

SIÈGE SOCIAL,
USINES ET MAGASINS :
62-64, RUE ALEXIS-LÉPÈRE
MONTREUIL (SEINE)

EUROSAP DEYROLLE

MAISON FONDÉE EN 1831
SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 840.000 F

TÉLÉPHONE (AVROR 0671)
AVROR 08-73
N° REG. COM. 89-B-18
C. C. P. N° 17.366-42 PARIS
N° ENT. 285.780.48.0027

PENDULE DE TORSION POUR L'ÉTUDE DU MOMENT D'INERTIE ET DE L'AMORTISSEMENT

L'appareil permet :

- la mesure de la constante de torsion d'un fil métallique par la méthode des oscillations.
- la mesure du moment d'inertie d'un corps quelconque, admettant le fil comme axe de symétrie, par comparaison de sa période d'oscillation à celle des solides de référence dont le moment d'inertie est calculable.
- La vérification du théorème de Huygens
- l'étude de l'amortissement par frottement solide et par frottement fluide.

DESCRIPTION

L'appareil se compose d'un socle en croissant portant à l'arrière une colonne et à l'avant deux vis de réglage du niveau.

À la partie supérieure de la colonne est fixé un support horizontal sur lequel est montée une tige carrée verticale.

Une noix, pouvant être déplacée sur cette tige et immobilisée par un bouton de blocage, porte un mandrin à pince dans lequel est serré le fil de torsion.

À l'extrémité inférieure de ce fil est monté un deuxième mandrin sur la queue duquel on fixe le solide à étudier.

L'appareil est livré avec 3 fils en bronze spécial sans hystérésis mécanique de diamètre 1 - 1,5 - 2 mm.

Pour empêcher le solide de prendre un mouvement pendulaire, la queue du mandrin est guidée par un roulement à billes très sensible tenu dans le support horizontal.

Une lame de ressort montée sur un brossage du support sert à obtenir l'amortissement par frottement solide. Une vis permet de l'appliquer avec une pression plus ou moins forte sur la queue du mandrin. La partie en contact est garnie de téflon pour éviter le grippage.

L'amortissement par frottement fluide est obtenu par une palette fixée sous le solide à étudier, se déplaçant dans un récipient rempli d'eau.

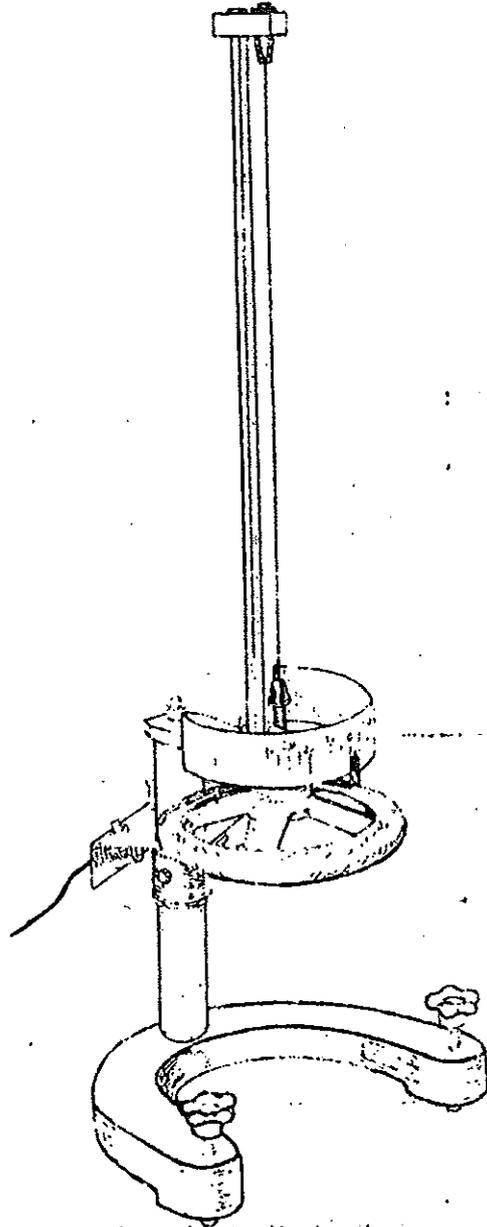
L'étude de l'amortissement peut se faire par deux méthodes :

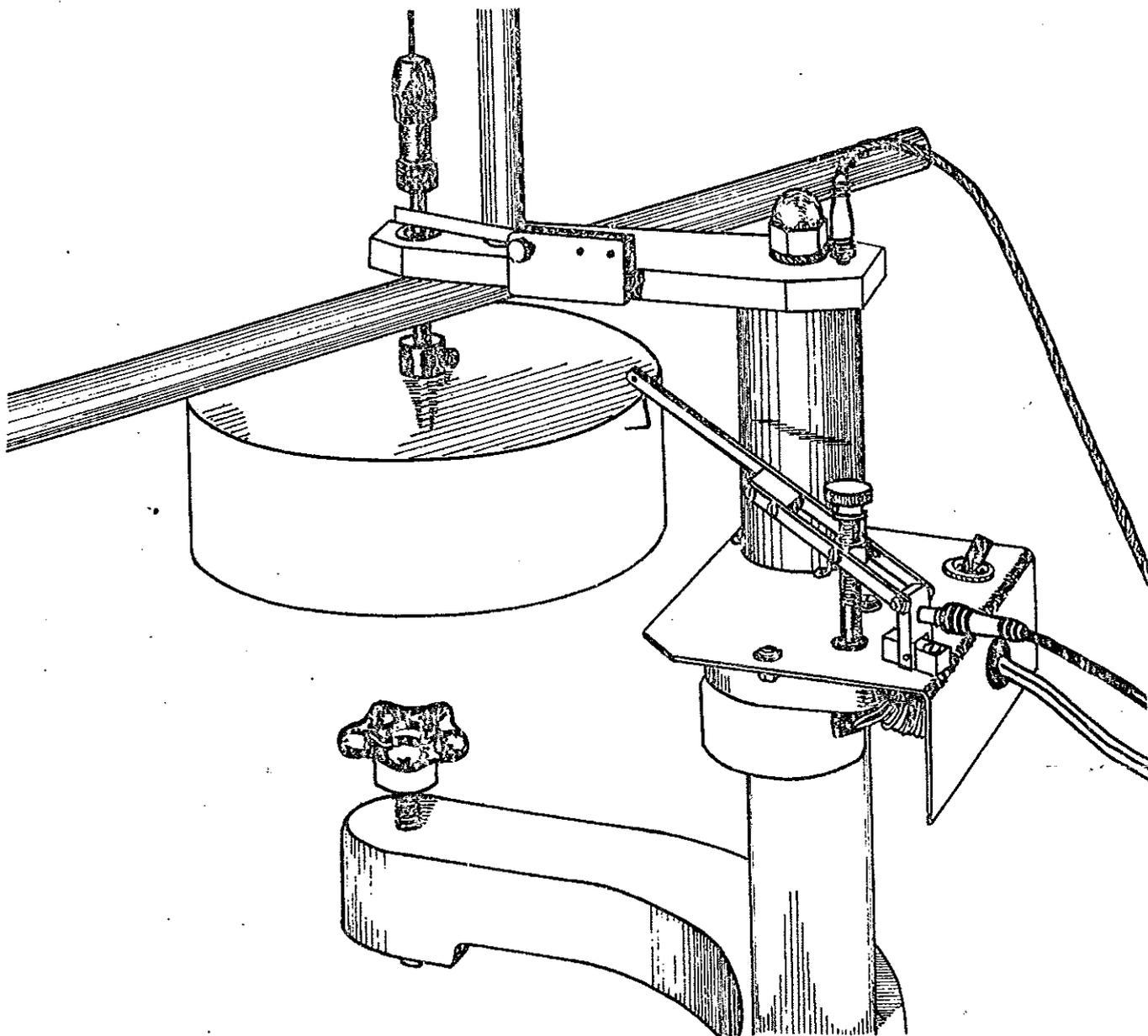
- 1°) Pour le cours, par lecture des amplitudes
- 2°) Pour les travaux pratiques, par enregistrement.

Pour le cours, la lecture des amplitudes se fait sur un tambour gradué en degré fixé sur le support horizontal. On mesure l'angle décrit par une aiguille solidaire du solide oscillant.

Pour les travaux pratiques, l'enregistrement se fait par étincelage sur une feuille de papier métallisé fixée sur un tambour métallique. Celui-ci est monté sous le solide oscillant.

2 1/2 300





Pour que l'enregistrement couvre la largeur du papier sans déborder, il faut que le temps d'enregistrement soit 1 m 30 sec à 1 mm 45 sec.

Mettre le ressort en pression en agissant sur la vis.

Ecarter la barre d'environ 45° de la position d'équilibre, la libérer et déclencher un chronomètre. Noter le temps quand l'oscillation s'arrête. S'il sort des limites fixées, augmenter ou diminuer la pression et vérifier par un autre essai.

Lorsque le freinage est convenablement réglé, desserrer la vis de blocage du dispositif d'enregistrement et le faire pivoter autour de la colonne pour amener le style articulé en pression sur le papier métallisé. Serrer la vis de blocage.

Amener le style à environ 5 mm du haut du papier en tournant la vis de déplacement du levier articulé, à l'aide du bouton moleté.

Connecter les fils rouge et bleu à la source de courant. Porter la barre à environ 45° de sa position d'équilibre. Mettre en marche le moteur en agissant sur l'interrupteur et lâcher la barre.

L'enregistrement donne une sinusoïde d'amplitude décroissante. On peut tracer sur papier millimétré la courbe des amplitudes ou des angles en fonction du temps ou du nombre de périodes.

b) Amortissement par frottement fluide.-

Le montage est semblable à celui décrit ci-dessus. Le freinage au lieu de se faire par la lame de ressort se fait par une palette se déplaçant dans l'eau.

Dévisser la vis de réglage pour que le ressort ne touche plus que la queue du mandrin et munir le tambour d'une feuille vierge de papier métallisé.

Adapter la palette à la tige dépassant sous le tambour d'enregistrement en engageant son échancrure dans la fente de la tige et en serrant le bouton moleté.

Mettre de l'eau dans un récipient, par exemple un cristalliseur à 2 litres. L'engager entre les 2 bras du socle et le soulever pour que la palette plonge dans l'eau. Mettre en-dessous une cale pour le maintenir à hauteur.

Le mode opératoire est identique à celui décrit en (a).

On peut reporter sur papier millimétré la courbe amplitude en fonction du temps.

Le dispositif d'enregistrement est fixé sur la colonne par une douille. Une bague le positionne en hauteur.

Il comprend, fixé sur une équerre métallique : un moteur électrique avec réducteur à vitesse lente, son interrupteur et son cordon d'alimentation, un levier articulé portant à son extrémité le style inscripteur. Il est animé d'un mouvement vertical descendant par une vis fixée sur l'axe du moteur.

Sont livrés avec l'appareil :

- le solide de moment d'inertie inconnu : c'est un volant de machine avec jante torique réunie au moyeu par 4 bras,
- un cylindre plat
- une barre cylindrique tenue en son milieu
- un solide en forme de H.

MONTAGE DE L'APPAREIL

L'appareil est livré dans un carton contenant :

- le socle avec la colonne
- un ensemble comprenant le support, le tambour gradué, la tige carrée, un fil de torsion et les 2 mandrins
- le dispositif d'enregistrement
- le tambour d'enregistrement
- le solide de moment d'inertie inconnu
- le cylindre plat
- la barre cylindrique
- le solide en H
- la palette pour amortissement fluide
- une aiguille de lecture
- une clé à manche pour la fixation des solides
- 4 pinces de 2 diamètres différents pour mandrin
- un rouleau de papier métallisé
- 2 cordons électriques

S'assurer que le moteur du dispositif d'enregistrement est branché pour la tension du secteur.

Les appareils sont normalement livrés en 220 Volts. Si nécessaire, modifier le branchement d'après le schéma fixé sur le moteur.

Branchement en 115 Volts :

- Fils jaune et rouge reliés ensemble à un des pôles du secteur.
- Fils bleu et blanc à l'autre pôle.

Branchement en 220 Volts :

- Fils bleu et jaune reliés ensemble
- Fil rouge à un pôle du secteur
- Fil blanc à l'autre pôle.

Poser le socle sur une table. Retirer l'écrou borgne, la rondelle éventail et la rondelle de collage se trouvant en haut de la colonne. Enfiler sur celle-ci le dispositif d'enregistrement, le levier articulé vers le haut.

Monter l'ensemble support-tige-fil de torsion sur la colonne en engageant la barre filetée dépassant de la colonne dans le trou du support. Mettre la rondelle éventail et serrer l'écrou borgne.

Orienter le support de façon que le prolongement du fil de torsion passe à égale distance des deux bras du socle. Bloquer l'écrou borgne.

Agir sur les vis de réglage du socle pour mettre le fil de torsion bien vertical (vérifier avec un fil à plomb).

CHANGEMENT DU FIL DE TORSION.

Pour changer le fil de torsion ou modifier sa longueur, procéder comme suit :

Après avoir démonté le solide suspendu au fil, défaire de l'appareil l'ensemble noix-fil de torsion-mandrin inférieur. Pour cela desserrer la vis de blocage de la noix et tirer l'ensemble vers le haut, il se dégage aisément.

Le poser sur la table et avec les clés livrées avec l'appareil, desserrer les mandrins. On peut démonter le fil ou modifier sa longueur que l'on mesurera au réglet.

L'appareil est livré avec trois séries de pinces s'adaptant dans les mandrins :
la plus petite serre des fils de 1 à 1,5 mm de diamètre
la moyenne des fils de 1,5 à 2 mm de diamètre
la grosse des fils de 2,5 à 3 mm de diamètre.

Bien serrer les mandrins à la clé et remonter l'ensemble en bloquant la noix dans une position telle que la base du mandrin inférieur se trouve à 10 mm au dessus du roulement à billes.

ETUDE DE LA CONSTANCE DE TORSION D'UN FIL

Un solide de forme géométrique simple, dont il est facile de calculer le moment d'inertie par rapport à un axe est attaché à l'extrémité du fil de torsion vertical, son axe se trouvant dans le prolongement du fil de torsion.

On fait osciller le solide autour de son axe et on mesure sa période T.

Son moment d'inertie étant calculé, la formule du pendule de torsion

$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{C}}$ nous donne le constante de torsion $C = \frac{4\pi^2 \cdot I}{T^2}$

Monter un fil sur l'appareil, par exemple : diamètre 2 mm longueur 500

S'assurer que la lame de ressort ne frotte pas sur la queue du mandrin. Pour faire osciller la barre, porter une extrémité à environ 45° de sa position d'équilibre, puis lâcher.

Mesurer la période T avec un chronomètre.

Le faible amortissement du système permet d'obtenir une bonne précision en mesurant le temps sur un grand nombre d'oscillations, par exemple un trentaine.

On considère la barre comme une droite oscillant autour d'un axe perpendiculaire en son milieu.

Son moment d'inertie massique est : $I = M \frac{R^2}{3}$

où M est la masse de la barre.

R la distance de l'axe à une extrémité.

Par suite de la formule du pendule de torsion on calcule la constante de torsion.

On peut vérifier le résultat en utilisant le cylindre plat.

Peser le cylindre et mesurer son rayon

Fixer le cylindre au fil et après avoir fait un repère sur une génératrice, mesurer sa période T2.

Ne pas faire tourner le cylindre de plus de 60° à partir de sa position d'équilibre sous peine de déformer le fil.

Le moment d'inertie du cylindre par rapport à son axe z est donné par la formule

$$I_z = \frac{M R^2}{2}$$

M = masse du cylindre

R = rayon du cylindre

I_z et T2 permettent de calculer la constante de torsion. La valeur de C doit être la même, aux erreurs près, que celle calculée avec la barre.

INFLUENCE DU DIAMETRE ET DE LA LONGUEUR DU FIL

En opérant de la même manière, on mesurera la constante de torsion de fils de même diamètre et de longueur différente, par exemple : diamètre 2 mm, longueur 250 mm.

puis la constante de torsion de fils de même longueur et de diamètre différent, par exemple : diamètre 1 mm, longueur 500 mm.

On vérifiera ainsi la formule : $C = \mu \frac{d^4}{l}$

ce qui donne pour la période $T = \frac{2\pi}{d^2} \sqrt{\frac{I_z l}{\mu}}$

Si on dispose de fils de même diamètre et d'une matière différente, par exemple acier, on pourra également constater l'influence de la matière.

MESURE DU MOMENT D'INERTIE DU VOLANT

Soit C la constante de torsion d'un fil, déterminée à partir de la période d'un solide de moment d'inertie calculable et T la période du volant oscillant autour de ce même fil, la formule du pendule de torsion donne le moment d'inertie cherché :

$$I = \frac{C T^2}{4 \pi^2}$$

VERIFICATION DU THEOREME DE HUYGENS

Le solide en forme de H permet une intéressante vérification du théorème de Huygens. Il peut être fixé au fil de manière à osciller soit dans le plan de ses bras, soit dans un plan perpendiculaire.

On constate que les deux périodes mesurées sont différentes.

On vérifie que ces valeurs expérimentales correspondent au calcul de la période :

1°) En considérant la masse des bras comme concentrée à leur centre de gravité.

2°) En tenant compte du moment d'inertie de ces bras par rapport à leur axe.

Mettre la vis à 6 pans creux dans le trou taraudé perpendiculaire au plan du H.

Le plan du H étant vertical, le fixer au fil de torsion.

Mesurer la période T_1 sur plusieurs oscillations..

a) Calcul de la période T_1 (le H dans un plan vertical).

On calcule le moment d'inertie par rapport à l'axe.

Pour simplifier le calcul on considère les éléments du H comme des droites sans épaisseur.

On pèse le profil et on mesure sa longueur développée.

On en tire la masse au mètre linéaire, puis la masse M du barreau central et celle m de chaque barre d'extrémité.

Si h est la distance du centre de gravité des barres d'extrémité à l'axe; r la distance de l'extrémité du barreau central à l'axe et I_0 , le moment d'inertie du barreau central, le moment d'inertie I_1 de l'ensemble est

$$I_1 = I_0 + 2 m h^2 \text{ dans lequel } I_0 = M \frac{r^2}{3}$$

et la période

$$T_1 = 2 \pi \sqrt{\frac{I_1}{C}}$$

b) Calcul de la période T_2 (H dans un plan horizontal)

On applique le théorème de Huygens.

$$I_2 = I_0 + 2 m h^2 + 2 J$$

J est le moment d'inertie d'une barre d'extrémité par rapport à son axe d'oscillation, c'est à dire son centre de gravité

$$J = m \frac{l^2}{3} \quad (l = \text{distance du centre de gravité à l'extrémité de la barre d'extrémité})$$

$$I_0 + 2 m h^2 = I_1 \quad (a)$$

$$I_2 = I_1 + m \frac{l^2}{3}$$

et la période devient

$$T_2 = 2 \pi \sqrt{\frac{I_1 + m \frac{l^2}{3}}{C}}$$

Le pôle - doit être relié au style inscripteur. Le papier métallisé est relié au pôle + par la masse de l'appareil.

IMPORTANT : Il faut veiller à ne pas mettre en contact le style ou son levier avec aucune partie métallique de l'appareil. On ferait alors un court-circuit risquant d'endommager le style et la source de courant.

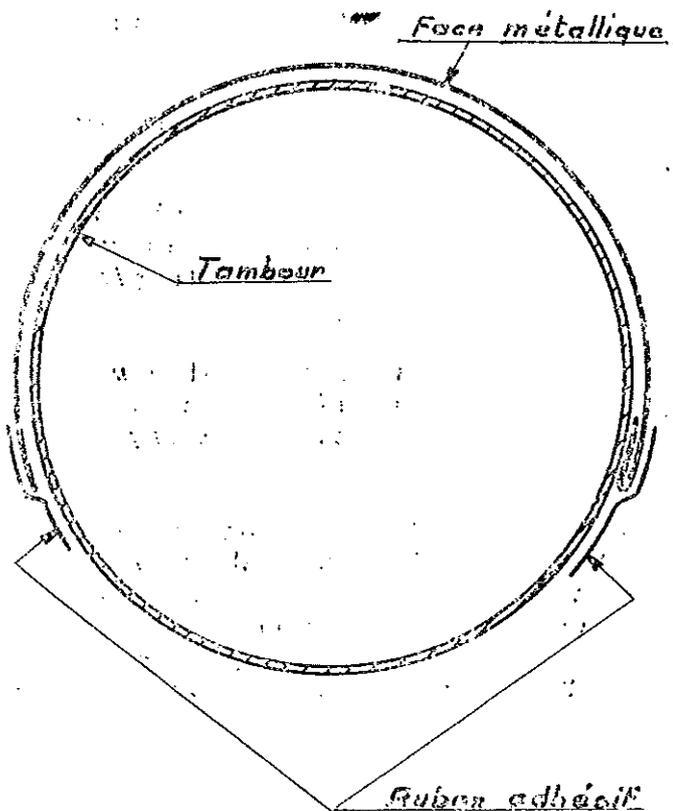
a) Amortissement par frottement solide.-

Introduire la fiche du cordon électrique bleu dans le trou de la pièce articulée supportant l'arrière du levier porte style.

Introduire la fiche du cordon électrique rouge dans le trou du support horizontal situé derrière l'écrou borgne. Au moment de l'enregistrement le fil rouge sera relié au pôle + de la source et le fil bleu au pôle -

Relier le cordon d'alimentation du moteur d'enregistrement au secteur, l'interrupteur à la position arrêt.

Prendre une bande de papier métallisé d'environ 200 mm de long. La surface métallisée étant au-dessus, plier une extrémité vers l'arrière sur 1 cm environ. Appliquer la bande sur la partie latérale du tambour d'enregistrement. La face métallisée de la partie repliée du papier établit le contact avec le tambour. Immobiliser les 2 bouts avec du ruban adhésif (figure).



Monter un des solides, par exemple la barre, sur la queue du mandrin, l'amener à environ 5 mm du support horizontal et serrer. Monter dessous le tambour d'enregistrement muni de sa bande de papier métallisé. L'orienter pour que le milieu de la bande se trouve en face du style d'enregistrement.

Le freinage est effectué par une lame de ressort garnie de Téflon appliquée contre la partie supérieure de la queue du mandrin.

Une vis à tête moletée permet de régler la pression.

Avant d'enregistrer, il est souhaitable de faire un essai préalable pour régler la pression de la lame de ressort.

.....

On constate l'identité, aux erreurs de mesure près, des périodes T_1 et T_2 mesurées à celles calculées en a et b

ETUDE DE L'AMORTISSEMENT.-

Pour le cours, l'amplitude des oscillations du système amorti, se lit sur le tambour gradué. L'aiguille de lecture est fixée sur la queue du mandrin, juste au-dessous du support, le solide est mis en-dessous.

La lecture de l'amplitude se fait aisément, surtout si on choisit comme solide le H dont la période est de l'ordre de 8 secondes.

Pour les travaux pratiques, l'amplitude des oscillations est enregistrée sur papier métallisé.

Le papier d'enregistrement est recouvert d'une mince couche de zinc, lorsqu'on applique une tension électrique entre la surface métallisée et un style frottant sur elle, la couche de zinc fond à l'endroit du contact, laissant voir la surface noire sous-jacente du papier.

On obtient ainsi une trace très nette du déplacement du style, avec un frottement très réduit.

Les enregistrements obtenus sont translucides et peuvent être reproduits par tirage héliographique.

Le papier métallisé est fixé sur le tambour métallique. Celui-ci est monté sous le solide et oscille avec lui. Le diamètre du tambour étant de 160 mm, une oscillation de 1 mm de la périphérie du tambour correspond à un angle de $44'$.

Le style enregistreur fixé sur un levier est entraîné par une vis mue par un moteur à réducteur. Il est animé d'un mouvement vertical descendant et parcourt la largeur du papier d'enregistrement, soit 50 mm en 2 minutes.

La source du courant nécessaire doit donner une tension de 24 volts en courant continu et être capable d'un débit de 20 milliampères. N'importe quelle source correspondant à ces caractéristiques peut convenir, accumulateur, piles, redresseur abaisseur.

La boîte d'alimentation EUROSAP n° 302 est spécialement prévue pour cet usage.