



(12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 37194 B1** (51) Cl. internationale : **G01N 3/20; G01N 3/00**
- (43) Date de publication : **31.10.2016**

-
- (21) N° Dépôt : **37194**
- (22) Date de Dépôt : **10.07.2014**
- (71) Demandeur(s) : **UNIVERSITE MOULAY ISMAIL, MARjane 2, BP:298 Meknès (MA)**
- (72) Inventeur(s) : **NAKHELI abderani**
- (74) Mandataire : **Errakhi Rafik**

-
- (54) Titre : **extensiomètre**
- (57) Abrégé : L'invention concerne un extensomètre qui permet les mesures du module d'Young des matériaux, en utilisant la méthode de la poutre en flexion encastrée à une extrémité et qui subit une force appliquée à l'autre extrémité libre. Il est constitué d'un dispositif de fixation d'une poutre rectangulaire à une extrémité, à l'autre extrémité libre on relie un crochet en forme de S pour accrocher des masses et appliquer une force verticale dirigée vers le bas sur l'extrémité libre de la poutre. La mesure de la force résultante F appliquée à la poutre et la déviation correspondante (flèche), par l'intermédiaire d'un capteur électromagnétique de forces et de déplacements nous a conduits au module d'Young du matériau par l'application des relations issues de la théorie d'élasticité et les lois de la poutre en flexion encastrée à une extrémité et à laquelle on applique une force à l'autre extrémité libre.

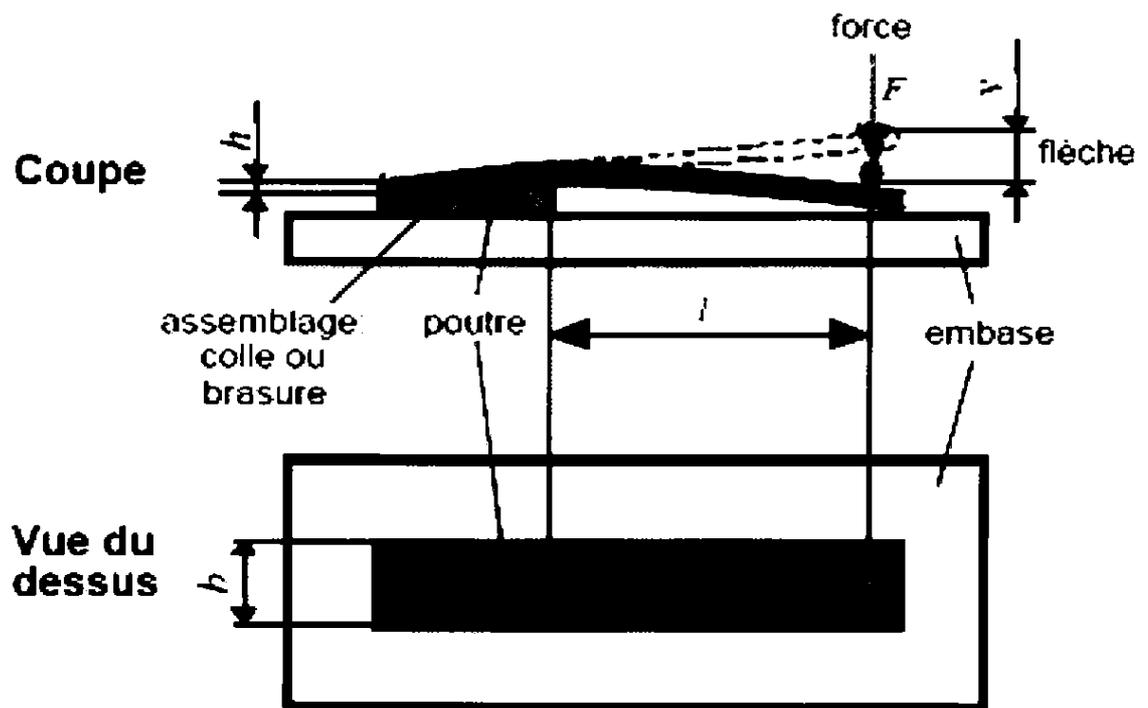


Fig. 2 : Schéma de principe de mesure du module d'Young.

Extensiomètre

Introduction.

La résistance des matériaux, RDM, est une discipline particulière de la mécanique des milieux continus permettant le calcul des contraintes et déformations dans les structures des différents matériaux (machines, génie mécanique, bâtiment et génie civil).

Lorsqu'on applique une contrainte sur un matériau élastique, ce dernier se déforme proportionnellement à l'effort appliqué et reprend sa forme initiale lorsque la sollicitation disparaît suivant la théorie d'élasticité. Le module d'Young qui relie la contrainte à la déformation élastique d'un matériau (Loi de Hooke) est une propriété mécanique intrinsèque au matériau, et d'une grande importance en mécanique des milieux continus, et représente un intérêt aussi bien sur le plan théorique que pratique. Il existe plusieurs méthodes pour les mesures du module d'Young, la plus simple est l'essai de traction, ou les mesures par ultrasons. Nous avons réalisé un dispositif de mesure du module d'Young, en s'appuyant sur la théorie de la poutre en flexion encastrée à une extrémité et l'utilisation d'un capteur électromagnétique de force et de déplacement.

I- Description du dispositif expérimental et technique de mesures.

Le dispositif que nous proposons est un extensiomètre qui permet les mesures du module d'Young des matériaux par la méthode de la poutre en flexion encastrée à une extrémité. Il est constitué d'un capteur électromagnétique de forces et de déplacements, un dispositif de maintien de la poutre rectangulaire à une extrémité, un crochet sous la forme d'un S relié à l'autre extrémité libre de la poutre. En reliant une masse m connue au crochet S, on applique une force verticale, dirigée vers le bas sur l'extrémité libre de la poutre. La poutre subit une flexion (déviation vers le bas par rapport à sa position horizontale et qui correspond à la flèche), avec un dispositif permettant de relier l'extrémité libre de la poutre au capteur de déplacement, ce dernier nous délivre une tension, et d'après la courbe d'étalonnage, on déduit le déplacement correspondant à cette flexion.

La mesure de la force appliquée à l'extrémité libre de la poutre à l'aide du capteur de forces, ainsi que la mesure de la flèche à l'aide du capteur de déplacement, nous permet de calculer le module d'Young à partir de la relation donnée par la théorie d'élasticité et de la poutre en flexion encastrée à une extrémité.

$$E = \frac{F \times l^3}{3 y \times I}$$

- $F = m g$: la force appliquée à la lame sur son extrémité libre.
- I : moment d'inertie de la poutre rectangulaire ($I = \frac{b \times h^3}{12}$)
- l : longueur effective, entre le point d'ancrage et le point de charge.

Pour une poutre de section rectangulaire en forme de lame (largeur $b \gg$ épaisseur h), ce qui est à peu près le cas ici, on a : Largeur $b = 2.5 \text{ cm}$ et Épaisseur $h = 1 \text{ mm}$

Ce qui donne : pour une unité masse surfacique 1 kg/m^2

Et on obtient une relation simplifié du module de Young en fonction de y et F :

$$E = \frac{l^3 F}{y} * 1.904 \cdot 10^{11}$$

Fig.1 : Dispositif expérimental

Fig. 2 : Schéma de principe de mesure du module d'Young.

1- Capteur électromagnétique de déplacements micrométriques.

Le capteur de déplacement que nous proposons est constituée d'un ressort, de deux bobines plates de 30 spires chacune, et de rayon 2 cm, Une bobine plate est fixée sur un support autour d'un orifice (bobine émettrice), elle est alimentée par un signal sinusoïdal provenant d'un GBF. La deuxième bobine plate réceptrice BM est enroulée sur un cylindre isolant de rayon 2cm et de hauteur 5.3 cm, ce dernier est suspendu par un crochet à l'extrémité inférieure d'un ressort dont l'extrémité supérieure est fixée sur un support par l'intermédiaire d'un crochet; l'ensemble ressort, cylindre et orifice sont bien alignés verticalement. de telle manière que le cylindre traverse l'orifice quasiment sans frottement. Les deux bobines réceptrice et émettrice sont reliées au circuit de conditionnement par l'intermédiaire des fils de connexions. Un crochet est fixé sur la partie inférieure du cylindre et sert à suspendre des masses. Les deux bobines sont toujours parallèles, distantes de x l'une de l'autre, x étant la distance variable inter bobines.

L'alimentation de la bobine fixe émettrice par une tension sinusoïdale de fréquence donnée et une amplitude donnée issue du GBF, produit un courant sinusoïdal dans celle-ci et crée une induction magnétique variable le long de son axe. La bobine mobile réceptrice est le siège d'une force électromotrice induite variable et mesurable $e = -d\Phi/dt$. La valeur maximale de cette f.e.m induite dépend de la distance x séparant les deux bobines, et le flux Φ est proportionnel à l'induction magnétique B , dont la variation, en fonction de x , est donnée par la relation suivante : $B(x) = \mu_0 N I R^2 / 2(R^2 + x^2)^{3/2}$, avec I le courant parcourant les bobines, R leur rayon, N leur nombre de spire. et x la distance séparant les deux bobines. Pour $x = 0$, la formule précédente devient simple. et l'on a : $B(x) = \mu_0 N I / 2R$.

2- Etalonnage du capteur électromagnétique de forces et de déplacements

Le ressort joue le rôle d'un convertisseur force déplacement, lorsqu'on accroche une masse au crochet le ressort s'allonge en obéissant à la relation $P = Kr \Delta x$, où $Kr = 10N/m$ est

la constante de raideur du ressort, et Δx l'allongement correspondant ; Les deux bobines se rapprochent et le capteur délivre une tension plus élevée. Nous avons effectué un étalonnage du capteur en utilisant des masses de précision, allant de 0g à 3g par pas de 0.5g. En accrochant les masses au capteur et en relevant les tensions correspondantes, on a obtenu la courbe caractéristique $m(V)$, ainsi que l'image de cette courbe dans le plan (d,V) où d est la distance inter bobines et V la tension correspondante. La caractéristique $d(V)$ est obtenue en utilisant La caractéristique $m(V)$, la constante de raideur K_r du ressort et la relation $d = d_0 - \Delta x$ où d_0 est la distance inter bobine initiale. Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux 1 et 2. **Tab1** et **Tab2**.

Tab.1 : Etalonnage du capteur de 0g à 3g : $m = f(v)$

M(g)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3
V(mv)	150.2	163.1	184.8	216.1	272.1	351.2	449.7

Tab.2 : Distance inter bobines en fonction de la tension : $d = f(v)$

V(mv)	150.2	163.1	184.8	216.1	272.1	351.2	449.7
d (mm)	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5

Les variations de la tension en fonction des déplacements $d(v)$ et $m(V)$ ne sont pas linéaires **Fig.3** et **Fig.4**. Le ressort nous permet de procéder à un étalonnage du capteur tension - déplacement. La sensibilité du capteur varie en fonction de la distance inter bobines, dans l'intervalle de mesure $[0, 3\text{mm}]$, elle est estimée à $100\mu\text{m/mv}$ lorsque $d= 3\text{mm}$ et atteint $30\mu\text{m/mv}$ lorsque $d = 1\text{mm}$. Sachant qu'on prélève les tensions délivrées par le capteur par un voltmètre avec une précision de 0.1mv, alors la précision des déplacements mesurés est comprise entre $10\mu\text{m}$ et $3\mu\text{m}$. et en termes de capteur de forces entre 10mg et 3mg.

Fig. 3: Courbe d'étalonnage du capteur $v = f(m)$.

Fig.4 : Courbe d'étalonnage $d = f(V)$.

II- Mesures du module d'Young et résultats expérimentaux.

Lorsque le capteur n'est soumis à aucune force, il délivre une tension V_0 , qui correspond à une masse ($m = 0$ et une distance inter bobine d_0).

Après l'étalonnage du capteur de forces et de déplacements, et la mise en place de la poutre rectangulaire qu'on fixe à une extrémité, on procède à la liaison de

l'extrémité libre de la poutre au capteur. Ce dernier nous délivre une tension V_1 . A l'aide du polynôme d'ajustement $d(V)$, on peut calculer la distance inter bobines d_1 et on peut aussi calculer la masse apparente m_{a0} appliquée au ressort en utilisant le polynôme d'ajustement $m(V)$. La connaissance de d_1 et m_{a0} sont utiles pour le calcul du module d'Young.

Pour effectuer la mesure, on suspend une masse connue m au crochet et on prélève la tension correspondante V_2 à l'aide d'un voltmètre numérique de précision 0.1 mV. A partir de cette tension on peut calculer la nouvelle distance inter bobines qu'on appelle d_2 et la masse apparente m_{a2} appliquée au capteur de forces.

Dans cet état d'équilibre, l'extrémité libre de la poutre est soumise à une force résultante :

$$F = mg - Fr$$

où Fr est la force exercée par le ressort sur la poutre, et qui est verticale et dirigée vers le haut. Son expression est donnée par :

$$Fr = K \Delta x \quad \text{avec} \quad \Delta x = d_0 - d_2.$$

La flèche est obtenue à partir de la relation suivante : $y = d_1 - d_2$.

La connaissance de F et de y nous permet de remonter au calcul du module d'Young par la relation :

$$E = \frac{l^3 F}{y} * 1.904 \cdot 10^{11}$$

Pour une longueur effective donnée de la poutre, et en utilisant la même procédure, nous avons effectués plusieurs mesures en utilisant plusieurs masses, les résultats sont regroupés dans le tableau suivant : **Tab.3.**

M(g)	V (mv)	d (mm)	y= d0-d (mm)	Δx (mm)=8-d (mm)	P = mg	Fr (N)=k* Δx
0	179.8	7,3113	0	0.6886	0	0,0067
1	188.2	7,1615	0,1498	0.8384	0,0098	0,0082
2	197,3	7,0051	0,3062	0.9948	0,0196	0,0097
3	206,4	6,8547	0,4566	1,1452	0,0294	0,0112
4	216	6,7027	0.6086	1,2972	0,0392	0,0127
5	225.8	6.5545	0.7568	1.4454	0,0490	0,0141
6	236.5	6,4007	0.9106	1,5992	0,0588	0,0156
7	247	6,2581	1,0532	1,7418	0,0686	0,0170
10	277,9	5,8852	1,4261	2,1147	0,0981	0,0207
12	302,4	5,6395	1.6718	2,3604	0,1177	0,0231

Tab.4 : $F = f(y)$

Y(mm)	0.1498	0.3062	0.4566	0.6087	0.7569	0.9106	1.0533	1.4261	1.6718
F(mN)	1.58	9.86	18.19	26.51	34.87	43.17	51.58	77.35	94.56
E (GPA)	15.82	48.3	59.76	65.32	69.1	71.1	73.45	81.3	84.8

Dans le **Tab.4**, nous avons regroupés les résultats obtenus sur les variations de la force F en fonction de la flèche, à partir de ce tableau, nous avons déduit la valeur moyenne de toutes les mesures effectuées sur une poutre rectangulaire en Aluminium :

La valeur moyenne de E = 63.2 GPA et Elit = 70 GPA, l'erreur est estimée à $\Delta E/E = 10\%$

Fig.5 : Variations de F en fonction de y : $F(y)$

$$F = a y + b \quad a = 60,74954 \text{ et } b = -9,77351$$

L'exploitation de cette série de mesures (une dizaine de points) nous a conduits à cette représentation qui donne une valeur moyenne du module d'Young Emoy déduit de la pente de $F(y)$. **Fig.5** le résultat est **Emoy = 91.1 GPA . l'erreur relative par rapport à la littérature est de 20%.**

Conclusion

Nous avons réalisé un dispositif expérimental pour les mesures du module d'Young, en utilisant la technique de la poutre en flexion encastree à une extrémité. L'extensiomètre réalisé est constitué d'un dispositif de maintien de la poutre à une extrémité, un capteur électromagnétique de forces et de déplacements micrométriques, un matériau à étudier sous la forme d'une poutre rectangulaire, un crochet en forme de S reliée à l'extrémité libre de la poutre rectangulaire, ce crochet sert à suspendre des masses connues et appliquer une force verticale dirigée vers le bas sur l'extrémité libre de la poutre. L'exploitation des bases théoriques de l'élasticité et celle relatives à la poutre en flexion encastree à une extrémité Nous ont conduit à la détermination du module d'Young d'une poutre en Aluminium commercialisé. Les résultats obtenus sur l'Aluminium, sont en bon accord avec celles trouvés dans la littérature,(E = 70 GPA). Avec une erreur qui n'excède pas 20%. Des améliorations peuvent être apportées à ce dispositif pour augmenter sa précision.

Liste des figures

Fig.1 : Dispositif expérimental.

Fig. 2 : Schéma de principe de mesure du module d'Young.

Fig. 3: Courbe d'étalonnage du capteur $v = f(m)$.

Fig.4 : Courbe d'étalonnage $d = f(V)$.

Fig.5 : Variations de F en fonction de y : $F(y)$

Les figures

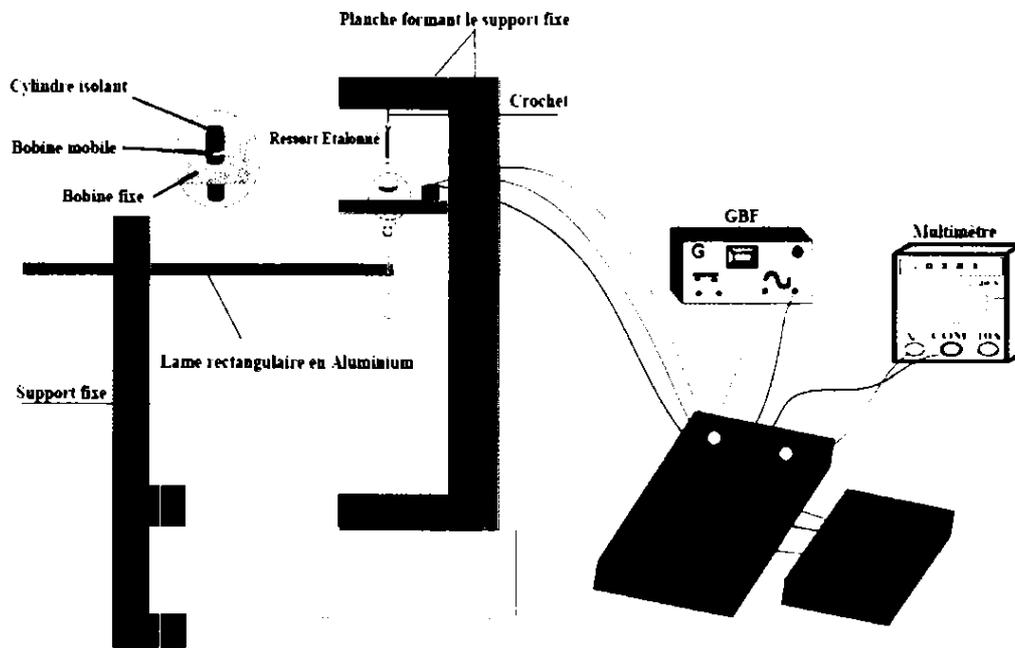


Fig.1 : Dispositif expérimental

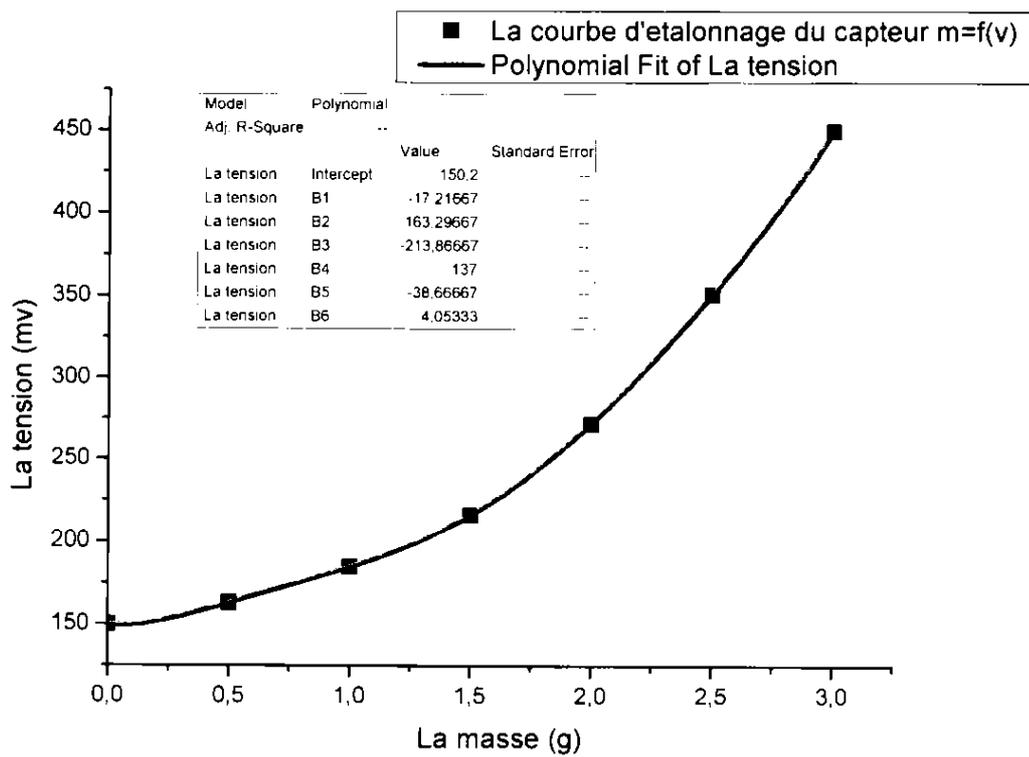


Fig. 3: Courbe d'étalonnage du capteur $v = f(m)$.

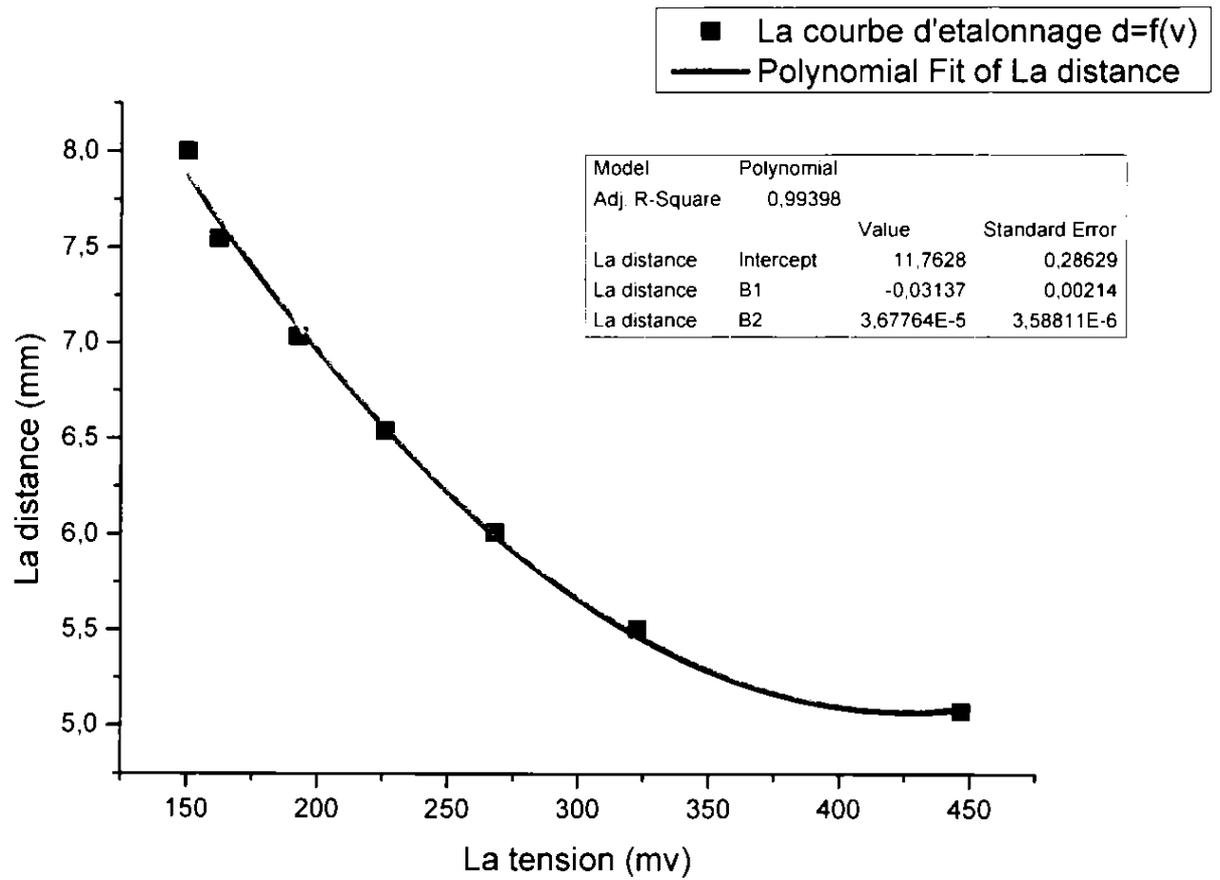


Fig.4 : Courbe d'étalonnage $d = f(V)$.

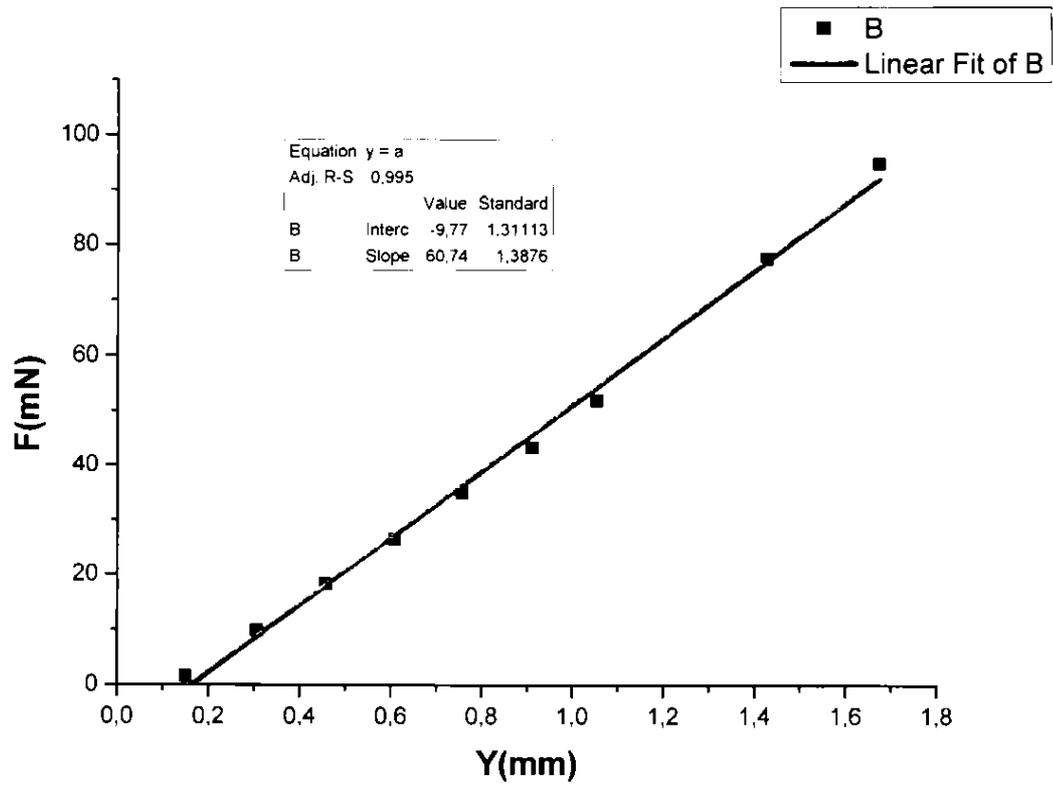


Fig.5 : Variations de F en fonction de y : F(y)

Abrégé

L'invention concerne un extensiomètre qui permet les mesures du module d'Young des matériaux, en utilisant la méthode de la poutre en flexion encastrée à une extrémité et qui subit une force appliquée à l'autre extrémité libre. Il est constitué d'un dispositif de fixation d'une poutre rectangulaire à une extrémité, à l'autre extrémité libre on relie un crochet en forme de S pour accrocher des masses et appliquer une force verticale dirigée vers le bas sur l'extrémité libre de la poutre. La mesure de la force résultante F appliquée à la poutre et la déviation correspondante (flèche), par l'intermédiaire d'un capteur électromagnétique de forces et de déplacements nous a conduits au module d'Young du matériau par l'application des relations issues de la théorie d'élasticité et les lois de la poutre en flexion encastrée à une extrémité et à laquelle on applique une force à l'autre extrémité libre.

Revendications

- 1- Dispositif formant un extensiomètre, permettant les mesures du module d'Young des matériaux, caractérisé en ce qu'il est constitué d'un système de fixation de la poutre à une extrémité, d'un crochet en S relié à l'extrémité libre de la poutre, d'un capteur électromagnétique de forces et de déplacements.
- 2- Selon la revendication 1, le capteur électromagnétique de déplacement est un dispositif caractérisé en ce qu'il est constitué de deux bobines plates parallèles, dont l'une est mobile (réceptrice) et l'autre est fixe (émettrice), le signal électrique prélevée aux bornes de la bobine réceptrice est acheminée vers un circuit électronique, ce dernier permet l'affichage de la tension par l'intermédiaire d'un voltmètre numérique.
- 3- Selon la revendication 2, La bobine fixe émettrice est caractérisée en ce qu'elle est alimentée par une tension alternative provenant d'un GBF, et la bobine mobile est le siège d'une force électromotrice par induction magnétique.
- 4- Selon la revendication 3, la tension prélevée aux bornes de la bobine mobile est caractérisée en ce qu'elle varie en fonction de la distance inter bobine.
- 5- Selon les revendications 1 et 4, l'étalonnage du capteur peut être effectué par un ressort étalonné de constante de raideur K connue.

ROYAUME DU MAROC

OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIETE
INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE



المملكة المغربية
المكتب المغربي
للملكية الصناعية والتجارية

**RAPPORT DE RECHERCHE DEFINITIF AVEC OPINION
SUR LA BREVETABILITE**

*Établi conformément à l'article 43.2 de la loi 17-97 relative à la
protection de la propriété industrielle telle que modifiée et
complétée par la loi 23-13*

Renseignements relatifs à la demande

N° de la demande : 37194

Date de dépôt : 10-07-2014 ;

Déposant : UNIVERSITE MOULAY ISMAIL

Intitulé de l'invention : extensiometre

Classement de l'objet de la demande :

CIB : G 01N 3-20, G 01N 3-00

Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :

Partie 1 : Considérations générales

- Cadre 1 : Base du présent rapport
 Cadre 2 : Priorité

Partie 2 : Opinion sur la brevetabilité

- Cadre 3 : Observations à propos de revendications modifiées qui s'étendent au-delà du contenu de la demande telle qu'initialement déposée
 Cadre 4 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle
 Cadre 5 : Défaut d'unité d'invention

Examineur: FERHANE

Date d'établissement du rapport : 19-10-2016

Téléphone: (+212) 5 22 58 64 14

Partie 1 : Considérations générales**Cadre 1 : base du présent rapport**

Les pièces suivantes servent de base à l'établissement du présent rapport :

- Demande telle qu'initialement déposée
- Demande modifiée suite à la notification du rapport de recherche préliminaire :
- Description- Description limitée
Pages
 - Revendications
 - Planches de dessin
Pages
- Observations à l'appui des revendications maintenues
- Observations des tiers suite à la publication de la demande
- Réponses du déposant aux observations des tiers
- Nouveaux documents constituant des antériorités :
- Suite à la recherche complémentaire (Couvrant les documents de l'état de la technique qui n'étaient pas disponibles à la date de la recherche préliminaire)
 - Suite à la recherche additionnelle (couvrant les éléments n'ayant pas fait l'objet de la recherche préliminaire)

Partie 2 : Opinion sur la brevetabilité**Cadre 4 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle**

Nouveauté (N)	Revendications 1-5 Revendications aucune	Oui Non
Activité inventive (AI)	Revendications 2-5 Revendications 1	Oui Non
Possibilité d'application Industrielle (PAI)	Revendications 1-5 Revendications aucune	Oui Non

D1 : D1: EP 0161397 AALLIED CORP [US] ; 1985-11-21
D2 : DE3929082 Bizerba GmbH & Co. KG ; 13 -10 2010
D3 : MA33790 UNIV MOULAY ISMAIL [MA] ; 03-12-2014

1. Nouveauté (N) :

Aucun des documents mentionnés ci-dessus ne divulgue un extensiomètre pour la mesure du module d'élasticité d'un matériau comprenant : un système de fixation de la poutre à une extrémité d'un crochet en S relié à l'extrémité libre de la poutre, d'un capteur électromagnétique de forces et de déplacement. D'où l'objet de la revendication 1 est nouveau, par la suite toutes les revendications dépendantes le sont au sens de l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

2. Activité inventive (AI) :

Le document D1 est considéré comme l'état de la technique le plus proche de l'objet de la revendication 1, il divulgue un dispositif de mesure comprenant un système de fixation de la poutre en porte à faux d'un capteur électromagnétique, un crochet pour suspendre une masse.

Par conséquent l'objet de la revendication 1 diffère de ce document par l'emplacement des capteurs électromagnétique.

Le problème que la présente invention se propose de résoudre peut donc être considéré comme étant de proposer une alternative pour la mesure du module d'élasticité.

La solution à ce problème, proposée dans la revendication 1 de la présente demande, ne peut pas être considérée comme impliquant une activité inventive pour les motifs suivants : Le document D1 propose un dispositif de mesure de module d'élasticité utilisant un détecteur électromagnétique et une électronique associée pour déterminer la force et la flèche de la poutre en porte à faux. Cependant, d'autres alternatives sont connues de l'homme du métier et employées également pour la mesure de la flèche des poutres en porte à faux. (voir le document D2 à titre d'exemple), donc la combinaison de l'ensemble des caractéristiques exposées dans la revendication 1 serait considérée par l'homme du métier comme une procédure de développement ordinaire. Par conséquent, l'objet de la revendication 1 n'implique pas une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

Les caractéristiques additionnelles de la revendication 2 de la présente demande, est considérée comme impliquant une activité inventive pour les motifs suivants : aucun document dans l'état de la technique ne montre ou suggère un procédé comprenant l'ensemble des caractéristiques techniques de la revendication 2 pour résoudre le problème cité ci-dessus, d'où l'objet de la revendication 2 implique une activité inventive au sens de l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13. Par conséquent les revendications dépendantes 2-5 impliquent aussi une activité inventive .

3. Possibilité d'application industrielle (PAI) :

L'objet de la présente invention est susceptible d'application industrielle au sens de l'article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu'il présente une utilité déterminée, probante et crédible.