



## (12) FASCICULE DE BREVET

- (11) N° de publication : **MA 34426 B1** (51) Cl. internationale : **G01N 9/20**
- (43) Date de publication : **01.08.2013**

- 
- (21) N° Dépôt : **34533**
- (22) Date de Dépôt : **12.01.2012**
- (71) Demandeur(s) : **UNIVERSITE MOULAY ISMAIL, MARJANE 2, BP:298 MEKNES (MA)**
- (72) Inventeur(s) : **Abdelrhani Nakheli ; Miloud Rahmoune ; Seddik Bri ; Khalid Sbai**
- (74) Mandataire : **ABDELRHANI NAKHELI**

- 
- (54) Titre : **Densimètre**
- (57) Abrégé : LE DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL PROPOSÉ EST UN DENSIMÈTRE QUI PERMET LES MESURES DE MASSE VOLUMIQUE DES LIQUIDES ET DES SOLIDES, EN UTILISANT LE PRINCIPE D'ARCHIMÈDE SELON LEQUEL TOUT CORPS IMMERGÉ DANS UN FLUIDE EN ÉQUILIBRE SUBIT DE LA PART DE CELUI-CI UNE POUSSÉE DONT L'INTENSITÉ EST ÉGALE AU POIDS DU FLUIDE DÉPLACÉ. IL EST CONSTITUÉ D'UN CAPTEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE DE FORCES, D'UN PLONGEUR, ET D'UN RÉCIPIENT REMPLI D'UN LIQUIDE. LE PLONGEUR QUI EST SUSPENDU AU CAPTEUR PAR L'INTERMÉDIAIRE D'UN FIL DE MASSE NÉGLIGEABLE, EST INTRODUIT DANS LE RÉCIPIENT REMPLI DU LIQUIDE. LE CAPTEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE DE FORCES PERMET DE MESURER LE POIDS APPARENT DU PLONGEUR, ET DÉDUIRE SA MASSE VOLUMIQUE SI LE LIQUIDE EST CONSIDÉRÉ COMME LIQUIDE DE RÉFÉRENCE DONT LA MASSE VOLUMIQUE EST CONNUE AVEC UNE GRANDE PRÉCISION, OU BIEN DÉDUIRE LA MASSE VOLUMIQUE DU LIQUIDE, SI LE PLONGEUR EST CONSIDÉRÉ COMME RÉFÉRENCE, DONT LA MASSE, LE VOLUME, ET LA MASSE VOLUMIQUE SONT CONNUS AVEC UNE GRANDE PRÉCISION. LA GAMME D'UTILISATION DU CAPTEUR EST COMPRISE ENTRE 0G ET 10G, SA PRÉCISION  $\Delta M = 3MG \text{ \AA } 0G$ , ET PEUT ATTEINDRE 1.5MG  $\text{\AA } 10G$ . LA PRÉCISION DES MESURES DE MASSE VOLUMIQUE DONNÉE PAR LE DENSIMÈTRE, DÉPEND DES CARACTÉRISTIQUES DU CAPTEUR ET CELLES DU PLONGEUR. LA SENSIBILITÉ DU DENSIMÈTRE EST D'AUTANT PLUS GRANDE QUE LE VOLUME DU PLONGEUR EST GRAND. LE DENSIMÈTRE PROPOSÉ DONNE DES MESURES DE MASSE VOLUMIQUE AVEC UNE ERREUR RELATIVE DE

L'ORDRE DE  $10^{-3}$  PRÈS. IL PEUT ÊTRE UTILISÉ POUR LES MESURES DE MASSE VOLUMIQUE DES LIQUIDES EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE (EN UTILISANT DES RAMPES DE TEMPÉRATURES), ET DÉTECTER TOUTE TRANSITION DE PHASE DU 1ER ORDRE OU DU 2ÈME ORDRE, AVEC UNE DÉTERMINATION PRÉCISE DES TEMPÉRATURES DE CRISTALLISATION, DE FUSION OU DE TRANSITION VITREUSE, AINSI QUE LES COEFFICIENTS DE DILATATION DES LIQUIDES, DES VERRES, DES SOLIDES NON CRISTALLINS ET DES CRISTAUX.



## Abrégé

Le dispositif expérimental proposé est un densimètre qui permet les mesures de masse volumique des liquides et des solides, en utilisant le principe d'Archimède selon lequel tout corps immergé dans un fluide en équilibre subit de la part de celui-ci une poussée dont l'intensité est égale au poids du fluide déplacé. Il est constitué d'un capteur électromagnétique de forces, d'un plongeur, et d'un récipient rempli d'un liquide.

Le plongeur qui est suspendu au capteur par l'intermédiaire d'un fil de masse négligeable, est introduit dans le récipient rempli du liquide. Le capteur électromagnétique de forces permet de mesurer le poids apparent du plongeur, et déduire sa masse volumique si le liquide est considéré comme liquide de référence dont la masse volumique est connue avec une grande précision, ou bien déduire la masse volumique du liquide, si le plongeur est considéré comme référence, dont la masse, le volume, et la masse volumique sont connus avec une grande précision. La gamme d'utilisation du capteur est comprise entre 0g et 10g, sa précision  $\Delta m = 3\text{mg}$  à 0g, et peut atteindre 1.5mg à 10g. La précision des mesures de masse volumique donnée par le densimètre, dépend des caractéristiques du capteur et celles du plongeur. La sensibilité du densimètre est d'autant plus grande que le volume du plongeur est grand.

Le densimètre proposé donne des mesures de masse volumique avec une erreur relative de l'ordre de  $10^{-3}$  près. Il peut être utilisé pour les mesures de masse volumique des liquides en fonction de la température (en utilisant des rampes de températures), et détecter toute transition de phase du 1<sup>er</sup> ordre ou du 2<sup>ème</sup> ordre, avec une détermination précise des températures de cristallisation, de fusion ou de transition vitreuse, ainsi que les coefficients de dilatation des liquides, des verres, des solides non cristallins et des cristaux.

01 AOUT 2013

**DENSIMÈTRE**

Le dispositif que nous proposons, est un densimètre, constitué d'un capteur électromagnétique de forces comprenant un crochet (CR3, Photo1), auquel est suspendu un plongeur solide (PL, Photo1) par l'intermédiaire d'un fil de liaison en polyamide de diamètre 0.1mm, de longueur 5cm et de masse négligeable, Le plongeur est immergé dans un liquide (L, Photo1) contenu dans un récipient (RE, Photo1).

En mécanique classique des milieux continus, la statique des fluides réels est identique à celle des fluides parfaits, car en l'absence d'écoulement les forces de viscosité n'interviennent pas. Il en résulte que le tenseur des contraintes  $\sigma$  est un tenseur isotrope de la forme :  $\sigma = -p I$  où  $p$  est la pression hydrostatique et  $I$  le tenseur unité.

Cette relation fondamentale est à l'origine du principe d'Archimède selon lequel tout corps immergé dans un fluide en équilibre subit de la part de celui-ci une poussée dont l'intensité est égale au poids du fluide déplacé.

Les méthodes utilisant le principe d'Archimède sont classiques en densimétrie des solides. Elles consistent à mesurer le poids apparent des corps solides dans les liquides de référence dont la densité est connue avec précision et elles permettent ainsi de déterminer les volumes des solides et leur densité.

Le dispositif expérimental que nous proposons permet les mesures de densité des liquides et des solides, à la température ambiante et aussi les mesures de densité en fonction de la température.

**Principe de fonctionnement :**

Nous désignons par  $\rho_L$  la masse volumique du liquide à étudier exprimée en  $g/cm^3$ ,  $M_p$  la masse du plongeur en grammes,  $\rho_p$  sa masse volumique ( $\rho_p > \rho_L$ ),  $V_p$  son volume en  $cm^3$  Qui est aussi égale au volume du fluide déplacé, et  $g$  l'intensité du champ de pesanteur.

L'intensité  $P_A$  de la poussée d'Archimède et du poids apparent  $F$  du plongeur sont donnés par :

$$P_A = \rho_L V_p g = \rho_L M_p g / \rho_p$$

$$F = M_p g - P_A = (1 - \rho_L / \rho_p) M_p g$$

La mesure de  $F$  donne directement la valeur de  $\rho_L$  :

$$\rho_L = \rho_p (1 - F / M_p g)$$

D'un point de vue pratique, le poids apparent a été mesuré à l'aide du capteur électromagnétique de forces dont l'étendu de mesure est de 10g, qui a été étalonné en

utilisant des masses marquées de précision et dont les résultats sont présentés sur le tableau.1 avec la courbe d'étalonnage fig.1

**Tableau 1 : Etalonnage du capteur de forces**

M(g)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V(mV)	141.4	156.8	173.8	193	214.5	238	264.1	292.1	321.9	353.1	384.6

L'ajustement de Vs en fonction de la masse accrochée au capteur est un polynôme d'ordre 4.  $V(m) = A + B_1 m + B_2 m^2 + B_3 m^3 + B_4 m^4$ , le coefficient de corrélation est 1 à  $10^{-5}$  près, et l'écart-type compatible avec la précision expérimentale.

Détermination expérimentale des caractéristiques du plongeur :

Nous avons relié le plongeur au capteur (Photo 1) par l'intermédiaire d'un fil très fin en polyamide de diamètre 0.1mm, de longueur 5cm, et dont la masse est négligeable. La tension de sortie délivrée par le capteur et prélevée à l'aide d'un voltmètre numérique de précision 0.1 mV, nous a permis de déterminer sa masse en utilisant le polynôme d'ajustement  $m = f(V)$  avec V en (mv) et m en (g).

Pour la détermination de son volume, nous avons utilisé l'eau distillée comme liquide de référence, en immergeant le plongeur dans l'eau contenu dans un récipient, le capteur nous délivre une tension V' qui nous permet de déterminer son volume d'après l'équation suivante :

$$V_p = \frac{M_p - m'}{\rho_L}$$

La détermination de la masse apparente m'est donnée par le polynôme d'ajustement d'ordre 3 de m en fonction de Vs tension de sortie du capteur.

Les caractéristiques expérimentales du plongeur sont données sur le **tableau.2**.

**Tableau 2. Caractéristiques du plongeur.**

$\rho_p(\text{g/cm}^3)$	$M_p(\text{g})$	$V'(\text{mv})$	$m'(\text{g})$	$V_p(\text{cm}^3)$
1.190	9.499	165.7	1.516	7.983

La masse volumique du liquide à étudier est donnée par la relation :  $\rho_L = \rho_P - m' / V_p$

**Caractéristiques du capteur de forces :**

Le capteur proposé est un capteur électromagnétique de forces, son principe de fonctionnement repose sur les lois fondamentales de l'électromagnétisme.

De tel capteur est constitué d'un circuit d'alimentation (CI1, Photo4), un circuit de conditionnement (CI2, photo4), de deux bobines plates identiques (BF, BM, photo2), de même diamètre 1.8cm, et formée chacune de 20 spires, qui sont des fils conducteurs de cuivre de section 0.1mm, un support solide fixé à un socle en marbre (SOC, photo3), un ressort élastique (R, photo3), et un cylindre (CY, photo3) solide isolant de diamètre 1.8cm, de hauteur 5cm et de perméabilité magnétique  $\mu$ , deux crochets (CR2, CR3, photo3) sont fixés aux centres des deux bases du cylindre isolant.

Le support fixe est constitué de quatre parties : Une Planche rectangulaire (P1, photo3) d'épaisseur 3cm, de longueur 20cm et de largeur 15cm, collée au socle en marbre (SOC, photo3) ; une planche (P2, photo2) de 30cm de longueur, 6cm de largeur et 3cm d'épaisseur est fixée à la planche rectangulaire de base et qui lui est perpendiculaire, Sur cette planche de 30cm maintenue verticalement, sont fixées de façon perpendiculaire deux planches (P3, P4, photo3) de 15cm de longueur chacune, de même épaisseur 1cm et même largeur 6cm, ces deux planches de 15cm de longueur sont parallèles entre elles et à l'horizontale et distantes de 10 cm l'une de l'autre. Sur la planche P3 est percé un orifice (OR, photo2) de diamètre 2cm, Dans lequel le cylindre (CY) est introduit et peut se déplacer verticalement quasiment sans frottement. Sur la planche (P4) est fixé un crochet (CR1, photo2), auquel est fixée l'extrémité supérieure du ressort (R, photo 2), à l'autre extrémité du ressort, est suspendu le cylindre (CY) par l'intermédiaire du crochet (CR2). Sur le cylindre est fixée la bobine (BM). Sur le contour de l'orifice (OR, photo2) est fixée la bobine fixe (BF, photo2).

Le crochet CR1, le ressort R, le crochet CR2, le cylindre CY et le crochet CR3 sont alignés sur un même axe vertical (Photo 3). Le cylindre joue un rôle de guidage et permet à la bobine mobile (BM) qui lui est solidaire de s'approcher ou de s'éloigner de la bobine fixe (BF), lorsqu'on exerce une force sur le crochet (CR3, photo3) soit en lui accrochant des masses.

Le cylindre est donc susceptible de se déplacer verticalement vers le haut ou vers le bas, quasiment sans frottement lorsqu'on exerce une force à son extrémité inférieure ; ce qui a pour effet d'allonger ou de comprimer le ressort. Les deux bobines plates (BF, BM) sont reliées par des fils de connexions (FC, photo4) au circuit de conditionnement (CI2, photo4) qui est alimenté par le circuit d'alimentation (CI1, photo4). La tension de sortie du circuit de conditionnement est acheminée vers un voltmètre numérique (V, photo1) de précision 0.1mV.

La bobine fixe (fig 1 ; BF) est alimentée par un oscillateur de Wien (fig1, OSC), de fréquence  $f_0 = 84\text{Hz}$ , dont les conditions de phase et d'amplification sont satisfaites ( $f_0 = 1/2\pi RC$ , avec  $R=10\text{k}\Omega$  et  $C = 0.2\mu\text{F}$ ). La condition d'amplification  $A = 1 + R_2/R_1 = 3$  ( $R_2 = 2.2\text{k}\Omega$  et  $R_1 = 1\text{k}\Omega$ ). A est le gain en tension. Cet oscillateur est suivi de deux amplificateurs suiveurs d'isolement, pour alimenter la bobine fixe, et par conséquent, elle est parcourue par un courant sinusoïdal créant une induction magnétique sinusoïdale le long de son axe. Cette dernière crée, à travers la bobine mobile, un flux variable,  $\Phi$ , et une force électromotrice induite variable et mesurable entre ses bornes. La valeur maximale de cette f.e.m induite dépend naturellement de la distance  $x$  séparant les deux bobines, et le flux  $\Phi$  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 :  $B(x) = \mu_0 N I / 2R$ .

Lorsqu'on accroche une masse au crochet, le ressort s'allonge, le cylindre se déplace vers le bas, et par conséquent, la distance  $x$  séparant les deux bobines diminue ; ce qui se traduit par une augmentation de la tension maximale induite aux bornes de la bobine mobile. Cette dernière étant de faible amplitude, il a fallu apporter des circuits d'amplifications, ( $A_1$ ,  $A_2$ , Fig1), de redressement et de filtrage (RF, Fig1), pour rendre cette tension exploitable, à la sortie du circuit de conditionnement, un potentiomètre (PO, Fig1) suivi d'un suiveur permet le réglage de la sensibilité du capteur.

Le circuit de conditionnement (fig1) , (CI2, photo4) est alimenté par une alimentation symétrique stabilisée,  $\pm 15\text{V}$  (CI1, photo 4).

Le capteur proposé est caractérisé par une dérive (d'origine) : Lorsqu'on met le capteur en marche, il y a une dérive lente, et après environ 30 minutes de fonctionnement, cette dérive s'annule, et la tension de sortie du capteur se stabilise à une constante.

La réponse du capteur,  $V(m)$ , n'est pas linéaire, mais elle obéit à une relation polynomiale. La conséquence immédiate de cette non-linéarité est une sensibilité variable, qui fait intervenir la distance  $x$  séparant les deux bobines. La précision de ce capteur dépend, manifestement, des éléments propres au dispositif expérimental (bobines, frottement, distance inter bobine, nombre de spires, ressort, et circuit de conditionnement du signal), et de la qualité de l'appareil de mesure utilisé.

La courbe caractéristique du capteur,  $V=f(m)$ , est obtenue, en accrochant des masses de précision allant de 0g à 10g (tableau.1 ci-dessus), et en relevant la tension correspondante, à l'aide d'un voltmètre de précision 0.1 mV. (figure 1).

Un ajustement polynomial d'ordre 4, caractérisé par un écart-type compatible avec la précision expérimentale du capteur ( $\Delta V = \pm 0.05 \text{ mV}$ ), paraît convenable :

$$V(m) = A + B_1 m + B_2 m^2 + B_3 m^3 + B_4 m^4$$

avec les coefficients ajustés :

$$A = 141.38811, \quad B_1 = 14.72675, \quad B_2 = 0.58925, \quad B_3 = 0.09621, \quad B_4 = -0.009591$$

Les caractéristiques de cet ajustement polynomial sont :  $r^2 = 0.99999$  et  $\sigma = 0.0496$ , où  $r^2$  est le coefficient de corrélation et  $\sigma$  est l'écart type.

Pour la détermination des masses apparentes  $m'$ , à partir des tensions correspondantes, nous avons utilisé la caractéristique inverse du capteur :  $m = f(V)$ , qui obéit à un ajustement polynomial d'ordre 3. (Fig.2). Les coefficients de cet ajustement sont :

$$A = -13.42389, \quad B_1 = 0.13056, \quad B_2 = -2.91341 \times 10^{-4}, \quad B_3 = 2.8684 \times 10^{-7}$$

Les caractéristiques de cet ajustement polynomial sont :  $r^2 = 0.99999$  et  $\sigma = 0.003$ , où  $r^2$  est le coefficient de corrélation et  $\sigma$  est l'écart type.

Le capteur électromagnétique de forces proposé est caractérisé par son étendu de mesure de 0g à 10g, qui dépend des caractéristiques mécaniques du ressort ( $k = 1\text{g/mm}$ ). Un cycle d'hystérésis apparaît lors du dépassement d'un certain allongement critique, et il y a apparition d'une déformation rémanente. Le choix d'un bon ressort parfaitement élastique est important. La gamme d'utilisation du capteur est limitée entre 0g et 10g, dans laquelle toutes les mesures sont réversibles. La sensibilité du capteur proposé dépend de la distance  $x$  inter-bobines, mais elle est pratiquement invariable, à distance fixée.

La précision du capteur dépend des éléments propres au dispositif expérimental (bobines, frottement, distance inter bobine, nombre de spires, ressort, et circuit de conditionnement du signal), et de la qualité de l'appareil de mesure utilisé. Nous avons utilisé un voltmètre numérique de précision 0.1 mV, l'erreur de lecture est estimée à 0.05 mV. Il en résulte une erreur absolue sur la masse  $1.5\text{mg} \leq \Delta m \leq 3\text{mg}$ , en relation avec la sensibilité du capteur ( $S = 60\text{mg/mV}$  à l'origine et  $S = 30\text{mg/mV}$  à 10g) donnée par  $\Delta m = S \Delta V$ .

### Sensibilité du dispositif expérimental

En désignant par  $m'$  la masse apparente du plongeur :

$$m' = (\rho_p - \rho_L) \varnothing_p$$

On voit qu'une variation  $\Delta \rho_L$  de la masse volumique du liquide engendre une variation  $\Delta m'$  telle que :

$$\Delta m' = \varnothing_p \Delta \rho_L$$

Il en résulte que la sensibilité de l'appareillage est d'autant plus élevée que le volume du plongeur est important.



Pour le plongeur utilisé :  $v_p \approx 10 \text{ cm}^3$  et en admettant  $\Delta m' = 2 \text{ mg}$ , alors on obtient  $\Delta \rho_L \approx 2 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm}^3$ , qui est pratiquement la sensibilité extrême que l'on peut atteindre avec ce dispositif expérimental. Des variations  $\Delta \rho_L < 2 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm}^3$  ne peuvent être détectées.

**Précision des mesures de  $\rho_L$**

La masse volumique se calcule à partir des mesures de  $M_p$ ,  $v_p$ , et  $m'$  à l'aide de la relation suivante :

$$\rho_L = \frac{M_p - m'}{v_p}$$

on en déduit que l'erreur relative est la suivante :

$$\frac{\Delta \rho_L}{\rho_L} = \frac{\Delta M_p + \Delta m'}{\rho_L v_p} + \frac{\Delta v_p}{v_p}$$

Elle dépend des caractéristiques du capteur et de celles du plongeur.

En particulier on voit que l'on a intérêt à utiliser un volume  $v_p$  suffisamment élevé pour la réduire à une valeur acceptable. La masse du plongeur a été mesurée avec une précision  $\Delta M_p = 2 \text{ mg}$ ,  $\Delta m' = 2 \text{ mg}$ ,  $\Delta v_p = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3$ ,  $v_p \approx 8 \text{ cm}^3$  et  $6.4 \text{ g} \leq \rho_L v_p \leq 8 \text{ g}$

L'application de ces valeurs numériques dans l'équation de l'erreur relative nous donne  $\Delta \rho_L / \rho_L = 10^{-3}$ .

**Application : Masse volumique des mélanges eau-éthanol.  $x(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}), (1-x)\text{H}_2\text{O}$  à température constante  $\theta = 20^\circ\text{C}$ .**

$x$  représente la fraction molaire d'éthanol.

Les mélanges ont été préparés en utilisant de l'éthanol commercial qui a une certaine teneur en eau, et l'eau distillée.

Afin d'étudier ces mélanges et analyser dans de bonnes conditions l'influence de la fraction molaire sur la masse volumique, nous avons préparés systématiquement neuf systèmes dont la fraction molaire  $x$  est échelonnée de 0 à 1 avec un intervalle constant  $\Delta x = 0,1$ .

En mélangeant une masse  $m_1$  d'un liquide de masse molaire  $M_1$ , et une masse  $m_2$  d'un liquide de masse molaire  $M_2$ , on obtient un système de masse  $m$  dont les concentrations pondérales sont liées aux fractions molaires par les relations suivantes :

$$c_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} = \frac{1}{1 + k \left( \frac{1}{x_1} - 1 \right)}$$

$$c_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} = \frac{1}{1 + k \left( \frac{1}{x^2} - 1 \right)}$$

Les masses molaires de l'éthanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) et l'eau (H<sub>2</sub>O) sont respectivement :

M<sub>1</sub> = 46g et M<sub>2</sub> = 18g. La constante  $K = \frac{M_2}{M_1} = 0.28125$ .

Nous avons calculé La concentration pondérale c de l'éthanol (c = c<sub>1</sub>) correspondant à chaque fraction molaire, et la masse m<sub>1</sub> à utiliser pour obtenir un mélange de masse standard (m = 100g). Les pesées ont été effectuées à l'aide d'une balance électromagnétique réalisée au laboratoire, (capteur de forces analogue à celui décrit précédemment), Son étendu de mesure est de 100g et sa précision est inférieure à 50mg. Avec cette précision, l'erreur expérimentale commise sur la fraction molaire x est inférieure à 10<sup>-2</sup>. Nous avons effectué les mesures de masse volumique des 11 liquides ( x allant de 0 à 1 par pas de 0.1) successivement en introduisant à chaque fois le plongeur suspendu au capteur, dans le liquide contenu dans le récipient (RE, photo3) et en relevant la tension correspondante délivrée par le capteur en utilisant un voltmètre numérique pour chaque fraction molaire x.

Les résultats obtenus sont regroupés (Tableau3, Fig3, Fig4, Fig5).

**Tableau 3 : Tension de sortie du capteur, Masse apparente, masse volumique en fonction de la fraction molaire x.**

x	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
V'(mV)	165.7	170.1	173.5	176.7	179.4	181.8	183.5	185.2	186.3	187.5	187.8
m'(g)	1.5157	1.7664	1.9563	2.1321	2.2781	2.4063	2.4961	2.5852	2.6424	2.7044	2.71.99
ρ <sub>L</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1.0000	0.9687	0.9449	0.9229	0.9046	0.8886	0.8773	0.8662	0.8590	0.8512	0.8493

Une comparaison a été faite avec les résultats bibliographiques du Handbook of Chemistry and Physics, (Fig.6) et qui montre que nos mesures sont en très bon accord avec ces derniers pour les milieux riches en eau, et on note un écart qui devient de plus en plus important pour les milieux de plus en plus riches en éthanol. Cet écart s'explique facilement par l'éthanol que nous avons utilisé pour la préparation des mélanges, et qui n'était pas suffisamment pur. L'éthanol du commerce à 90% utilisé, s'est avéré à 80% seulement, d'après nos mesures.

## Description des figures.

**Fig 1** : Courbe d'étalonnage du capteur de forces,  $V = f(m)$ .

**Fig 2** : Variations de la masse  $m$  en fonction de  $V$ ,  $m = f(V)$ .

**Fig 3** : Variations de la tension de sortie du capteur en fonction de la fraction molaire  $x$  des mélanges Eau- Ethanol.

**Fig 4** : Variations de la masse apparente  $m'$  en fonction de la fraction molaire  $x$

**Fig 5** : Variations de la masse volumique des mélanges Eau-Ethanol en fonction de la fraction molaire  $x$ .

**Fig 6** : Comparaison des valeurs expérimentales avec les valeurs Bibliographiques de la masse volumiques des mélanges Eau-Ethanol.

**Fig 7** : Schéma électronique du circuit de conditionnement.

- OSC : Oscillateur de Wien
- SBF : Bobine fixe alimentée via un amplificateur suiveur
- A1 : Amplificateur de la tension prélevée aux bornes de BM
- A2 : Deuxième étage amplificateur de la tension aux bornes de BM
- RF : Circuit de redressement et de filtrage
- PO : Potentiomètre de réglage de  $V_s$  suivi d'un amplificateur suiveur.

**Photo1** : Densimètre avec un plongeur en verre

- CR3 : Crochet du capteur électromagnétique de forces
- PL : Plongeur en verre, relié au crochet CR3 par un fil fin.
- RE : Récipient contenant le liquide
- L : Liquide à étudier ou de référence.
- CI1 : Circuit électronique d'alimentation du capteur
- CI2 : Circuit électronique de conditionnement
- V : Voltmètre numérique

**Photo2** : Cylindre de guidage, ressort et Bobines plates (BM, BF)

- CR1 : Crochet fixé sur P3
- CR2 : Crochet fixé sur P4, auquel est suspendu le ressort
- CY : Cylindre de guidage, auquel est fixée la bobine mobile BM
- P2 : Planche du support fixe maintenue verticalement
- P3 : Planche du support fixe comprenant un orifice circulaire OR
- R : Ressort élastique
- BM : Bobine plate mobile solidaire au cylindre
- BF : Bobine plate fixe sur le contour de l'orifice OR
- OR : Orifice circulaire de diamètre 2 cm

**Photo3** : Densimètre avec un plongeur en plexiglas

- (P1, P2, P3, P4) : Planches constituant le support fixe
- (CR1, CR2, CR3) : Crochets
- (BF, BM) : Bobine plate fixe et bobine plate mobile
- R : Ressort élastique
- PL : Plongeur en Plexiglas
- CY : Cylindre de guidage
- RE : Récipient contenant le liquide et le plongeur en plexiglas
- SOC : Socle solide sur lequel est fixé le support fixe du capteur

**Photo4** : Connexions des bobines plates au circuit de conditionnement

- FC : Fils de connexions des bobines plates (BM et BF) au circuit de conditionnement CI2.
- CI1 : Circuit d'alimentation
- CI2 : Circuit de conditionnement de la tension de sortie du capteur
- PO : Potentiomètre de réglage de la sensibilité du capteur de forces

## Revendications

**1** - Dispositif formant un densimètre pour mesurer la masse volumique des liquides et des solides, caractérisé en ce qu'il comporte un capteur électromagnétique de forces portant un crochet (CR3, photo1), auquel est suspendu verticalement un plongeur solide (PL, photo1) par l'intermédiaire d'un fil, le plongeur est introduit dans un récipient (RE, photo1) rempli de liquide (L, photo1).

**2** - Selon la revendication 1, le capteur électromagnétique de forces est un dispositif, caractérisé en ce qu'il permet la mesure de la masse apparente du plongeur, à l'aide d'un circuit électronique de conditionnement (CI2, photo1), qui délivre une tension au voltmètre numérique (V, photo1), l'alimentation du CI2 est assurée par le circuit d'alimentation (CI1, photo1).

**3** - Selon la revendication 1, le capteur électromagnétique de forces est un dispositif de mesure de forces, caractérisé en ce qu'il comporte un support solide fixe présentant un orifice (P3, OR, photo2), sur le contour duquel est placée une bobine fixe (BF, photo2) et dans lequel est introduit un cylindre (CY, photo2) solidaire à une bobine plate mobile (BM, photo2), et il est relié à un ressort (R, photo 2) fixé sur le support (P4, photo3), les deux bobines plates sont reliées à un circuit de conditionnement alimenté par une alimentation stabilisée  $\pm 15V$  (CI1, photo4), lorsqu'on exerce une force sur le cylindre, le ressort s'allonge et permet la mesure de la force exercée à l'aide du circuit de conditionnement (CI2, photo4) qui délivre une tension au voltmètre numérique.

**4**- Selon la revendication 3, le support solide fixe est un dispositif, caractérisé en ce qu'il comporte quatre planches (P1, P2, P3, P4, photo3), sur la planche P4 est fixé un crochet (CR1, photo2), sur la planche P3 est percé un orifice de diamètre 2cm (OR, photo2) sur le contour duquel est fixé une bobine plate de 20 spires (P3, BF, photo2).

**5**- Selon la revendication 3, Le cylindre (CY, photo2) est un dispositif, caractérisé en ce qu'il comporte un crochet fixé sur sa base supérieure (CR2, photo2), un crochet fixé sur sa base inférieure (CR3, photo3), et une bobine plate de 20 spires (BM, photo 2) qui lui est solidaire.

**6**- Selon les revendications 1 et 3, Le ressort (R, photo2) est un dispositif, caractérisé en ce qu'il est fixé au crochet (CR1, photo 3), et auquel est suspendu le cylindre (CY, photo2) par l'intermédiaire du crochet (CR2, photo2).

7- Selon les revendications 5 et 6, Le cylindre (CY) est caractérisé en ce qu'il est introduit dans l'orifice (OR, photo2) et susceptible de se déplacer verticalement quasiment sans frottement lorsqu'on exerce une force sur le crochet (CR3, photo3), permettant ainsi des variations de la distance  $x$  séparant les deux bobines plates se traduisant par des variations de la tension de sortie prélevée du circuit de conditionnement (CI1, photo4) alimentée par le circuit (CI2, Photo4) .

8- Selon les revendications 1 et 7, Le circuit de conditionnement (CI2, photo4) est un dispositif, caractérisé en ce qu'il contient, un oscillateur de Wien (OSC, Fig7) qui alimente la bobine fixe (BF), par l'intermédiaire d'un amplificateur suiveur (SBF, Fig7) un circuit d'amplification (A1, A2, Fig7) de la tension prélevée aux bornes de la bobine mobile (BM, Fig7), un circuit de redressement et de filtrage (RF, Fig1), et un potentiomètre de réglage de la sensibilité du capteur (PO, Fig7), suivi d'un amplificateur suiveur de sortie.

9- Selon la revendication 1, le capteur électromagnétique de forces est caractérisé par sa gamme d'utilisation de 0g à 10g, sa sensibilité  $30\text{mg/mV} \leq S \leq 60\text{mg/mV}$  et sa précision  $1.5\text{mg} \leq \Delta m \leq 3\text{mg}$ .

10- Selon la revendication 1, la sensibilité du densimètre est caractérisée en ce qu'elle dépend des caractéristiques du capteur électromagnétique de forces, et de celles du plongeur.

11- Selon la revendication 1, Le capteur électromagnétique de forces est un dispositif, caractérisé en ce que, Le diamètre des bobines, le nombre de spires de chaque bobine, et la section du fil peuvent être modifiées pour une éventuelle amélioration de ses performances, la constante  $k$  du ressort permet de fixer l'étendu de mesure et la gamme d'utilisation du capteur.

12- Selon les revendications 1 et 2, le dispositif formant le densimètre, est caractérisé en ce que le plongeur peut être substitué par une nacelle en verre contenant un liquide L1 à étudier, cette nacelle suspendue au capteur par un fil, et introduite dans le récipient contenant le liquide L2 de référence, permet de déterminer la densité du liquide L1, à condition que les deux liquides L1 et L2 soient non miscibles, et  $\rho_{L1} > \rho_{L2}$

13- Selon la revendication 12, le dispositif formant le densimètre, est caractérisé en ce qu'il est bien adapté à des études dilatométriques des liquides en fonction de la température, permettant de détecter toute transformation de phase du 1<sup>er</sup> ou du 2<sup>ème</sup> ordre, et la détermination des températures de fusion, cristallisation, ou de transition vitreuse des liquides.

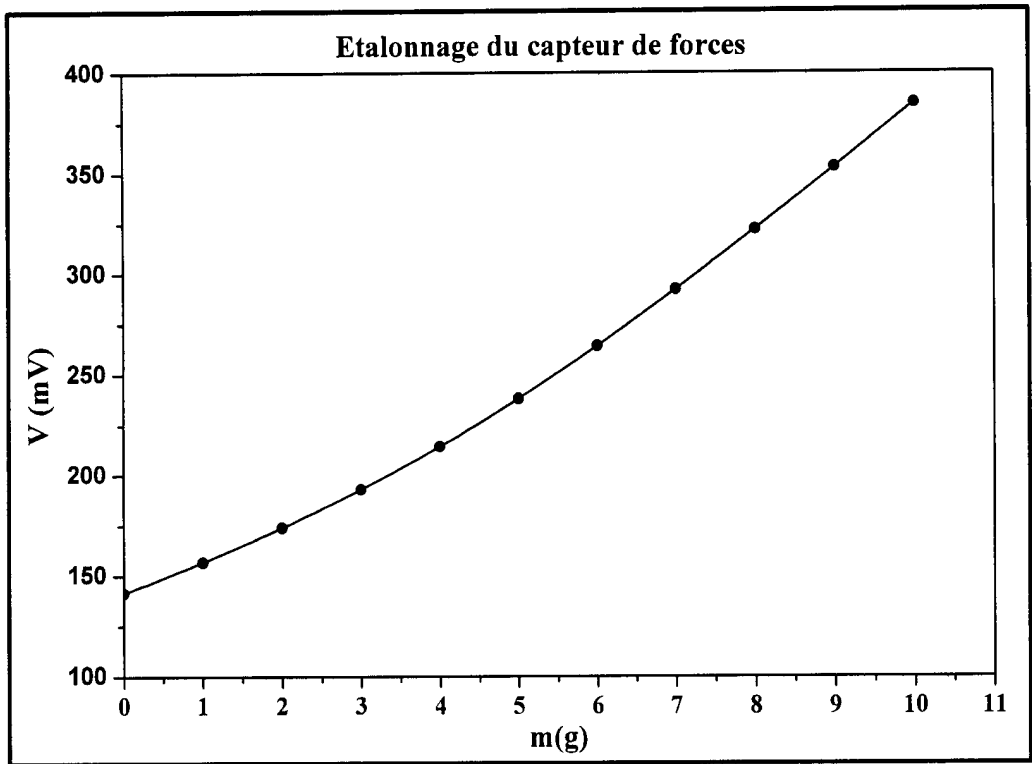


Figure 1.

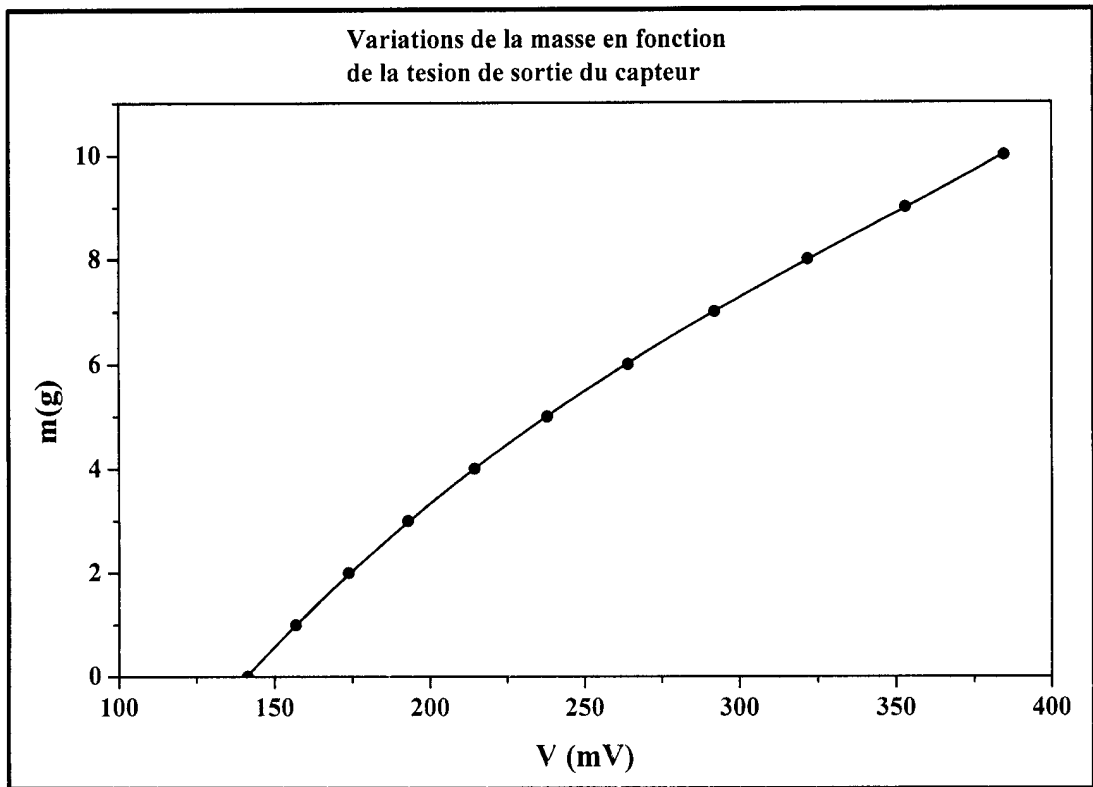


Figure 2.

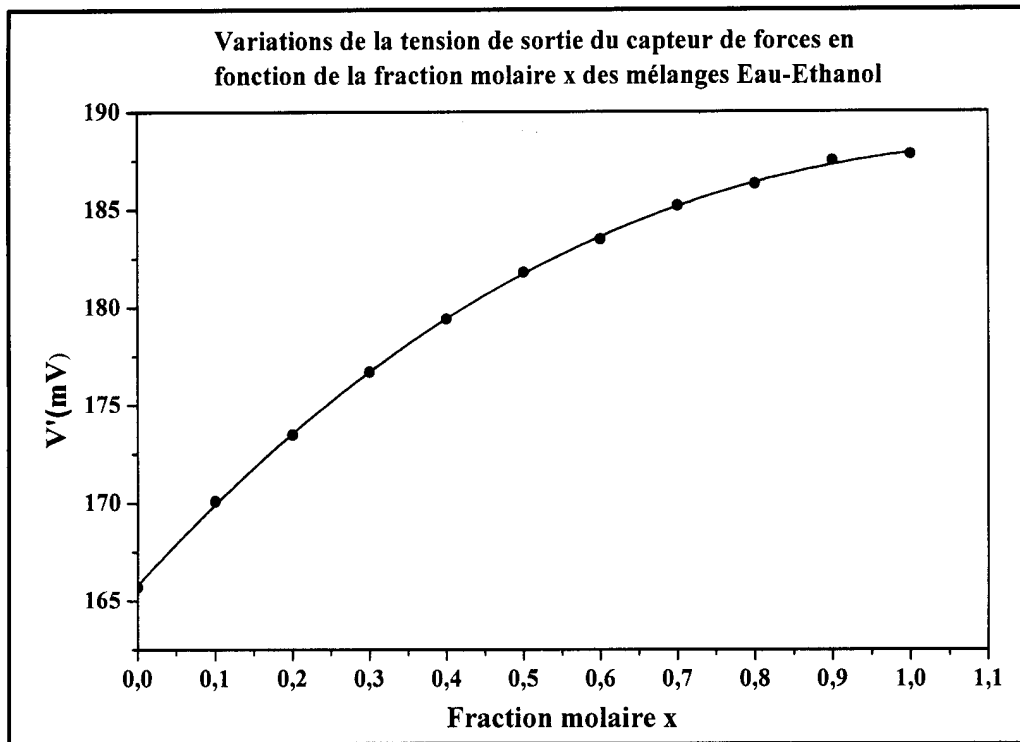


Figure 3

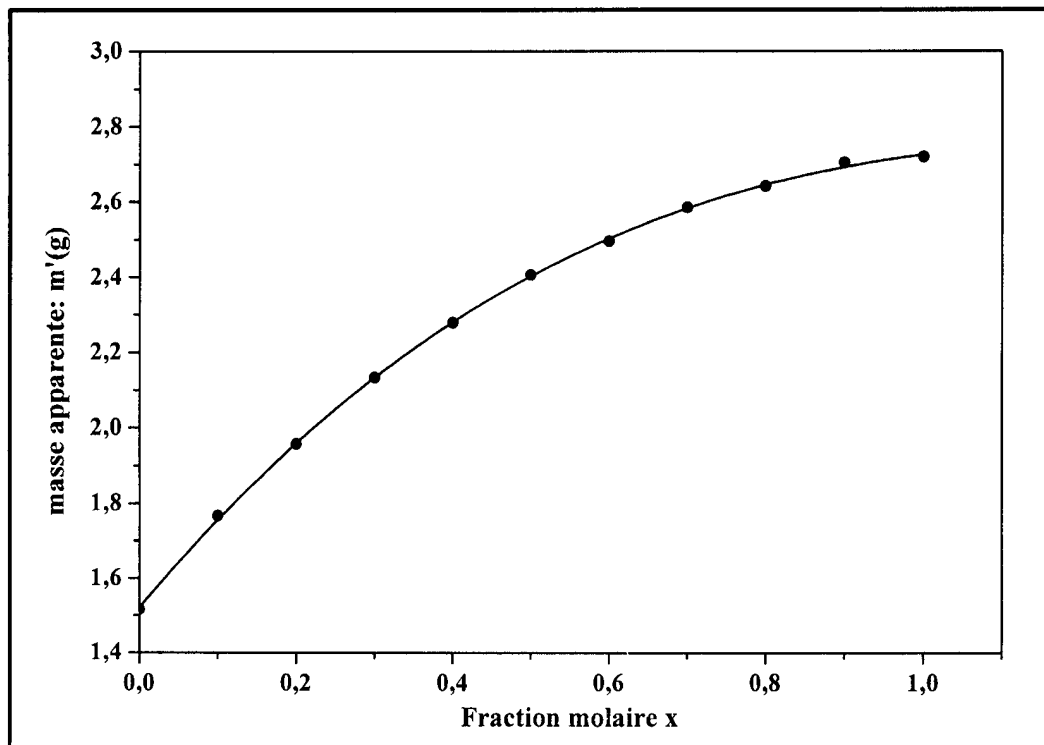


Figure 4

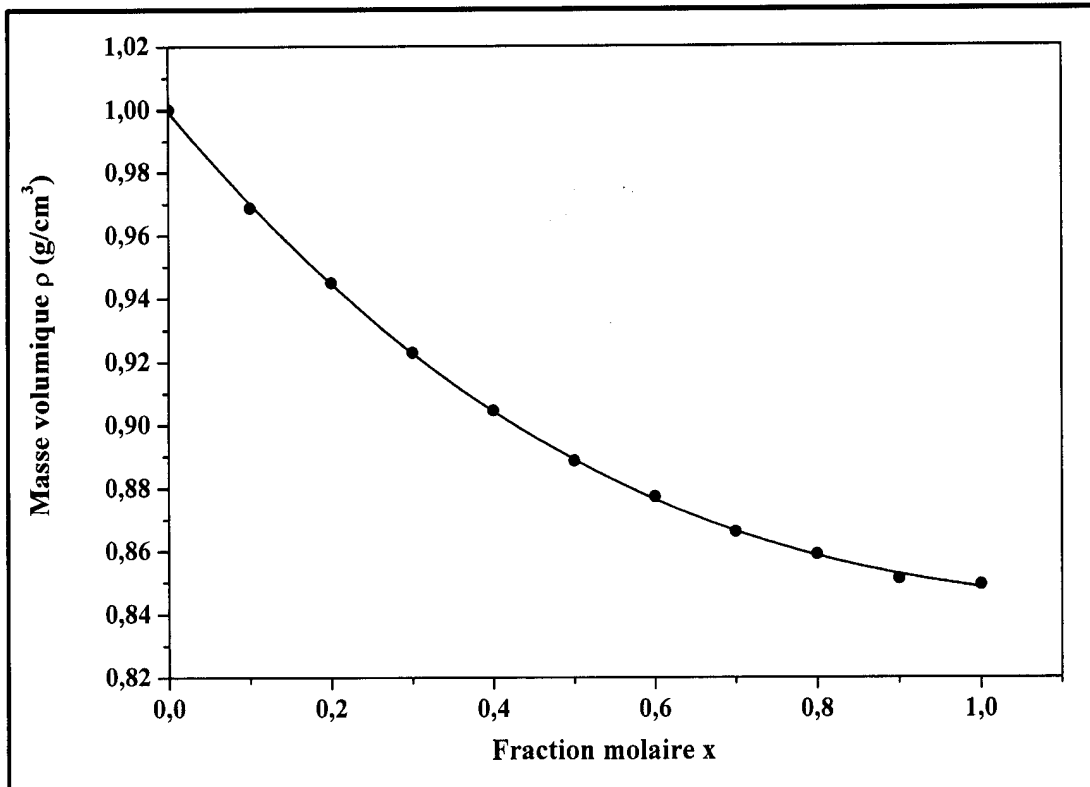


Figure 5

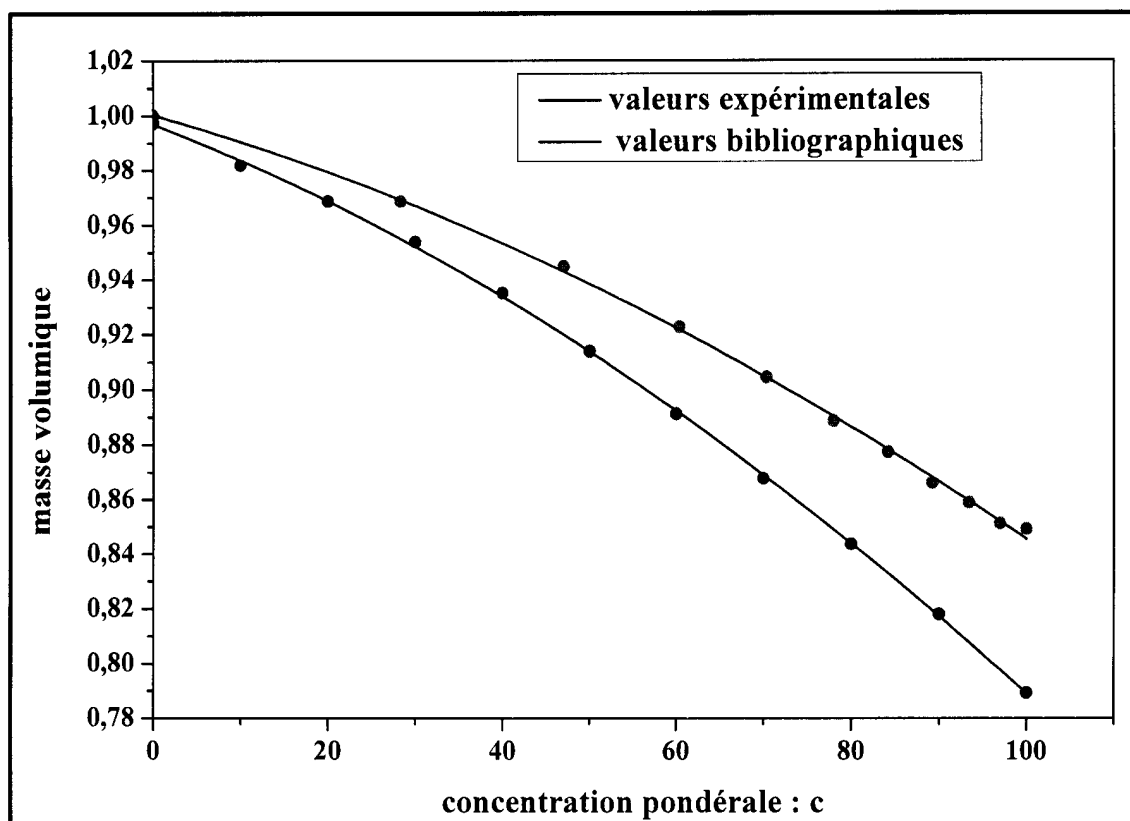


Figure 6



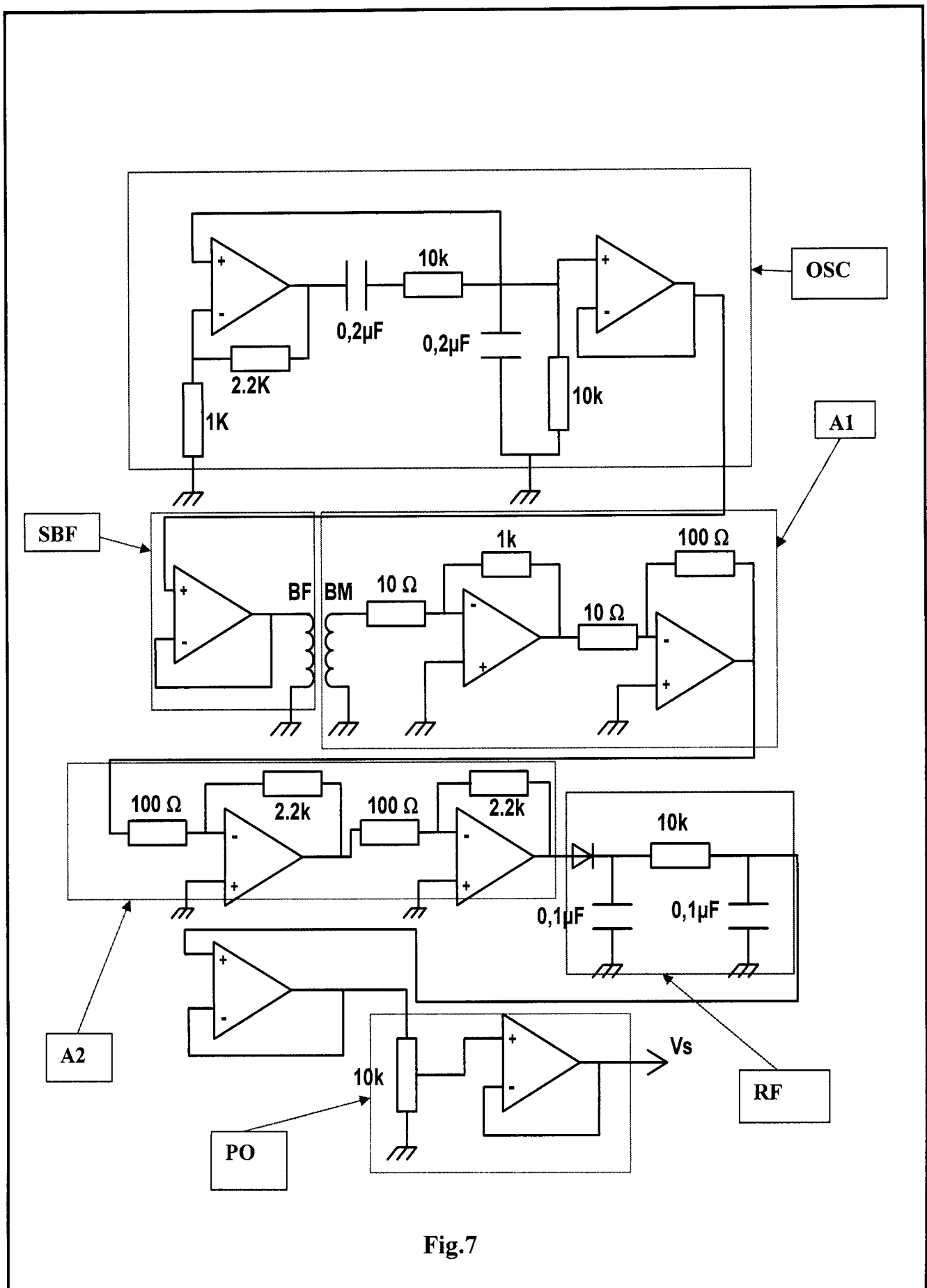
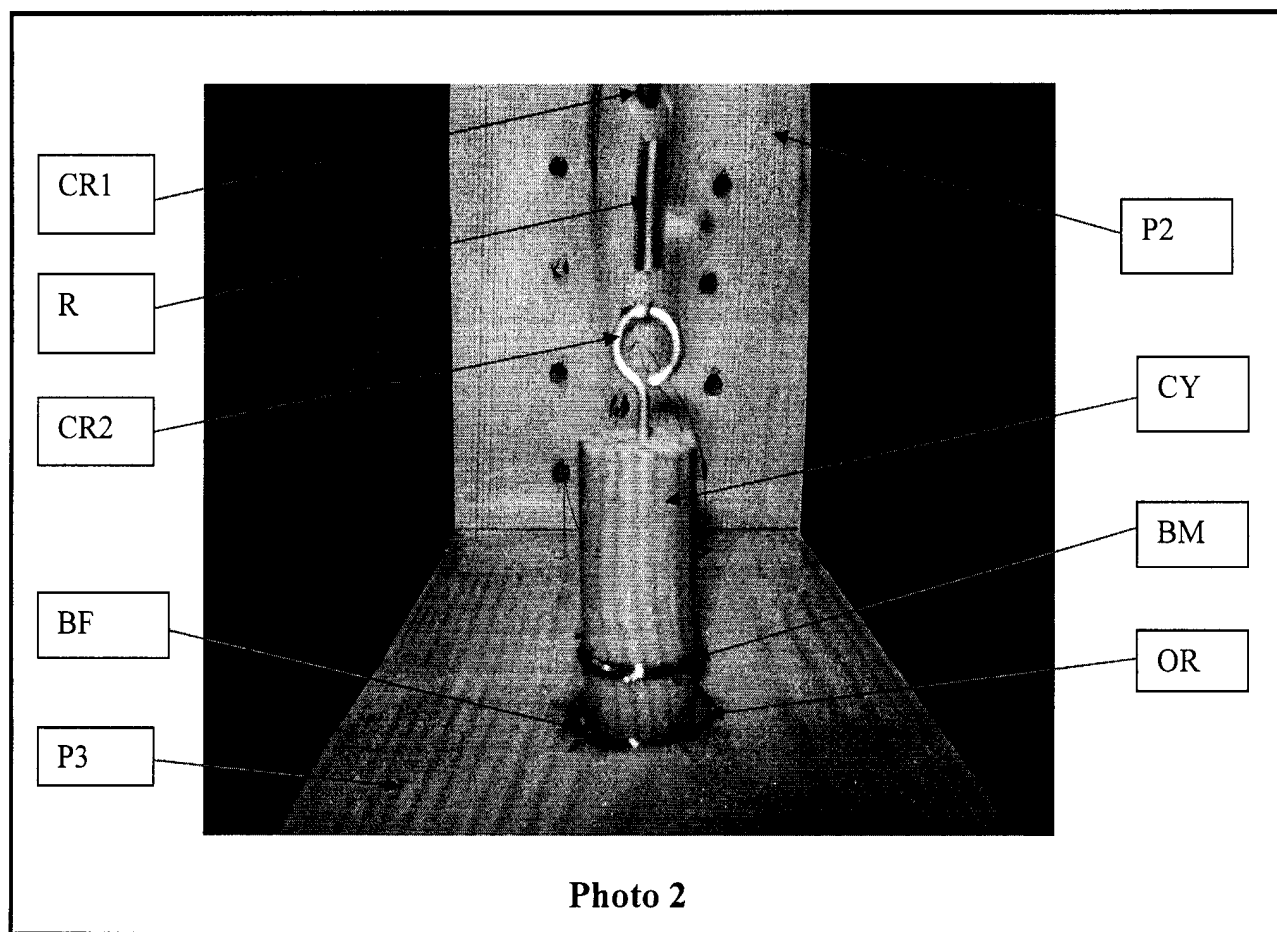
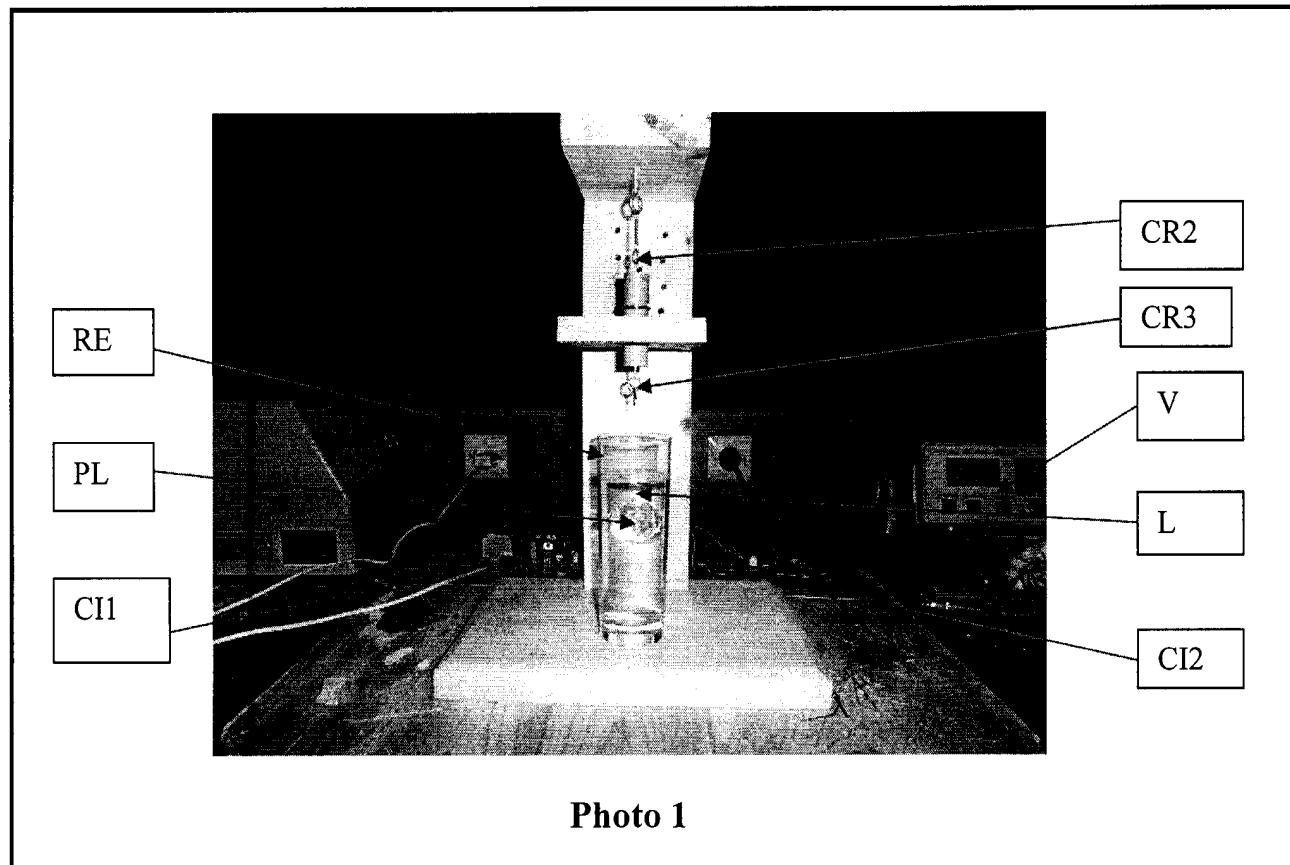


Fig.7



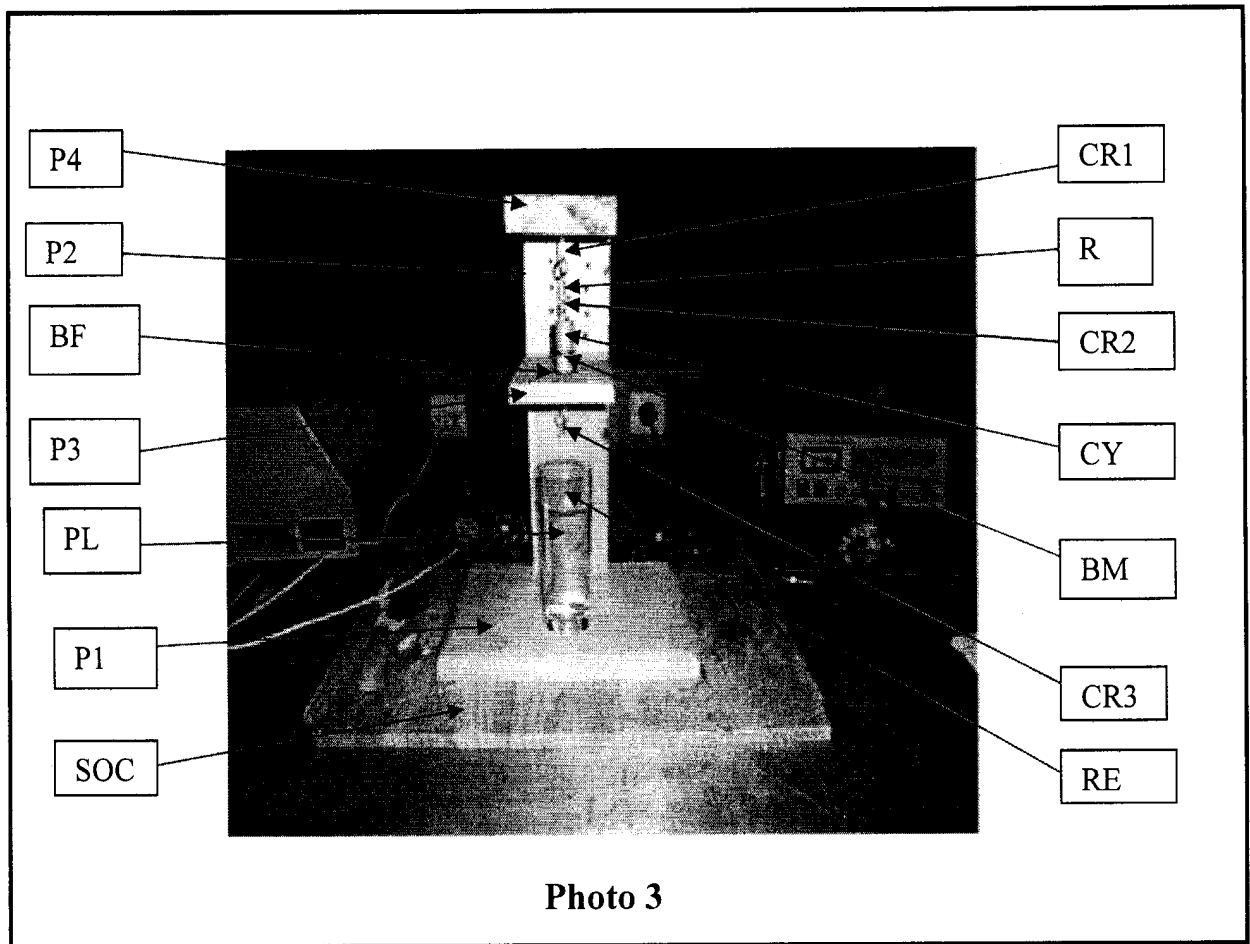


Photo 3

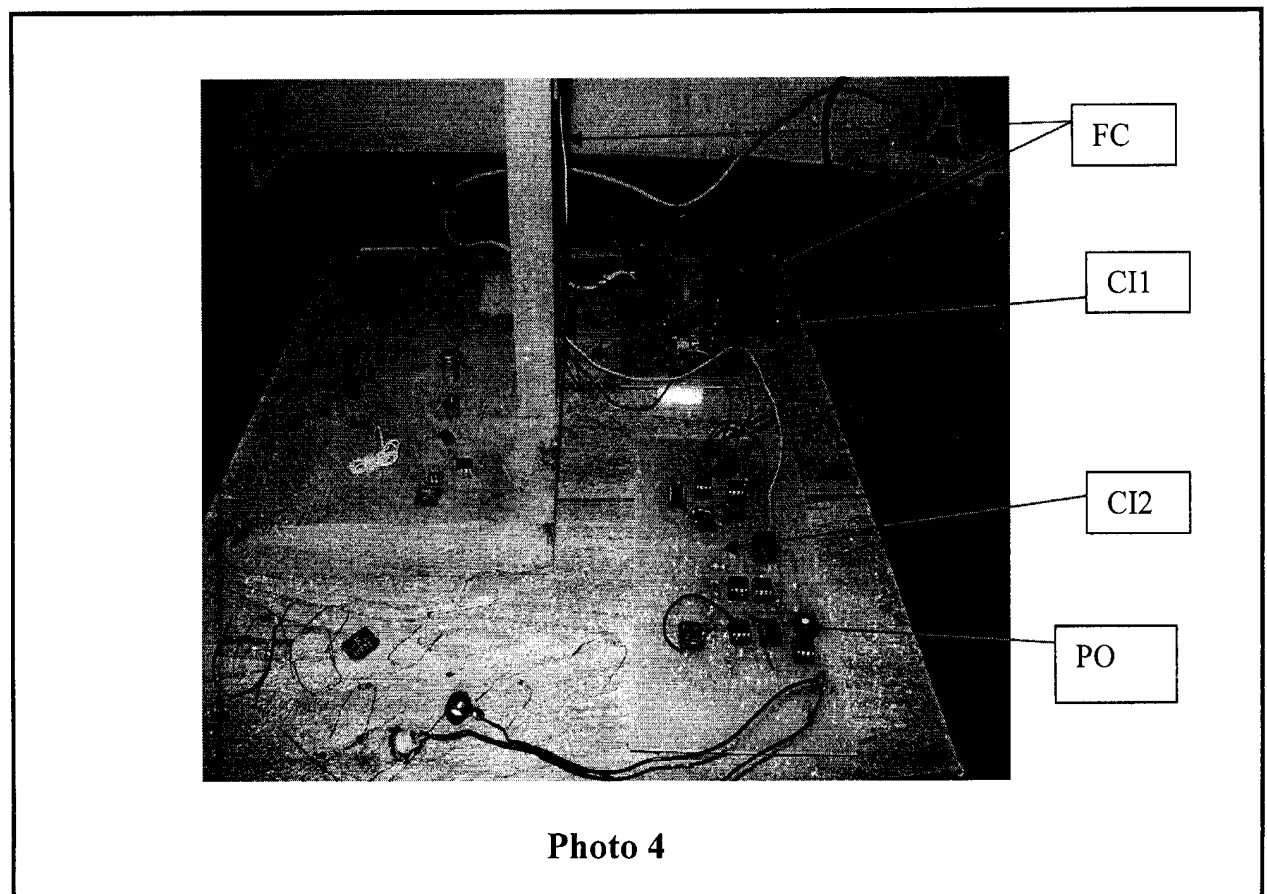


Photo 4