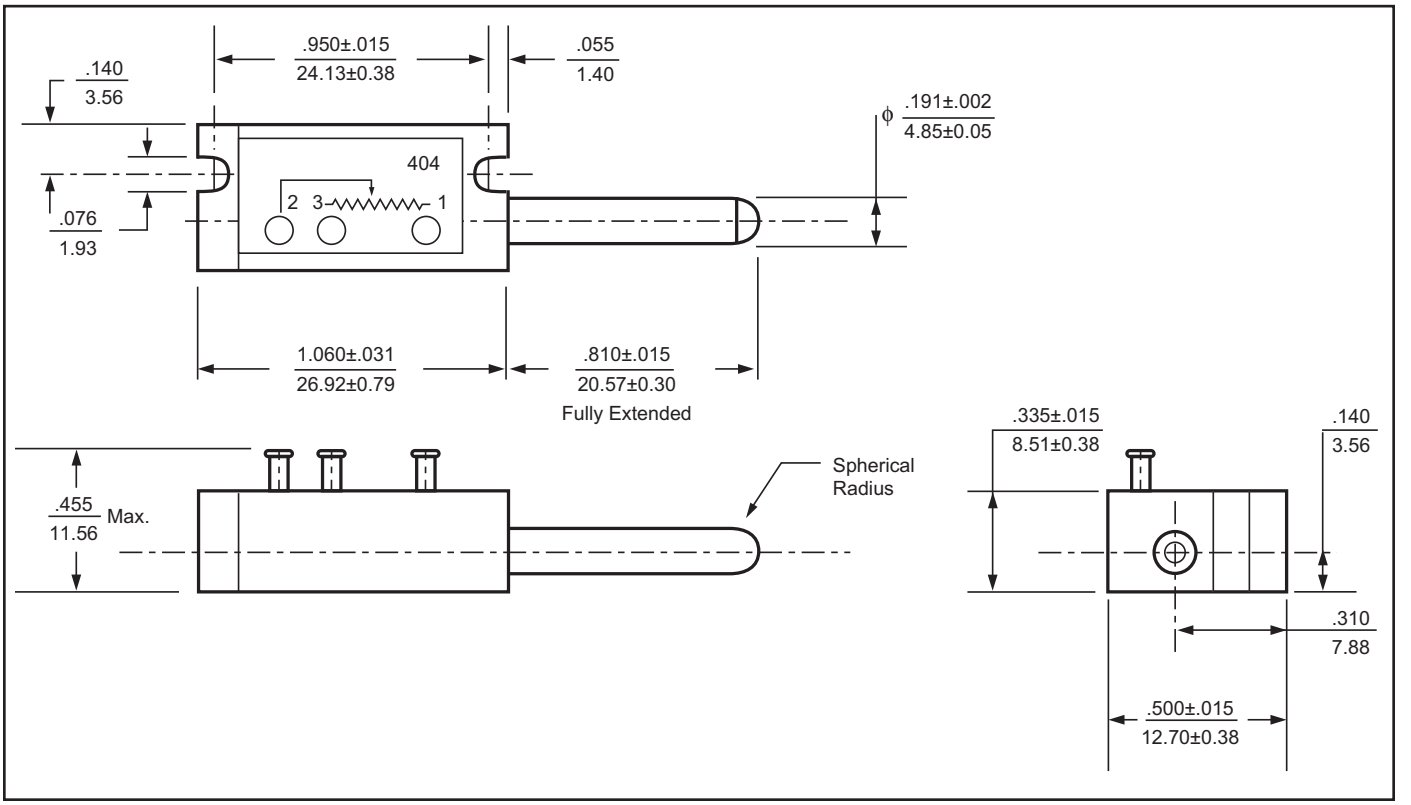


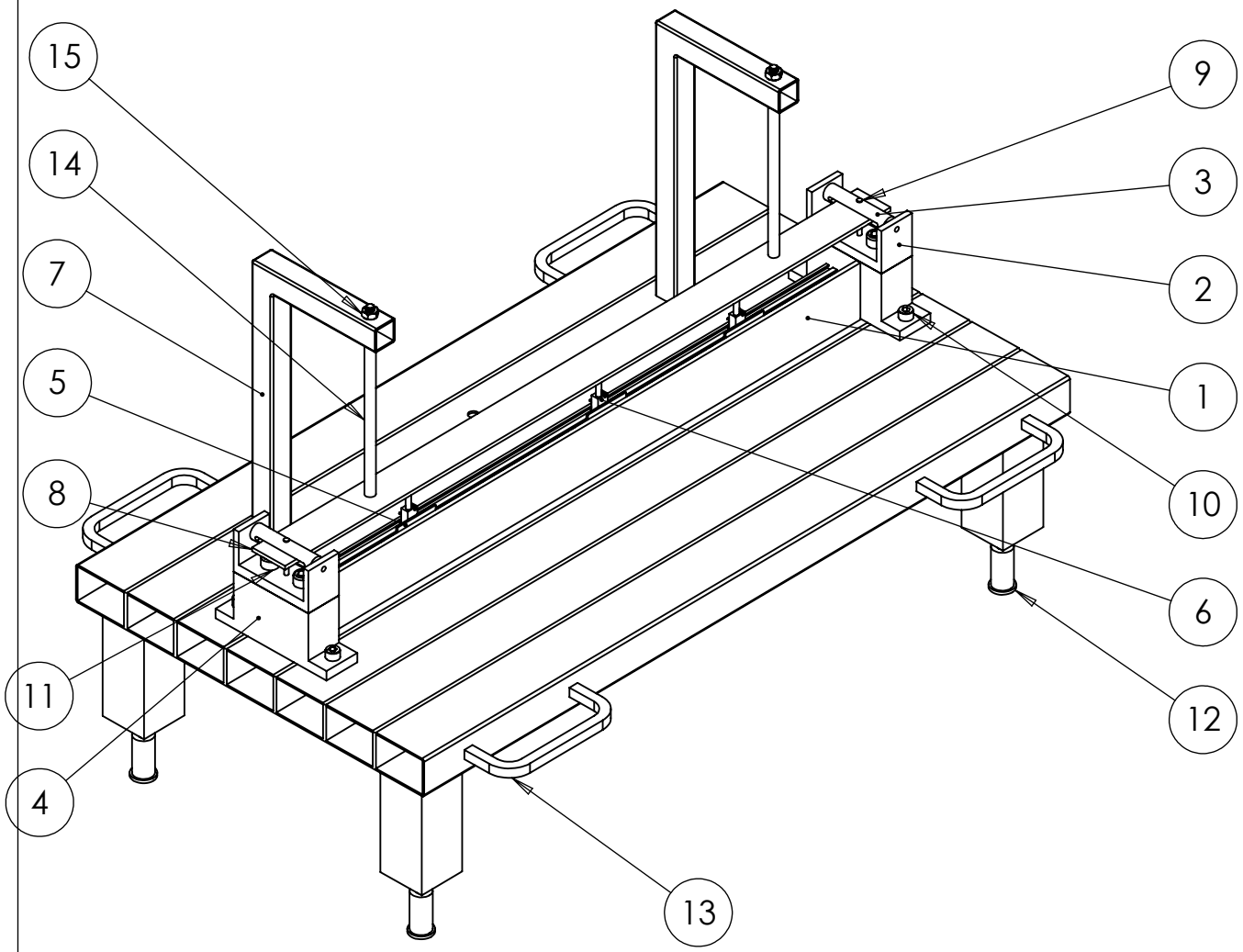
FEATURE CODES

Linearity Tape	LT

Model 404

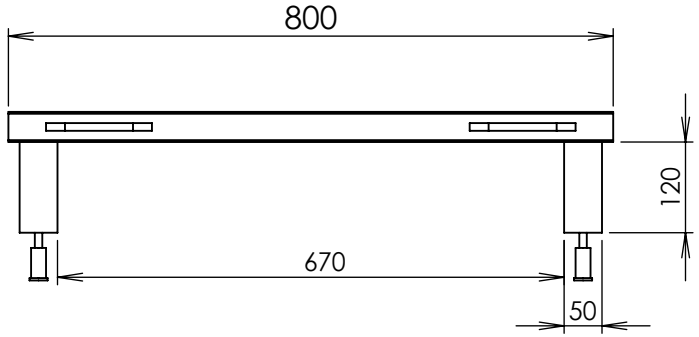
OUTLINE DRAWING

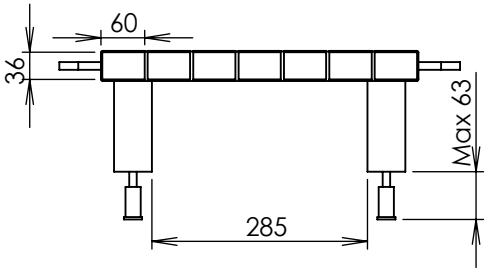


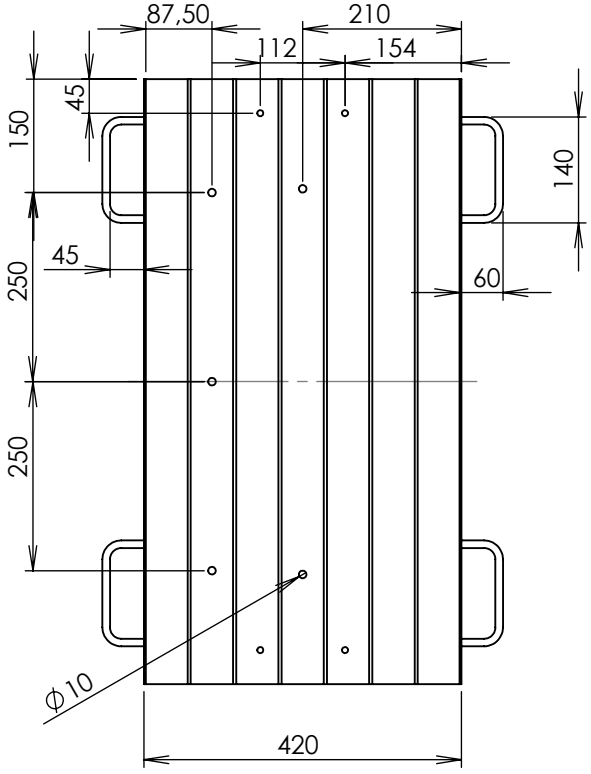


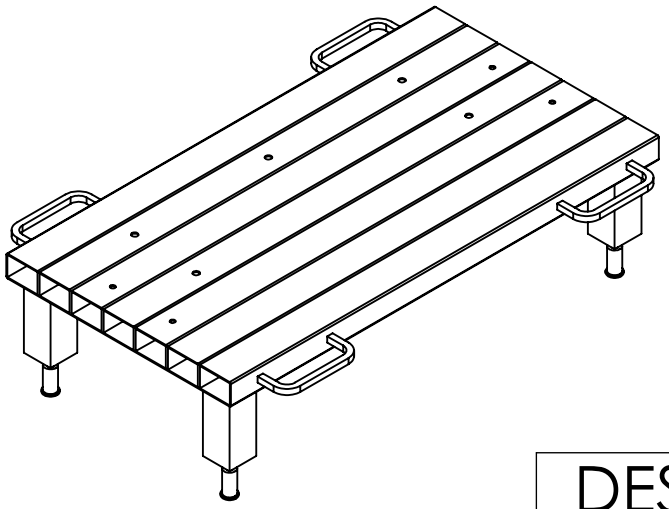
No. ART	NOM DE PIECE	QTE
1	Barre porte capteur	1
2	Support poutre	2
3	Machoire	2
4	Porte support poutre	2
5	Elément de fixation capteur	3
6	Capteur déplacement	3
7	Support chargement	2
8	Poutre à tester	1
9	Axe machoire	2
10	ISO 4762 M8 x 40 --- 28N	3
11	ISO 4762 M10 x 20 --- 20N	4
12	Table	1
13	Poignée	4
14	Axe fixation chargement	2
15	Ecrou ISO 4032 M8	2

DESSIN	BANC D'ESSAI DE FLEXION	**G.M**
PFE		Ech 1:6
14/06/15	CHORFI.KAMOUMIA	



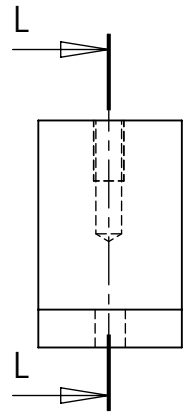


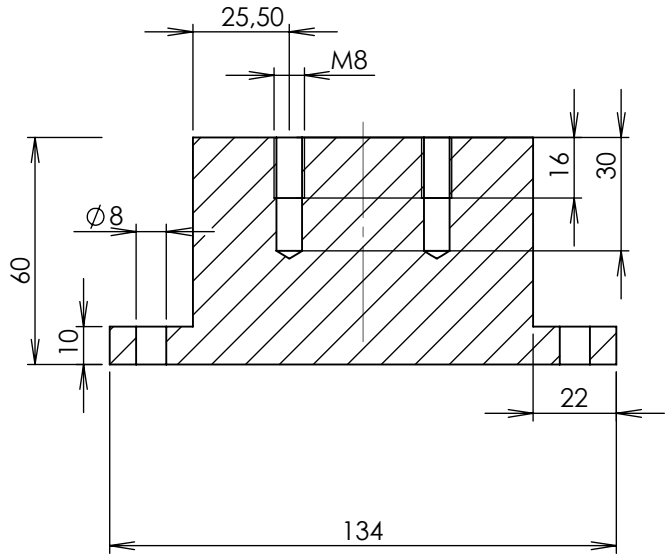


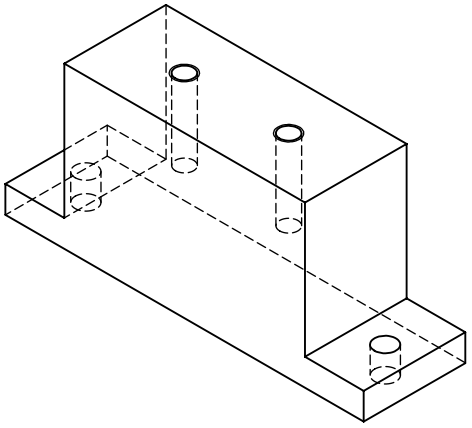


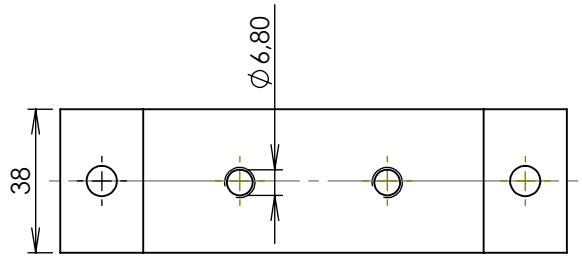
DESSIN	TABLE DU BANC	**G.M**
PFE		Ech 1:10
18/06/15	CHORFI.KAMOUMIA	

COUPE L-L
ECHELLE 1 : 2

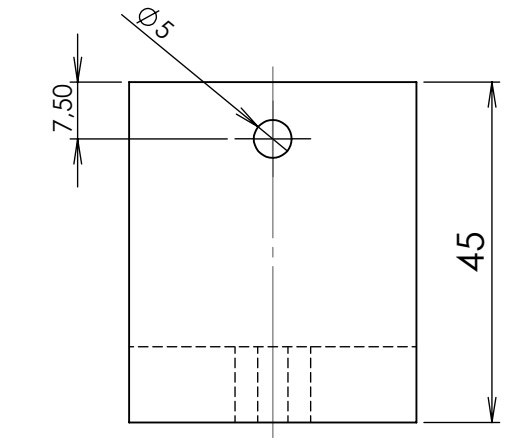


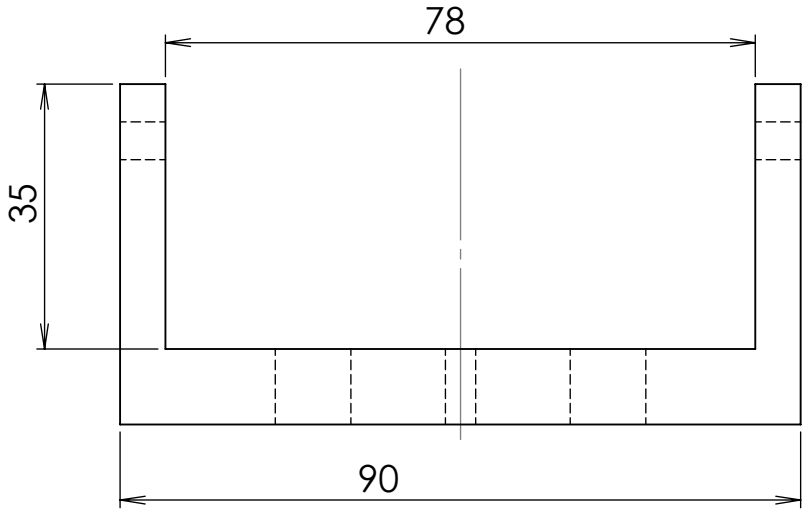


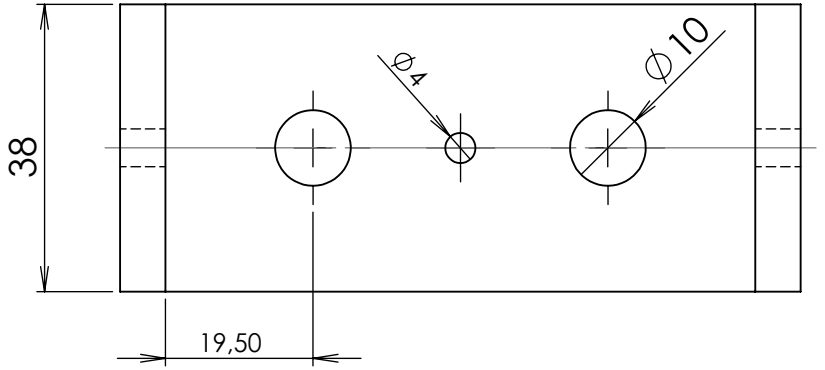


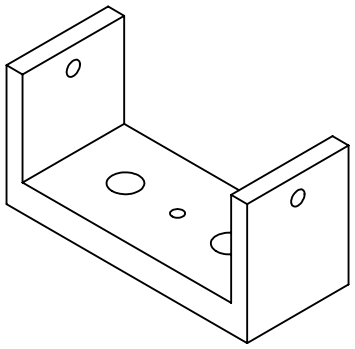


DESSIN	Porte support poutre	GM
PFE		Ech 1:2
18/06/15	CHORFI.KAMOUMIA	



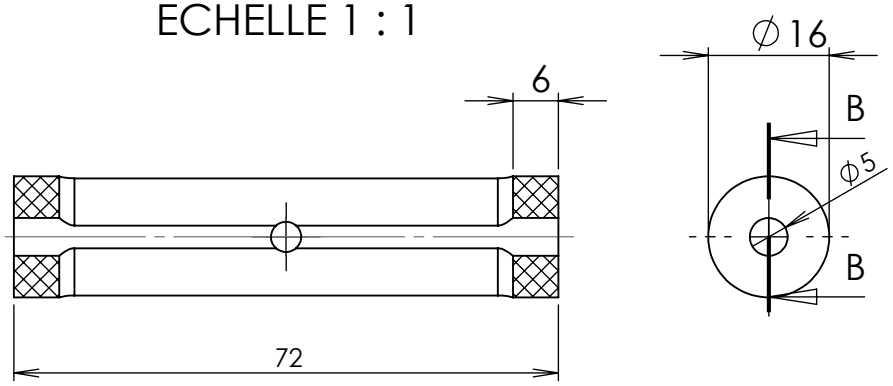


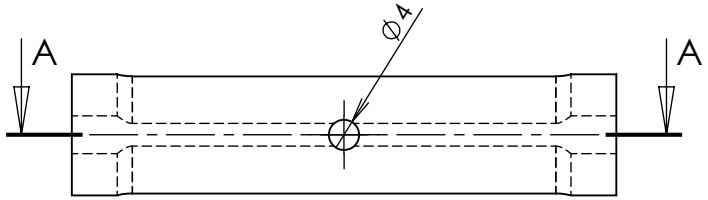


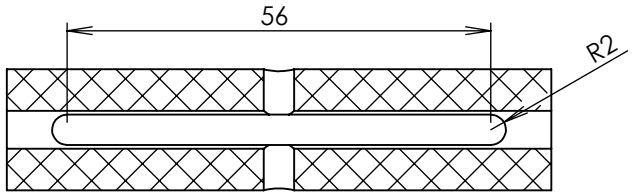


DESSIN	SUPPORT DE POUTRE	**GM**
PFE		Ech 1:2
18/06/15	CHORFI.KAMOUMIA	

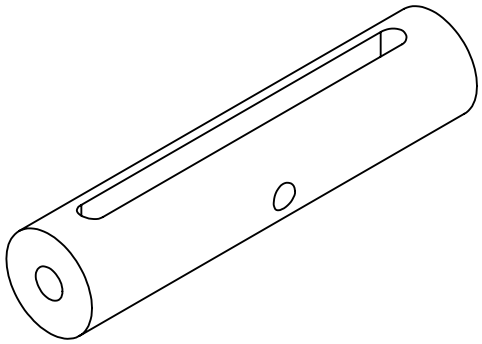
COUPE B-B
ECHELLE 1 : 1



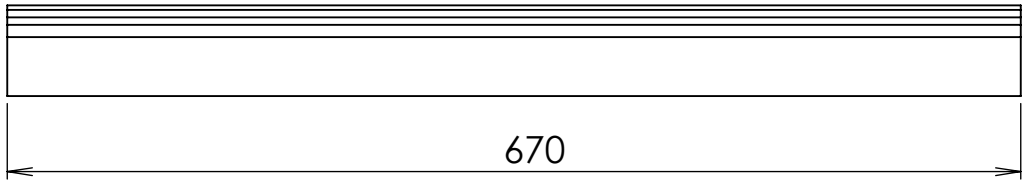


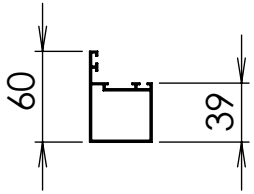


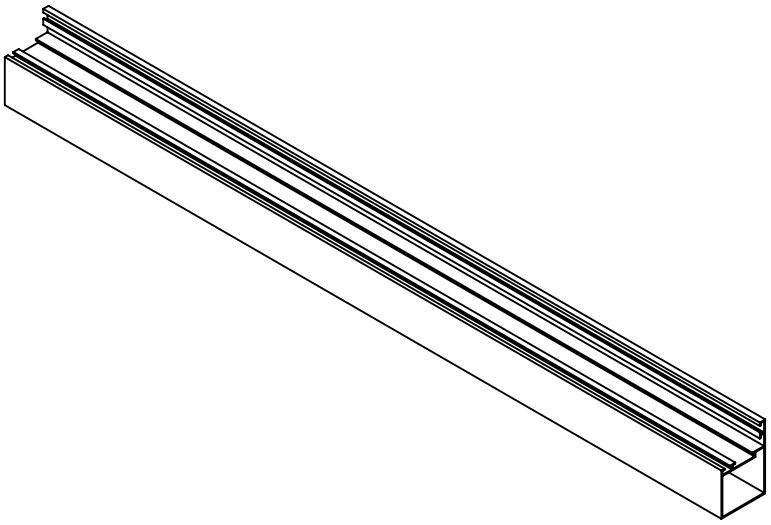
COUPE A-A
ECHELLE 1 : 1



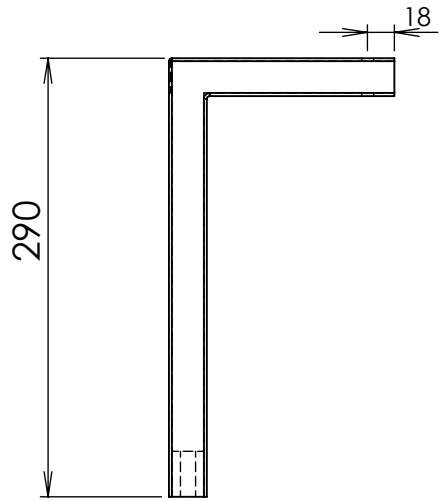
DESSIN	Mâchoire	GM
PFE		Ech 1:1
18/06/15	CHORFI.KAMOUMIA	

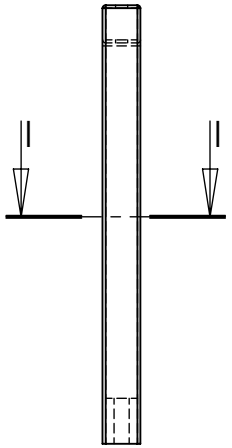


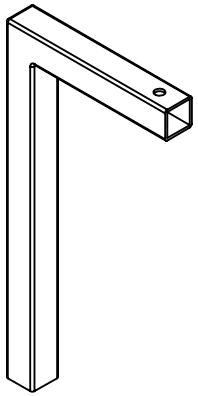


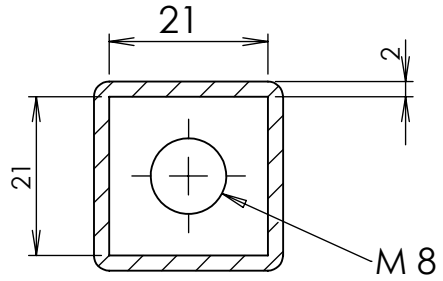


DESSIN	SUPPORT DE CAPTEUR	G.M
PFE		Ech 1:5
18/06/15	CHORFI.KAMOUMIA	



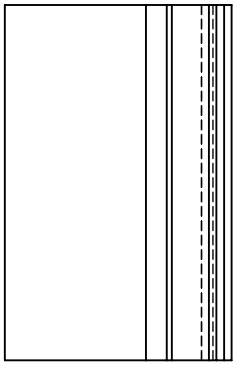


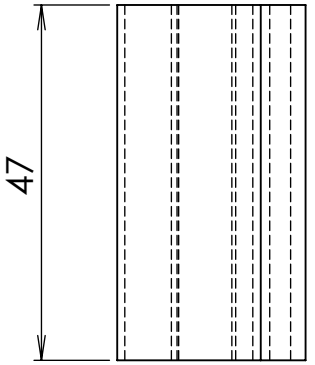


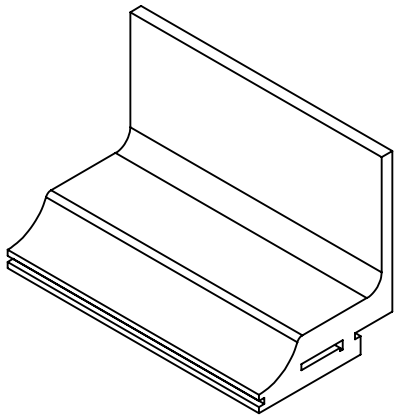


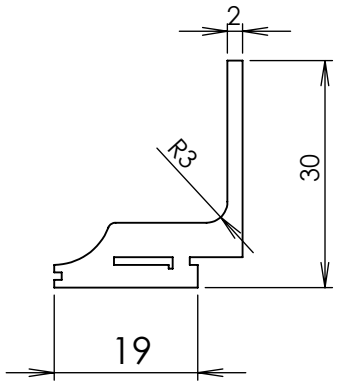
COUPE I-I
ECHELLE 1 : 1

DESSIN	Support chargement	G.M
PFE		Ech 1:5
18/06/15	CHORFI.KAMOUMIA	

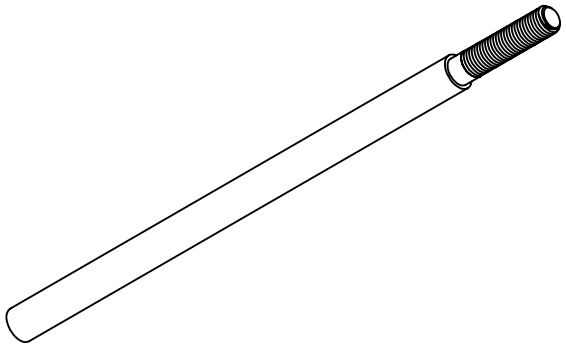


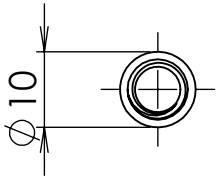


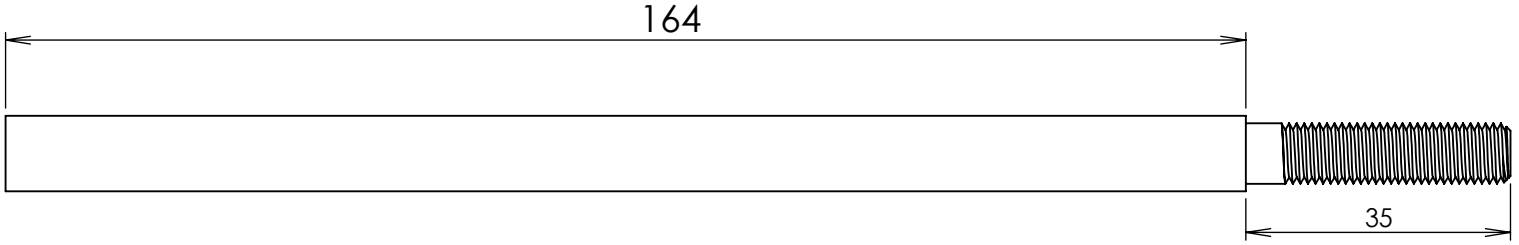


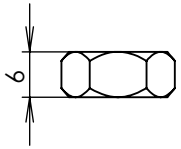


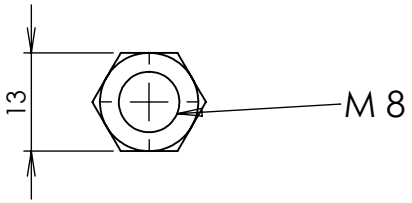
DESSIN	Elément de fixation capteur	**G.M**
PFE		Ech 1:1
18/06/15	CHORFI.KAMOUMIA	











DESSIN	Axe fixation chargement	G.M
PFE		Ech 1:2
14/15	CHORFI.KAMOUMIA	