

# Mécanique

Statique

# ***Mechanics***

*Statics*

Ref :  
322 014

Français – p 1

English – p 9

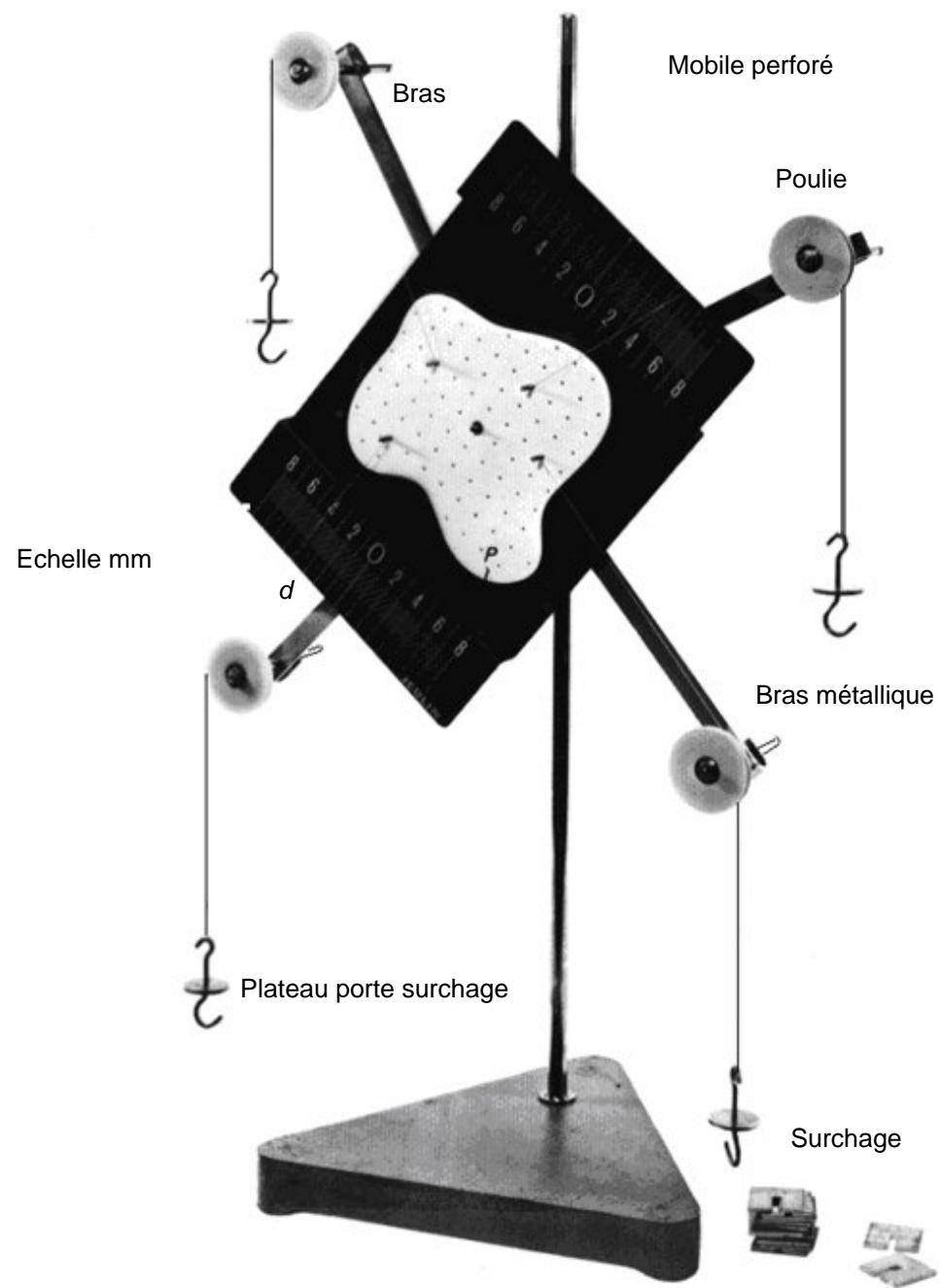
Version : 9001

**Appareil des moments des  
forces sans support**

***Apparatus for the study of moments  
without a support***

Mécanique  
**Appareil des moments des  
forces sans support**  
Ref :  
322 014

JEULIN



### **Appareil monté avec poulies et surcharges.**

Noter l'orientation quelconque des bras métalliques supportant les poulies, et la lecture qui se fait directement sur le plateau (pivotant) au mm près.

Cet appareil permet de mettre en évidence, et de mieux comprendre, dans une première étude de la statique - en cours et en Travaux Pratiques - le rôle des différents paramètres qui interviennent dans l'équilibre d'un corps mobile autour de son centre de gravité.

- Mise en évidence des moments.
- Forces issues de masses ou de dynamomètres.  
Les forces  $F$  peuvent être très facilement appliquées en de nombreux points du mobile. Ces forces peuvent être :
  - verticales (poids des surcharges) ;
  - de directions quelconques, orientables par pivotement d'un bras métallique indépendant.

La mesure de la distance "d" de l'axe de rotation au support de la force se lit directement et précisément, sur le plateau gradué.

- Etude de l'équilibre.
- Notion de couple.
- Théorème des moments.

**Remarque :** Les manipulations décrites dans cette notice sont réalisables, soit avec des masses, soit avec des dynamomètres.

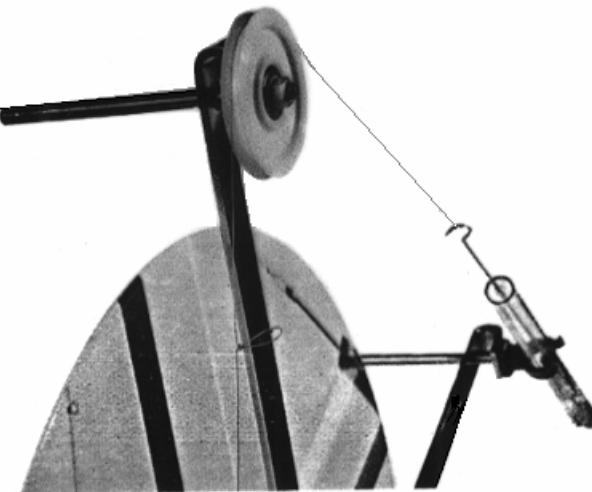
## **1 Principe - description**

### **1. Ensemble corps mobile - échelle - bras**, monté sur tige nickelée ( $\varnothing 14$ mm).

Le corps mobile de forme quelconque est une plaque en P.V.C. montée sur roulement très sensible. Elle est perforée sur toute sa surface de trous distants de 15 mm, suivant deux directions rectangulaires pouvant servir à repérer les coordonnées d'un trou. Il a été lesté de façon à ce que son centre de masse se trouve sur l'axe de rotation  $\Delta$  (équilibre indifférent).

Un plateau métallique rectangulaire, orientable, à frottements gras, porte sur ses petits côtés deux graduations parallèles (80, 0,80) en mm. La ligne des zéros passe constamment par l'axe de rotation  $\Delta$ , *cette échelle permet la mesure immédiate de d.*

Quatre bras métallique nickelés, fixés séparément sur une petite plaque carrée, pivotent, frottement gras, indépendamment les uns des autres. L'extrémité recourbée de ces bras est percée de 2 trous dans lesquels on peut introduire une tige de 6 mm de diamètre.



**2. Poules**,  $\varnothing$  50 mm, à roulement très sensible, montées sur tige ( $\varnothing$  6 mm). En cas de voilage, réenclencher à la main le disque de P.V.C. sur la cage de roulement.

**3. Dynamomètres** 1 N et leurs clips montés sur tige ( $\varnothing$  6 mm). Placer le centre de masse du dynamomètre sur l'axe du clip.

**4. Goujons très légers** (masse < 1 dg) à planter dans les perforations de la plaque et à relier par des fils aux plateaux (masse 20 g) portant les surcharges (20 g chacune) ou aux dynamomètres.

On réalisera avec soin le parallélisme du fil qui matérialise la ligne d'action de la force  $\vec{F}$  étudiée, avec :

- le plan de la plaque, en enfonçant plus ou moins la tige de la poulie ou du clip ;
- les traits de la graduation du plateau, orienté à cet effet lors de la mesure de la distance "d" de la ligne d'action de  $\vec{F}$  à l'axe  $\Delta$ . Diminuer les erreurs de parallaxe en enfonçant bien les goujons.

## 1.1 Composition de l'ensemble 322 014

- 1 ensemble mobile - échelle - bras.
- 4 poules avec 4 goujons et 4 fils.
- 4 dynamomètres 1 N avec 4 clips, 4 goujons et 4 fils.
- 4 plateaux porte surcharges et 12 surcharges de 20 g chacune.

**Important** : les roulements à billes sont utilisés secs pour réduire les frottements. Ne pas les huiler.

## 1.2 Accessoires complémentaires

- 1 support universel (701 030 ou 701 031) et une noix de serrage (703 099) pour fixer l'axe de l'appareil horizontalement.
- 1 boîte de masses marquées à crochet (703 016) totalisant 550 g.

## 1.3 Accessoires de rechange

- Pouliées 323017
- Dynamomètres 322049
- Lot 6 jeux de fils et goujons 323 021
- Figure quelconque
- Lot 4 axes pour dynamomètres

## 2 Manipulations

### 2.1 Moment d'une force par rapport à un axe

#### 2.1.1 Notion de moment

La plaque étant en équilibre indifférent, constater en plaçant un objet très léger (par exemple un petit morceau d'allumette de 15 mm dans une de ses perforations que l'équilibre n'est pas modifié (à cause des frottements inévitables) si le trou est voisin de l'axe, tandis que la plaque tourne si le trou utilisé est plus excentré.

Opérer avec différentes lignes de trous (horizontale, oblique, verticale) pour montrer que l'action d'une force, dans la rotation d'un solide mobile autour d'un axe  $\Delta$  dépend de la distance "d" de son support à  $\Delta$ , et non pas de la distance axe-point d'application de la force.

Vérifier que, quelle que soit l'intensité de la force, celle-ci ne modifie pas l'équilibre de la plaque si sa ligne d'action rencontre l'axe  $d = 0$ .

#### 2.1.2 Expression du moment

Lester la plaque. (Appliquer une force  $\vec{F}$  à un goujon quelconque).

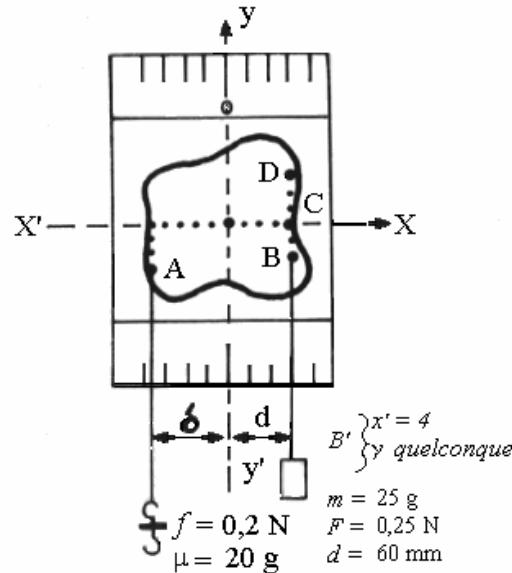
##### Exemple :

$\mu = 0,20 \text{ N}$  ;  
 $A (X = -5, Y = -3)$ .

Par l'intermédiaire d'un deuxième goujon B, appliquer une force  $\vec{F}$ . Une fois la plaque immobile, repérer sa position d'équilibre par la valeur de  $\delta$ . Mesurer la distance d.

Si la direction de la force  $\vec{F}$  rencontre plusieurs trous B, C... montrer que, la force gardant même intensité et même direction, le déplacement du goujon de B en C... ne modifie pas l'équilibre (expérience facile avec une force oblique).

Donner d'autres positions, quelconques, au goujon B et modifier l'intensité ou la direction de la force (ou les deux) pour retrouver le même équilibre : montrer que les produits  $F.d$  sont constants et caractérisent l'action d'une force dans l'équilibre de la plaque mobile autour de l'axe.



## 2.2 Théorème des moments

### 2.2.1 Addition des moments

Plaque lestée : même goujon A, même force  $\vec{f}$ ,  
 même équilibre (même  $\delta$  que précédemment).

Faire intervenir simultanément deux forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  par l'intermédiaire de deux goujons  $B_1$  et  $B_2$ . Mesurer les distances  $d_1$  et  $d_2$ .

En tenant compte de la convention de signe, évaluer les moments :

$M_1 = F_1 \cdot d_1$  force  $F_1$  ;

$M_2 = F_2 \cdot d_2$  force  $F_2$  ;

comparer la somme  $M_1 + M_2$  à la valeur du produit  $M = F \cdot d$  de l'expérience précédente. Réaliser plusieurs combinaisons de forces  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  correspondant au même équilibre de la plaque, les moments  $M_1$  et  $M_2$  étant de même signe ou de signes contraires.

### 2.2.2 Condition d'équilibre de la plaque

Faire l'inventaire des forces appliquées à la plaque en tenant compte de la force  $f$ . Calculer son moment  $M' = f \cdot \delta$ .

Vérifier que :  $M' = -M$  ;

soit :  $M + M' = 0$  ;

ou encore  $M' + M_1 + M_2 = 0$ .

Généraliser le résultat précédent, énoncer le théorème des moments.

Dans les deux cas la ligne de trous  $xx'$  est horizontale : même position d'équilibre pour la plaque (même valeur de  $\delta = 75$  mm)

## 2.3 Couple

Pour cette étude, lever la plaque et conserver le même équilibre : même gousset, même masse  $\mu$ , même valeur de  $\delta$ .

### 2.3.1 Bras de levier du couple (figure 3)

Appliquer avec un gousset  $B_1$  une force  $\vec{F}_1$  telle qu'à l'équilibre le support de  $\vec{F}_1$  soit parallèle à l'une des lignes de perforations, soit  $YY'$ .

Choisir un trou  $B_2$  de la ligne  $YY'$  passant par l'axe de rotation  $\Delta$ , y planter un gousset et appliquer une force  $\vec{F}_2$  parallèle à  $\vec{F}_1$  de même intensité mais de sens contraire (Assurer le parallélisme des fils correspondant à  $\vec{F}_1$  et à  $\vec{F}_2$  avec les graduations du plateau orientable.)

L'équilibre n'est pas modifié puisque  $d_2 = 0$ . Il est conservé quand,  $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  restant parallèles et de même intensité, le bras de levier du couple,  $D$ , reste constant, par exemple :

- $\vec{F}_1$  et  $\vec{F}_2$  restant parallèles à  $YY'$ , déplacer  $B_1$  et  $B_2$  d'un même nombre de trous dans la direction  $XX'$  et dans le même sens ;
- si la direction commune devient parallèle à  $XX'$ , conserver  $B_1$  la position de  $B_2$  est facilement trouvée.

### 2.3.2 Expression du couple

Appliquer successivement les couples, de directions quelconques :

$F_1, F_2$       bras de levier  $D$

$F'_1, F'_2$       bras de levier  $D'$

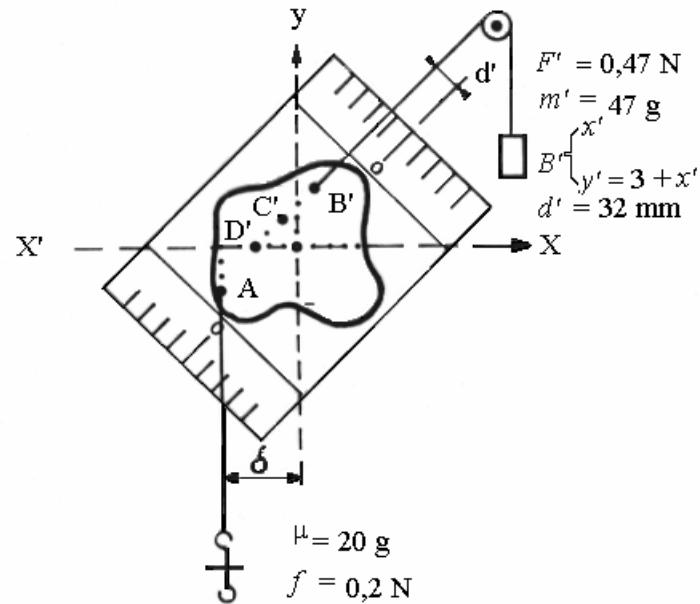


Fig. 2

Vérifier que :

$$F_1 \cdot D = F'_1 \cdot D' = C$$

Ces produits représentent les moments respectifs des couples appliqués, puisque ce moment se réduit au moment de l'une des forces quand le support de l'autre rencontre l'axe.

### 2.3.3 Addition de couples

Appliquer simultanément deux couples et vérifier que la somme de leurs moments est égale à C.

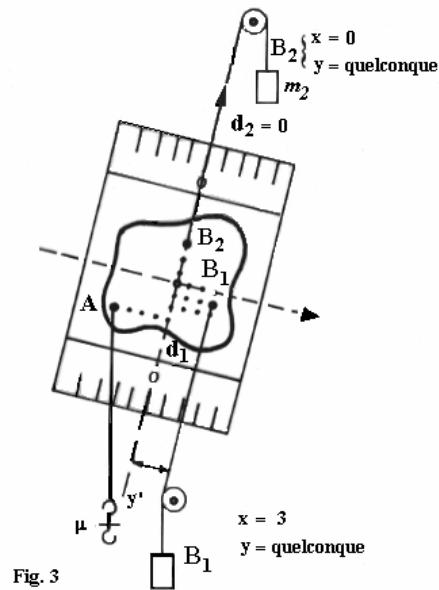


Fig. 3

### 2.3.4 Généralisation du théorème des moments

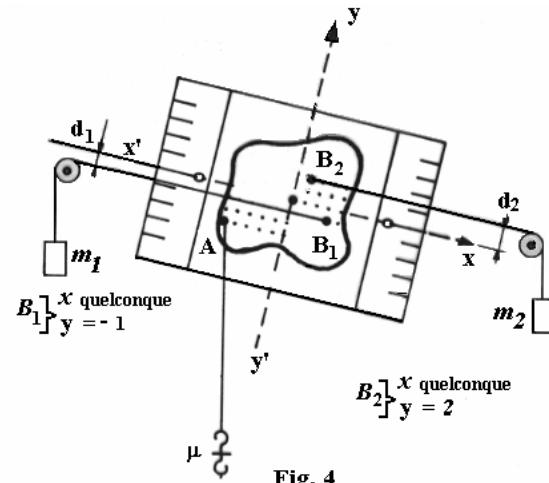


Fig. 4

$$A \{ \begin{aligned} x &= -4 \\ y &= -3 \end{aligned}$$

$$\mu = 30 \text{ g}$$

$$\delta = 63 \text{ mm}$$

$$m_1 = m_2 = 42 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} d_1 &= 45 \text{ mm} & d_2 &= 0 \\ d_1 &= -15 \text{ mm} & d_2 &= 30 \text{ mm} \end{aligned} \quad \{ \quad D = |d_1 - d_2| = 45 \text{ mm}$$

Dans les deux cas, même équilibre pour la plaque.

## 2.4 Précision des mesures

Les incertitudes sont de l'ordre de :

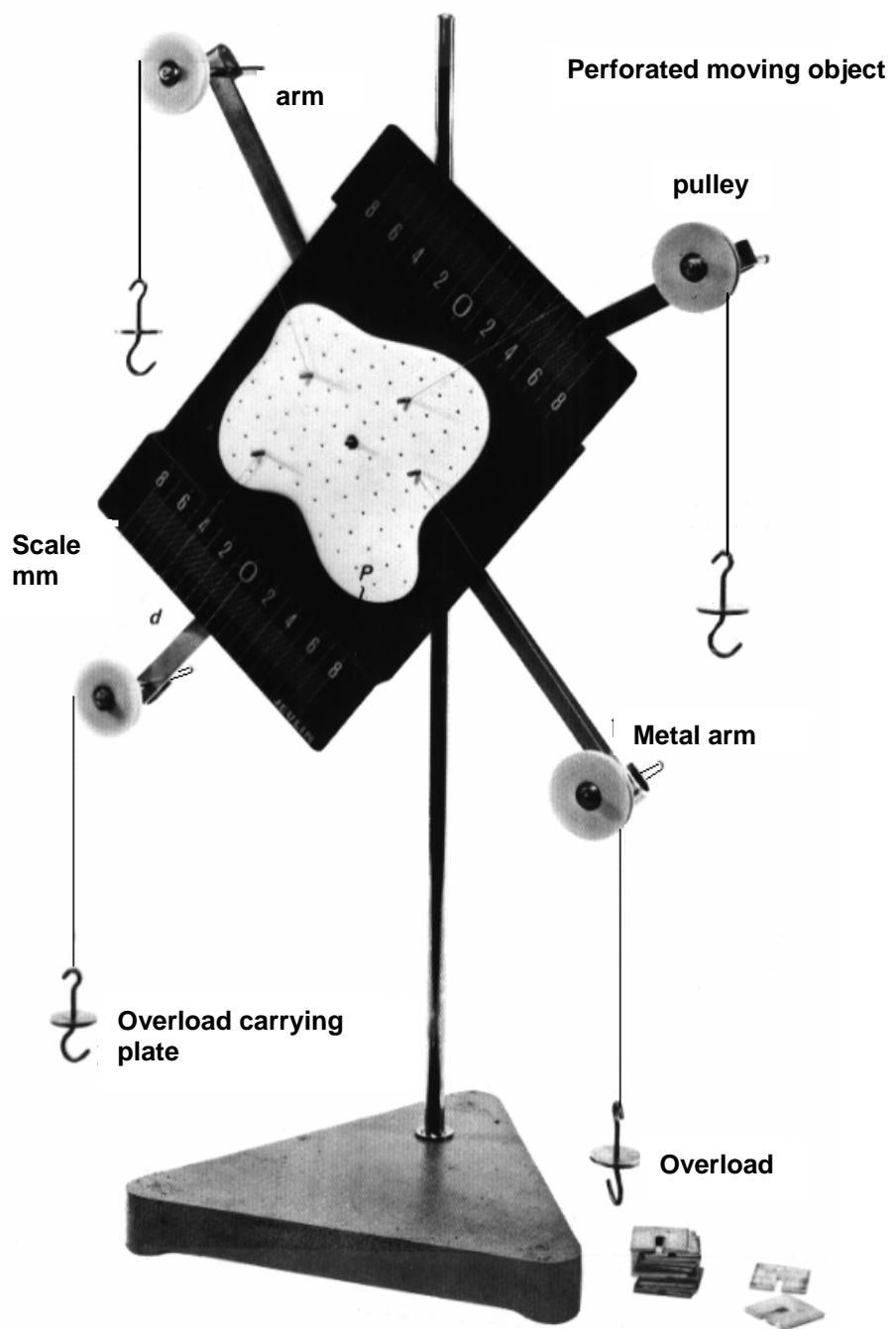
- 1 dg sur la valeur des masses (goujon, frottements) ;
- 5 % sur la valeur des forces mesurées avec des dynamomètres ;
- 0,5 mm sur la mesure des longueurs d, D

d'où une précision de l'ordre de 2 à 3 % sur la valeur du moment d'un poids, et de l'ordre de 6 % dans le cas d'un dynamomètre.

## 3 Service après vente

La garantie est de 2 ans, le matériel doit être retourné dans nos ateliers. Pour toutes réparations, réglages ou pièces détachées, veuillez contacter :

**JEULIN - SUPPORT TECHNIQUE**  
**Rue Jacques Monod**  
**BP 1900**  
**27 019 EVREUX CEDEX FRANCE**  
**+0 825 563 563 \***  
 \* 0,15 € TTC/ min à partir d'un poste fixe



Apparatus set up with pulleys and overload.

Note the arbitrary orientation of the metal arms that carry the pulleys and the direct reading to within one mm on the slewable plate.

This apparatus is used to demonstrate and understand in a first approach to statics – both during courses and lab work – the role of the various parameters involved in the equilibrium of an object moving about its centre of gravity.

- Observation of moments
- Forces from masses or dynamometers

The forces  $F$  can be applied very easily at numerous points on the moving member. These forces can be :

- vertical (weight of the overloads);
- any direction, slewable by rotating an independent metal arm

The value of the distance “ $d$ ” of the rotation axis to the support of the force is read directly and accurately on the graduated plate.

- Study of equilibrium
- Notion of couple
- Theorem of moments

**Note :** The experiments described herein can be performed either with masses or with dynamometers.

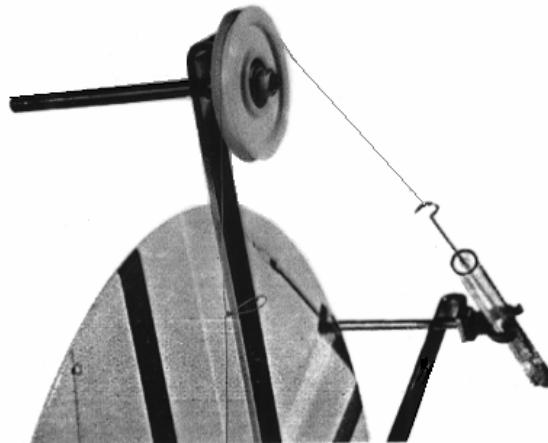
## 1 Principle – description

**1. Moving member –scale –arm assembly**, mounted on a nickel-plated rod (dia. 14 mm).

The moving member is a PVC plate with an arbitrary shape mounted on a highly sensitive ball bearing. It is perforated over its whole surface with holes 15 mm apart along two rectangular directions that can be used to locate the coordinates of a hole. The plate is ballasted so that its mass centre is on the rotation axis  $\Delta$  (indifferent equilibrium).

A slewable rectangular metal plate with hydraulic friction carries two parallel graduations in mm (80, 0.80) on its smaller sides. The zero line passes at any time through the rotation axis  $\Delta$ , *this scale allows the immediate measurement of  $d$* .

Four nickel-plated metal arms separately mounted on a small square plate are independently slewable with hydraulic friction. The curved end of the arms has 2 holes in which a rod 6 mm in diameter can be inserted.



**2. Pulleys**,  $\varnothing$  50 mm with highly sensitive ball bearings, mounted on a rod  $\varnothing$  6 mm. In case of wobble, recouple by hand the PVC disk onto the bearing cage.

**3. Dynamometers**, 1 N and their clips mounted on a rod ( $\varnothing$  6 mm). Place the mass centre of the dynamometer on the clip axis.

**4. Very light studs** (mass < 1 dg) to be inserted into the plate perforations and connected by means of wires to the plates (mass 20 g) that carry the overloads (20 g each) or to dynamometers.

Ensure that the wire that materialises the line of action of the force  $\vec{F}$  under study is perfectly parallel to :

- The plane of the plate, by driving the pulley rod more or less in ;
- The graduation lines of the plate oriented for that purpose during the measurement of the distance "d" of the line of action of  $\vec{F}$  relative to the axis  $\Delta$ . Reduce parallax errors by driving the studs fully in.

## 1.1 Composition of the system P/N 322 014

- 1 moving member – scale – arm assembly
- 4 pulleys with 4 studs and 4 wires
- 4 dynamometers, 1 N with 4 clips, 4 studs and 4 wires.
- 4 overload carrying plates and 12 overloads of 20 g each.

**Important** : the ball bearings are used dry in order to reduce the friction forces. Do not lubricate them.

## 1.2 Additional accessories

- 1 universal stand (P/N 701 030 or 701 031) and 1 fastening fixture (P/N 703 245) to secure the apparatus spindle horizontally.
- 1 box of marked masses with hook (P/N 703 016) totalling 550 g.

### 1.3 Spare accessories

- Pulleys P/N 323 017
- Dynamometers P/N 322 049
- 6 sets of wires and studs P/N 323 021
- Arbitrary figure P/N 323 023
- Set of 4 dynamometer spindles P/N 323 022

## 2 Experiments

### 2.1 Moment of a force relative to an axis

#### 2.1.1 The notion of moment

With the plate at indifferent equilibrium, insert a very light object (e.g. a small piece of match 15 mm in length) into one of the plate perforations and observe that the equilibrium is not modified (because of the inevitable friction) if the selected hole is close to the axis, and that the plate turns if the selected hole is farther off centre.

Use different rows of holes (horizontal, oblique, vertical) to demonstrate that the action of a force on the rotation of a solid moving about an axis  $\Delta$  is dependent on the distance "d" of its support relative to  $\Delta$  and not to the distance between the axis and the point of application of the force.

Verify that, irrespective of its intensity, the force does not alter the equilibrium of the plate if its line of action meets the axis  $d = 0$ .

#### 2.1.2 Expression of moment

Ballast the plate (Apply a force  $\vec{F}$  to an arbitrary stud)

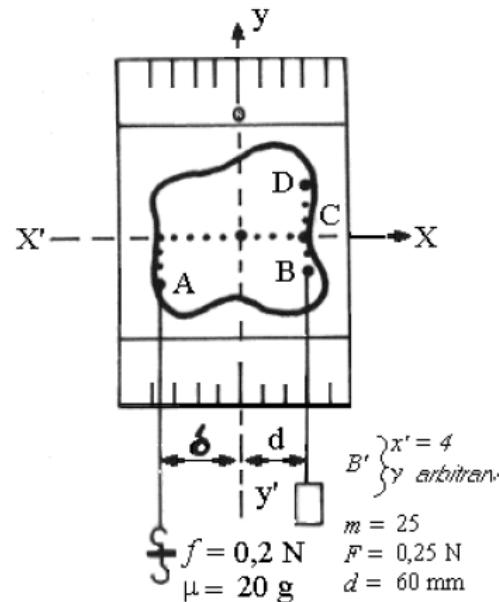
Example:

$\mu = 0,20 \text{ N}$ ;  
 $A(X = 5, Y = -3)$ .

Using a second stud B apply a force  $\vec{F}$ . Once the plate is stationary, locate its equilibrium position by the value of  $\delta$ . Measure the distance  $d$ .

If the direction of the force  $\vec{F}$  meets several holes B, C... demonstrate that, for the same intensity and direction of the force, moving the stud from B to C... will not alter the equilibrium (experiment easily performed with an oblique force).

Use other arbitrary positions for stud B and modify the intensity or direction of the force (or both) to restore the same equilibrium : demonstrate that the products  $F \cdot d$  are constant and characterise the action of a force on the equilibrium of the plate moving about the axis.



## 2.2 Theorem of moments

### 2.2.1 Addition of moments

Ballasted plate: same stud A, same force  $\vec{f}$ ,  
 same equilibrium (same  $\delta$  as above).

Simultaneously apply two forces  $\vec{F}_1$  and  $\vec{F}_2$  via two studs  $B_1$  and  $B_2$ .  
 Measure the distances  $d_1$  and  $d_2$ .

By following the sign convention, evaluate the moments:

$$\begin{aligned} M_1 &= F_1 \cdot d_1 & \text{force } F_1; \\ M_2 &= F_2 \cdot d_2 & \text{force } F_2; \end{aligned}$$

Compare the sum  $M_1 + M_2$  to the value of the product  $M = F \cdot d$  obtained in the previous experiment.

Use several combinations of forces  $\vec{F}_1$  and  $\vec{F}_2$  corresponding to the same plate equilibrium, the moments  $M_1$  and  $M_2$  having identical or opposite signs.

### 2.2.2 Plate equilibrium condition

List the forces applied to the plate by taking force  $f$  into account. Calculate its moment  $M' = f \cdot \delta$ .

$$\begin{aligned} \text{Verify that : } M' &= -M; \\ \text{or : } M + M' &= 0; \\ \text{or else } M' + M_1 + M_2 &= 0 \end{aligned}$$

Generalise the above result and express the theorem of moments.

In both cases the row of holes  $xx'$  is horizontal : same equilibrium position for the plate (same value of  $\delta = 75$  mm)

## 2.3 Couple

For this study, ballast the plate and keep the same equilibrium: same stud, same mass  $\mu$ , same value of  $\delta$ .

### 2.3.1 Lever arm of the couple (figure 3)

Using a stud  $B_1$ , apply a force  $\vec{F}_1$  such that the support of  $\vec{F}_1$  is parallel at equilibrium to one of the perforation rows, or  $YY'$ .

Select a hole  $B_2$  in the row  $YY'$  passing through the rotation axis  $\Delta$ , insert a stud therein and apply a force  $\vec{F}_2$  parallel to  $\vec{F}_1$  and having the same intensity but an opposite direction (ensure that the wires corresponding to  $\vec{F}$  and  $\vec{F}_2$  are parallel to the graduations on the slewing plate).

The equilibrium is not modified since  $d_2 = 0$ . It is maintained when, with  $\vec{F}_1$  and  $\vec{F}_2$  remaining parallel and of the same intensity, the lever arm of the couple,  $D$ , remains constant, e.g.:

- With  $\vec{F}_1$  and  $\vec{F}_2$  kept parallel to  $YY'$ , move  $B_1$  and  $B_2$  by an equal number of holes in the direction  $XX'$  and in the same direction;
- If the common direction becomes parallel to  $XX'$ , maintain  $B_1$ , the position of  $B_2$  can be found easily.

### 2.3.2 Expression of the couple

Apply in succession the following couples with arbitrary directions :

$F_1, F_2$  lever arm D  
 $F'_1, F'_2$  lever arm D'

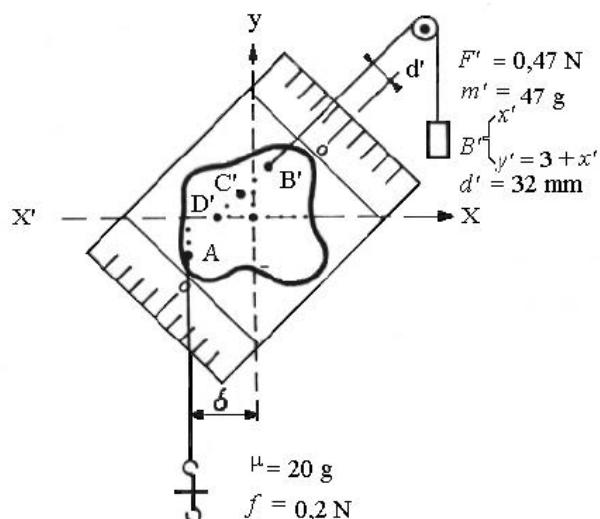


Fig. 2

Verify that:

$$F_1 \cdot D = F'_1 \cdot D' = C$$

These products represent the respective moments of the applied couples since this moment is reduced to the moment of one of the forces when the support of the other force meets the axis.

### 2.3.3 Addition of couples

Apply two simultaneous couples and verify that the sum of their moments is C.

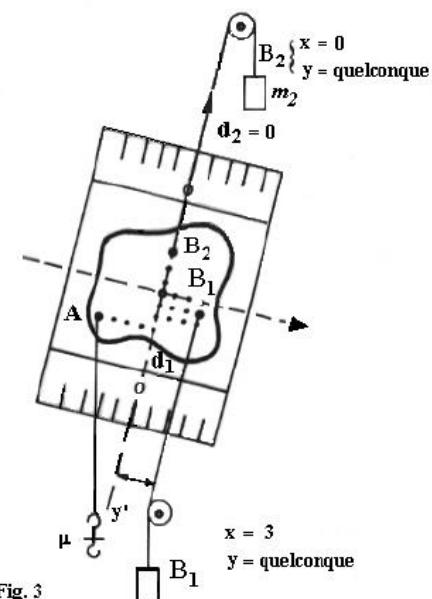


Fig. 3

### 2.3.4 Generalisation of the theorem of moments

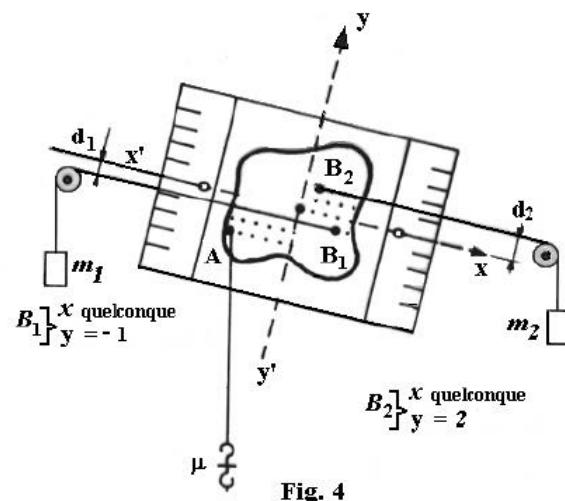


Fig. 4

$$A \{ \begin{aligned} x &= -4 \\ y &= -3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= 30 \text{ g} \\ \delta &= 63 \text{ mm} \\ m_1 &= m_2 = 42 \text{ g} \\ d_1 &= 45 \text{ mm} \quad d_2 = 0 \quad \{ \\ d_1 &= -15 \text{ mm} \quad d_2 = 30 \text{ mm} \quad \{ D = |d_1 - d_2| = 45 \text{ mm} \end{aligned}$$

Same plate equilibrium in both cases.

## 2.4 Measurement accuracy

The order of magnitude of the approximation is:

1 dg on the value of masses (stud, friction);  
5 % on the value of the forces measured with dynamometers;  
0,5 mm on the measurement of the lengths d, D

Hence an accuracy of approx. 2-3% on the value of the moment of a weight,  
and approx. 6% in the case of a dynamometer.

## 3 After-Sales Service

This material is under a two year warranty and should be returned to our stores in the event of any defects.

For any repairs, adjustments or spare parts, please contact:

**JEULIN - TECHNICAL SUPPORT**  
Rue Jacques Monod  
BP 1900  
**27 019 EVREUX CEDEX FRANCE**  
+33 (0)2 32 29 40 50

# Assistance technique en direct

## Une équipe d'experts à votre disposition du Lundi au Vendredi (8h30 à 17h30)

- Vous recherchez une information technique ?
- Vous souhaitez un conseil d'utilisation ?
- Vous avez besoin d'un diagnostic urgent ?

Nous prenons en charge immédiatement votre appel pour vous apporter une réponse adaptée à votre domaine d'expérimentation : Sciences de la Vie et de la Terre, Physique, Chimie, Technologie .

### Service gratuit \*

**0825 563 563** choix n° 3. \*\*

\* Hors coût d'appel : 0,15 € ttc / min.  
à partir d'un poste fixe.

\*\* Numéro valable uniquement pour  
la France métropolitaine et la Corse.

Pour les Dom-Tom et les EEE,  
utilisez le + 33 (0)2 32 29 40 50

### Aide en ligne : [www.jeulin.fr](http://www.jeulin.fr)

Rubrique FAQ



Rue Jacques-Monod,  
Z.I. n° 1, Netreville,  
BP 1900, 27019 Evreux cedex,  
France

Tél. : + 33 (0)2 32 29 40 00

Fax : + 33 (0)2 32 29 43 99

Internet : [www.jeulin.fr](http://www.jeulin.fr) - [support@jeulin.fr](mailto:support@jeulin.fr)

Phone : + 33 (0)2 32 29 40 49

Fax : + 33 (0)2 32 29 43 05

Internet : [www.jeulin.com](http://www.jeulin.com) - [export@jeulin.fr](mailto:export@jeulin.fr)

# Direct connection for technical support

## A team of experts at your disposal from Monday to Friday (opening hours)

- You're looking for technical information ?
- You wish advice for use ?
- You need an urgent diagnosis ?

We take in charge your request immediately to provide you with the right answers regarding your activity field : Biology, Physics, Chemistry, Technology .

### Free service \*

**+ 33 (0)2 32 29 40 50\*\***

\* Call cost not included

\*\* Only for call from foreign countries

