

LE

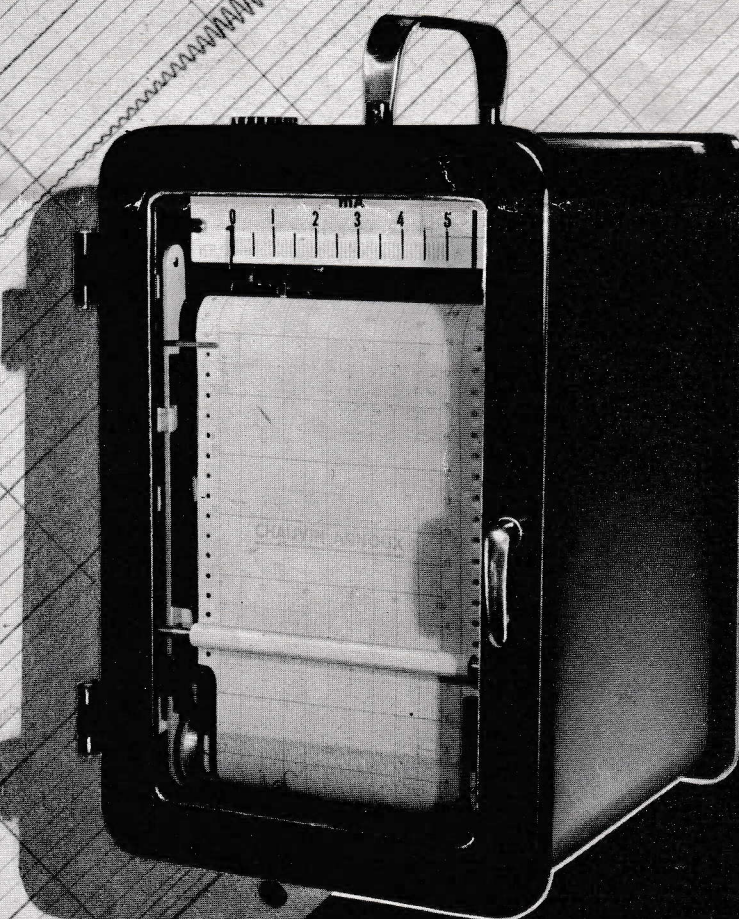
POLYGRAPHE

ENSEIGNEMENT - LABORATOIRE

$$i = I \cos \omega t$$

$$m = 10$$

$$f =$$



**CHAUVIN
ARNOUX**

190, RUE CHAMPIONNET
PARIS

MAR 52-40 + 3 LIGNES

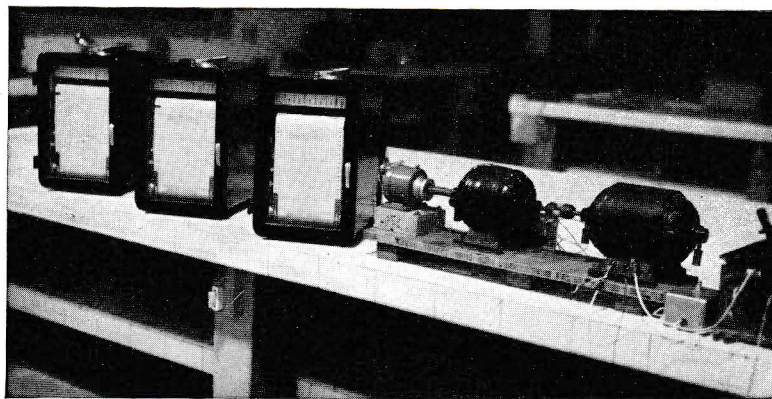
41-40 + 4 LIGNES

Tg: ELEC MESUR PARIS 23

NOTICE
EN 5

LE POLYGRAPHE

OUTIL DE
RECHERCHE ET
D'ENSEIGNEMENT
**SIMPLE ET
UNIVERSEL**



VOTRE POLYGRAPHE vous permettra d'obtenir sans difficultés des tracés analogues à ceux de cette Notice, et encore bien d'autres enregistrements, avec le petit matériel accessoire usuel existant dans tous les Laboratoires. Les exemples sont déjà nombreux de Professeurs et de Techniciens qui ne sauraient plus se passer de leur POLYGRAPHE. Ce n'est pas l'appareil d'une seule mesure ou d'une seule expérience; c'est au contraire **l'outil de base** adaptable à la quasi totalité des problèmes. Son extrême souplesse d'emploi est en effet une de ses caractéristiques les plus précieuses: quelques secondes suffisent pour modifier la vitesse de déroulement, choisir une autre position du zéro, intervertir les plumes, changer le magasin, installer l'appareil dans une autre pièce, etc....

Quelques minutes après avoir joué, par exemple, le rôle d'un voltmètre enregistreur "secteur", le Polygraphe peut donner des tracés d'études de fonctions sinusoïdales, exponentielles, etc... Puis il enregistrera n'importe quel "mouvement", en particulier avec la technique très simple des potentiomètres liquides. Quelques minutes encore, et il tracera la courbe de l'intensité alternative consommée par un moteur au cours de son démarrage, etc...

Les exemples donnés dans les pages précédentes ont été volontairement limités à des **montages simples** ne faisant intervenir aucun étage d'amplification. Mais le Polygraphe se prête également à l'étude des phénomènes traduits par des "signaux" de puissance très réduite. Le tracé ci-dessous est un exemple de comptage de rayonnement cosmique obtenu avec un compteur Geiger usuel, le Polygraphe étant ici muni de sa plume "fine" et équipé d'un magasin diagramme du type "lent".

Bien d'autres travaux peuvent aussi être exécutés à l'aide du Polygraphe, en association avec un **amplificateur magnétique** à courant continu, qui peut être fourni sur demande.

Malgré la diversité des applications proposées dans cette Notice ou publiées dans la Presse technique, le sujet est loin d'être épuisé. Le goût de la recherche et l'ingéniosité de chacun pourront se donner libre cours afin de mettre en évidence quantités d'utilisations différentes du Polygraphe, aussi bien dans des expériences simples que dans des études de phénomènes complexes.

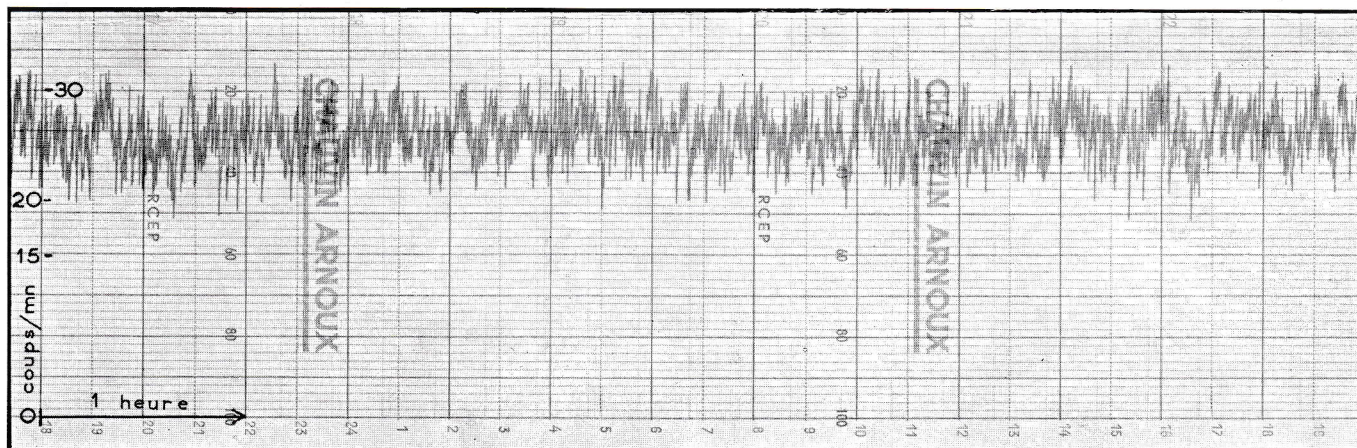


Diagramme : Echelle 1/2 env.

PRÉSENTATION

Chaque POLYGRAPHE est normalement fourni avec un magasin porte diagramme du type "rapide" (15 à 240 mm/mn) et une boîte d'accessoires comportant :

- 1 cellule à 4 éléments redresseurs, montés en pont, pour emploi en courant alternatif;
- 5 plumes interchangeable (dont 3 à grand débit);
- 6 rouleaux diagrammes, chacun de 23 mètres de longueur;
- 1 flacon d'encre spéciale;
- 1 compte-gouttes et un dispositif d'amorçage;
- 1 cadran double face, étalonné en milliampères avec zéro à gauche et zéro à droite, avec sa règle de lecture;
- 3 cadrans vierges interchangeables, avec leurs règles de lecture;
- 1 rouleau sécheur pour les tracés à grande vitesse;
- Un mode d'emploi très détaillé.

EXTENSIONS

Voici quelques accessoires, adaptables au POLYGRAPHE, et permettant d'en étendre encore le domaine d'emploi :

- **Magasin** porte-diagramme type "lent" (15 à 240 mm/h, avec ou sans réserve de marche);
- **Boîte Shunts** Polygraphe: spécialement prévue pour les appareils du type "normal" (15 mA, 500 Ω) et offrant les calibres ± 0 mA; 500 mA; 2,5 A et 10 A;
- **Amplificateur magnétique** spécial, permettant d'obtenir la déviation totale du Polygraphe avec des signaux de puissance très réduite (50 mV sur 500 ohms);
- **Pince transformateur** au rapport 1000/1, pour la mesure d'intensités alternatives importantes;
- **Moulinet** tachymétrique, pour la mesure des vitesses de rotation de 200 à 3000 tours/minute;
- **Boîtes de résistances** type "École" et type "Circulaire". Demandez notre notice spéciale **LI**.

POLYGRAPHE

PRÉCIEUX AUXILIAIRE DE LA RECHERCHE ET DE L'ENSEIGNEMENT

Dans l'étude de tous les phénomènes physiques, l'appareil de mesure **enregistreur** offre un intérêt incontestable, en raison de son aptitude à fournir des documents rigoureux et **durables**, qu'il est possible d'analyser a posteriori dans leurs moindres détails. Son utilisation n'a cessé de se développer dans le domaine de la Recherche Scientifique. Nombreux sont ceux qui souhaitent également pouvoir l'employer dans l'**Enseignement**, mais il fallait pour cela réunir un ensemble de qualités qui en rende l'utilisation vraiment pratique et universelle, permettant à chacun de l'adapter facilement aux **travaux de toute nature**, quels que soient le programme et l'orientation des études.

Plusieurs laboratoires ont uni leurs efforts pour concevoir et mettre au point un appareil universel, le **POLYGRAPHE**, dont les caractéristiques et les détails constructifs puissent satisfaire à la fois les besoins de la Recherche, du Laboratoire, et de l'Enseignement.

- Le **POLYGRAPHE** est avant tout un **milliampèremètre enregistreur** de haute qualité, capable de tracer avec précision la courbe représentative d'une fonction $I = f(t)$.
- C'est également un appareil extrêmement **simple et robuste**, supportant les surcharges et les incidents inévitables au cours d'une utilisation intensive. Il peut être confié sans appréhension à des élèves ou à des préparateurs non spécialisés.
- C'est enfin un appareil **universel**, aux agencements multiples et pratiques. Par son extrême souplesse d'emploi et ses possibilités innombrables, il offre à son utilisateur l'occasion d'en **découvrir chaque jour de nouvelles applications intéressantes**.

SON GALVANOMÈTRE

Du type magnéto électrique fortement amorti, l'équipage mobile se compose d'un cadre de grandes dimensions G, pivotant entre deux crapaudines saphir dans l'entrefer d'un puissant aimant permanent. Son étonnante robustesse n'exclut pas une très grande précision, et surtout une extrême **sensibilité**, permettant de mettre en évidence les moindres fluctuations du courant mesuré.

D'autre part, une plume enregistreuse, commandée par le cadre G, se trouve guidée en ligne droite par un dispositif F très simple, dérivant du parallélogramme d'O. Ewans, et ne comportant qu'une seule articulation, pratiquement sans jeu. Le tracé s'effectue donc en **coordonnées rectangulaires**.

PLUME TRACEUSE

La plume est métallique, et porte elle-même son propre réservoir d'encre. Fixée à l'extrémité du bras F par un petit verrou, elle peut être enlevée **instantanément**. Elle est d'ailleurs irréversible, et les déplacements usuels de l'appareil dans un laboratoire n'exigent ni démontage, ni précautions spéciales. L'appareil est normalement fourni avec cinq plumes, parfaitement interchangeables, permettant de choisir soit un débit d'encre réduit, donnant un tracé fin et très précis (exemple page 4), soit un débit relativement fort, pour les tracés à grande vitesse de phénomènes à variations rapides (exemple pages 8-9).

RÉGLAGE DU ZÉRO

La position de repos de la plume (zéro) est réglable : d'une part, par un dispositif à grande course agissant sur le spiral inférieur du galvanomètre, et d'autre part, par un bouton R, **accessible de l'extérieur**, permettant un ajustage très précis, même en cours d'expérience.

Ce double réglage permet de situer à volonté le zéro en un point quelconque de l'échelle, et d'obtenir entre autres une des trois positions suivantes :

zéro à **gauche**, position habituelle des appareils enregistreurs ; zéro **central** pour montages à double polarité (ex. page 11) ; zéro à **droite**, particulièrement précieux dans l'Enseignement. Les tracés obtenus ainsi se lisent en effet comme des textes, avec les temps croissants de la gauche vers la droite, et sont comparables aux courbes théoriques des manuels (page 4).

CADRANS

La plume traceuse porte un index permettant des lectures directes instantanées sur le cadran gradué C. Celui-ci est **amovible** et peut être employé sur ses deux faces, dont l'une est graduée avec zéro à gauche, et l'autre avec zéro à droite. Il peut être aussi remplacé par un cadran vierge, qu'il est facile d'étalonner et de graduer sur place en unités quelconques. Le **POLYGRAPHE** est normalement fourni avec trois cadrans vierges de rechange.

CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES

Le **POLYGRAPHE** est gradué de **0 à 5 mA** et sa résistance interne est d'environ 530 ohms. Sur demande il peut être fourni avec graduation de 0 à 1 mA et résistance interne 8.500 ohms.

Son rapport d'amortissement est inférieur à 1,2 et la période propre de son équipement mobile est d'environ 1,3 s.

Ces caractéristiques se sont révélées les meilleures pour tous les emplois de Recherche et d'Enseignement. L'appareil peut en effet être facilement transformé en voltmètre ou en ampèremètre, dans les montages sur table, par adjonction de résistances série ou de shunts appropriés.

D'autre part, afin de permettre son emploi en courant **alternatif**, le **POLYGRAPHE** est fourni avec un redresseur sec, double alternance, à connecter extérieurement (voir exemple page 15). Enfin il est toujours possible de placer un fusible pour assurer une protection totale contre les surcharges démesurées.

SON MÉCANISME ENREGISTREUR

Il se compose d'un **bloc magasin**, constituant toute la face avant de l'appareil, et pouvant être détaché par un simple déverrouillage, pour être posé commodément sur une table. Il porte le rouleau diagramme vierge, et son dispositif d'entraînement, mû par le moteur synchrone M. Celui-ci est commandé par un interrupteur, situé sur la face arrière du boîtier, et comporte deux branchements possibles : l'un pour 110 à 130 V - 50 Hz ; l'autre pour 190 à 250 V - 50 Hz.

Les vitesses d'avance du papier ont été choisies assez **rapides** pour convenir à la plupart des travaux de recherche et d'enseignement. Un jeu de pignons P, interchangeables même en cours d'expérience, permet de fixer la vitesse à **15, 30, 60, 120, 240** mm/minute. Le Polygraphe peut également utiliser un magasin du type « synchrone lent », donnant les vitesses 15, 30, 60, 120, 240 mm/heure.

DIAGRAMME

On en trouvera une reproduction en vraie grandeur aux pages 8 et 9. Sa largeur utile est de 120 mm et le tracé demeure visible dans la fenêtre sur une hauteur de 250 mm. Il défile sur un **tablier plan**, ce qui permet d'y porter facilement des annotations. En outre, il peut s'enrouler automatiquement dans le bas sur le rouleau B, ou bien tomber librement à l'extérieur par la fente H, détail intéressant lorsqu'on désire examiner le diagramme de près, et même le couper, sans interrompre l'enregistrement en cours.

Les rouleaux diagrammes à utiliser sont du type RCEP (longueur 23 m), dont la durée est de 25 heures à la vitesse de 15 mm/minute. Ils comportent 50 divisions longitudinales équidistantes, et une division transversale tous les 15 mm. Un index latéral facilite les repérages horaires, sans avoir à observer la position de la plume elle-même.

Pour les enregistrements rapides et très sinueux, il a été prévu un **rouleau sécheur S**, absorbant l'excès d'encre afin d'éviter toute bavure.

Enfin, les qualités de l'encre et du papier ont été étudiées pour permettre les annotations et les constructions graphiques (exemple page 4), ainsi que la superposition des diagrammes par transparence, tout en interdisant les grattages ou les retouches. Le diagramme est toujours un **témoin rigoureux** de l'expérience effectuée.

Avec chaque cadran, il est fourni une réglette de lecture portant la même graduation, et permettant d'effectuer après coup, sur le diagramme, des séries de mesures précises.

ÉLECTRO-PLUME

L'expérience a montré qu'il était très utile de pouvoir tracer sur le diagramme, à un instant quelconque, et sans ouvrir l'appareil, des **tops** horaires précisant le moment où le régime a été modifié (exemple page 13), ou bien encore des **signaux** conventionnels identifiant plusieurs essais successifs (exemple page 9). Le Polygraphe a été doté à cet effet d'une plume auxiliaire traçant un trait continu à la droite du diagramme. Solidaire d'un électro-aimant E, elle peut être commandée de l'extérieur par un interrupteur quelconque. Une simple pile de lampe de poche (4,5 volts) assure normalement plusieurs années de fonctionnement.

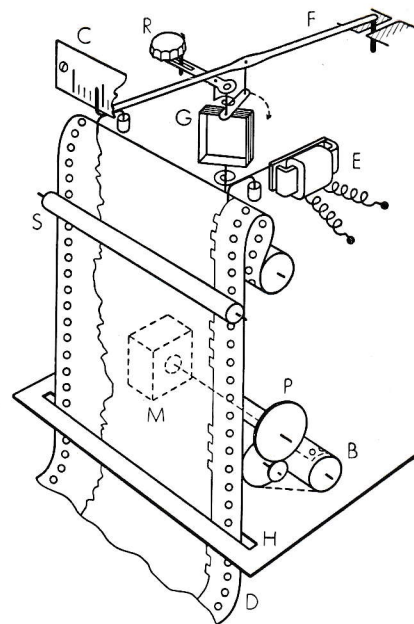
SA PRÉSENTATION

Le Polygraphe est monté en boîtier métallique émaillé noir. Extrêmement robuste, il comporte quatre pieds caoutchouc et une poignée pour les petits transports. En outre, un dispositif de blocage de la plume et du galvanomètre est prévu pour les transports plus importants.

Toutes les commandes sont aisément accessibles de l'extérieur. On trouve sur la face supérieure le bouton de remise à zéro R, et sur la face arrière l'ensemble des bornes concernant le galvanomètre, le moteur, et l'électroplume, toutes du type **mixte** admettant indifféremment des fils nus ou des fiches banane. Enfin, un jeu de deux interrupteurs permet la mise en marche du moteur à l'instant voulu, et la mise en court-circuit du galvanomètre en cas de besoin.

Dimensions : 370 × 240 × 300 mm - **Poids :** 15 kg

Les accessoires fournis avec le Polygraphe sont groupés dans un coffret accompagnant l'appareil. Une fiche technique précise toutes les caractéristiques mécaniques et électriques du Polygraphe ; un mode d'emploi détaillé évite tout tâtonnement.



SA VALEUR PÉDAGOGIQUE

Sur le plan **pédagogique**, de multiples raisons limitent pratiquement l'emploi des appareils indicateurs à simple lecture directe.

- Il est toujours délicat de demander à des élèves d'observer un certain phénomène physique, nouveau pour eux, et d'effectuer **simultanément** des mesures exactes. D'autre part, ces mesures ne peuvent être faites que par un seul observateur, et non par l'ensemble d'un groupe.
- Qu'il s'agisse de démonstrations, d'expériences de cours, ou de manipulations, les élèves éprouvent toujours des difficultés pour lire correctement un appareil de mesure. De multiples causes d'erreurs peuvent en effet intervenir, parmi lesquelles on peut citer la correction de parallaxe, le réglage du zéro, l'influence des conditions d'amortissement, etc., et aussi les erreurs de lecture souvent dues à la juxtaposition sur un même cadran de plusieurs échelles et graduations. Or, une inattention peut suffire à **fausser le sens** de toute l'expérience, en introduisant une erreur impossible à déceler et à corriger.
- En outre, on doit remarquer que les régimes permanents sont relativement exceptionnels. Ce sont au contraire les régimes transitoires, **lentement variables**, qui présentent le maximum d'intérêt. La lecture directe doit alors s'effectuer « au vol » et dans ces conditions, on ne saurait exiger d'un débutant autre chose qu'une grossière approximation.

Le POLYGRAPHE a été conçu pour réaliser, sans aucune difficulté, des expériences de cours, des démonstrations, et des manipulations de la plus haute valeur **pédagogique**.

Pendant le déroulement de l'expérience proprement dite, les élèves peuvent consacrer toute leur attention au phénomène physique lui-même, en effectuant soigneusement les réglages et les manœuvres convenables.

La « mesure instantanée » par lecture directe est toujours possible à ce stade, mais des erreurs éventuelles n'auront aucune conséquence grave.

C'est en effet le **tracé** qui permettra, ensuite, de reconstituer intégralement, dans tous ses détails, l'expérience réalisée, de relever un très grand nombre de valeurs numériques, d'effectuer des constructions graphiques, etc. Ce travail peut être **personnel** ou **collectif**.

Une erreur de « mesure » au cours de ce travail est exceptionnelle ; elle ne présente d'ailleurs aucune gravité puisqu'elle peut toujours être rectifiée, soit par l'élève lui-même, soit par le Professeur, sur le diagramme correspondant.

Le POLYGRAPHE permet également de mieux juger la qualité du travail effectué par l'élève.

Par exemple, si ce lui-ci omet de procéder à la vérification du zéro avant l'expérience, le diagramme montrera au premier coup d'œil cet oubli. Il suffira alors de décaler convenablement l'échelle de lecture, pour obtenir néanmoins des mesures valables.

Dans le même esprit, toutes les erreurs, minimes ou importantes, seront bien mises en évidence, et devront être expliquées.

Psychologiquement, il est très important que l'élève sache qu'il est continuellement « surveillé » par l'appareil de mesure. Il prend très vite les disciplines nécessaires, respecte les polarités, vérifie soigneusement ses montages avant de les mettre sous tension, veille à l'ordre et au sens des différents réglages, etc. En outre, l'étudiant qui conservera un enregistrement précis, **durable**, de son travail, s'applique à réaliser un « beau tracé ». Il possède ainsi un commentaire détaillé de la leçon correspondante, et ne l'oubliera pas.

La courbe obtenue par le POLYGRAPHE est toujours une fonction $I = f(t)$. La notion très générale de fonction peut être ainsi clairement dégagée ; on trouvera dans « L'Information Scientifique » (1955, 1, pp. 27-29) un exemple de tracé simple des courbes Espace = f (temps), Vitesse = f (temps), Accélération = f (temps). Dans de multiples domaines, il est aisé d'obtenir des diagrammes représentatifs des fonctions simples ou complexes, telles que les courbes exponentielles (page 4), les fonctions sinusoïdales (pages 10 et 11), etc.

Souvent, il est aisé d'assimiler le temps à une autre variable, et d'obtenir directement des tracés qui représentent **en toute rigueur** un phénomène physique parfois complexe.

Citons par exemple les courbes :

Allongement = f (effort) (voir page 7).

Course = f (rotation) (voir page 12).

Conductivité = f (Q réactif) (voir page 14).

ainsi que les caractéristiques des triodes. (voir « Bulletin de l'Union des Physiciens », 1953, 411, pp. 434-442), etc...

On trouvera dans les pages suivantes un certain nombre d'applications du POLYGRAPHE, toutes obtenues très simplement, à l'aide du matériel courant en usage dans les Ecoles et Laboratoires.

On voudra bien les considérer comme de **simples exemples**. Des variantes en nombre infini sont aisément réalisables, et chacun pourra en découvrir de nouvelles. Suivant le niveau des élèves, suivant le programme d'enseignement, on édifiera sans difficultés les montages nécessaires pour que le POLYGRAPHE joue son rôle d'appareil universel, à la fois **au service du Professeur et de l'élève**.

LES FONCTIONS EXPONENTIELLES

Quelques condensateurs électrolytiques de grande capacité et une simple pile 4,5 volts suffisent pour obtenir avec le Polygraphe des enregistrements analogues au diagramme ci-dessous. Le tracé, immédiatement utilisable, permet par exemple de préciser les notions de base concernant les courbes exponentielles, de vérifier la « constante de temps » calculée du montage, etc. Les constructions graphiques effectuées par l'élève sur le tracé qu'il a **lui-même** obtenu sont d'une valeur pédagogique certaine. La courbe $I=f(t)$ tracée par le Polygraphe peut être, par exemple, intégrée au planimètre pour déterminer les quantités d'électricité mises en jeu lors de la charge, puis de la décharge.

On voudra bien se reporter pour plus de détails au « Bulletin de l'Union des Physiciens » (48, 416, pp. 334-357).

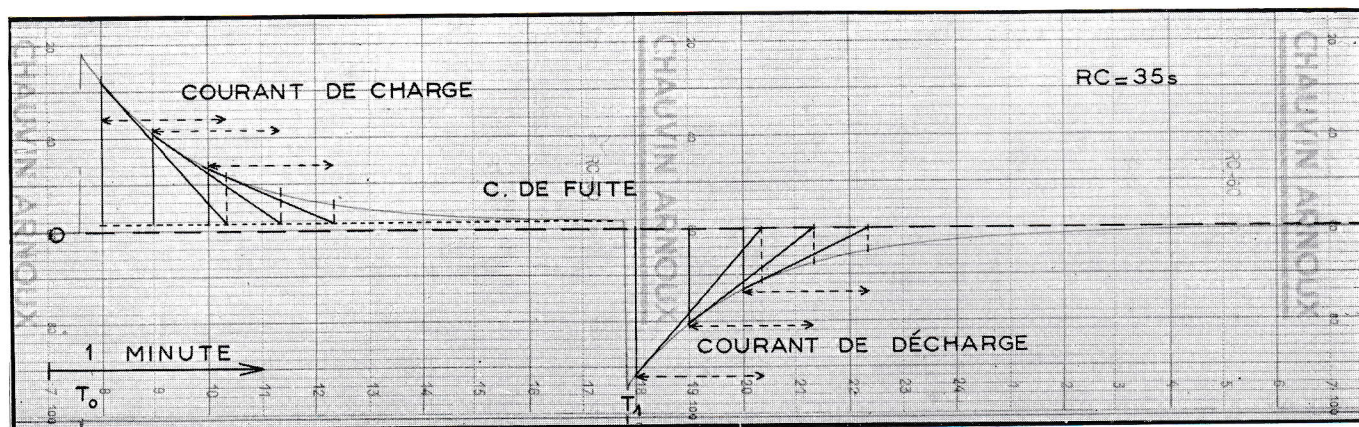


Diagramme : Echelle 1/2 env.

L'ÉTUDE DES PILES ET ACCUMULATEURS

Les courbes théoriques $V=f(t)$ d'une source fermée sur une résistance donnée peuvent être complétées par une étude expérimentale rendue très simple par le Polygraphe. La plus banale des piles, Cu-Zn, suffit pour réaliser un exercice pratique intéressant.

Le diagramme ci-dessous montre l'étude successive de trois piles :

- courbe 1 : pile du commerce neuve,
- courbe 2 : pile semblable, mais usée, en débit,
- courbe 3 : pile réalisée avec un fragment de cuivre et un morceau de zinc dans un bécber d'acide sulfurique, sans agitation.

On met ainsi en évidence les notions de résistance interne, de polarisation progressive, etc. Les mesures rigoureuses peuvent être multipliées sur les tracés.

Suivant le montage utilisé, on complètera l'étalonnage du Polygraphe, soit en volts, soit en ampères ou en milli-ampères, en lui associant une résistance série ou un shunt convenable (par exemple la boîte shunt, type POLYGRAPHE, fournie sur demande).

En pratique, les différents tracés successivement réalisés seront superposés pour comparer les sources; on voit sur le diagramme reproduit qu'il est également possible, après chaque tracé, d'effectuer un retour en arrière pour obtenir **plusieurs courbes** sur le même diagramme. On trouvera d'autres exemples d'études analogues dans « Mesures », 19, 209, p. 643 et « L'Information Scientifique », 1955, 1, pp. 16-17.

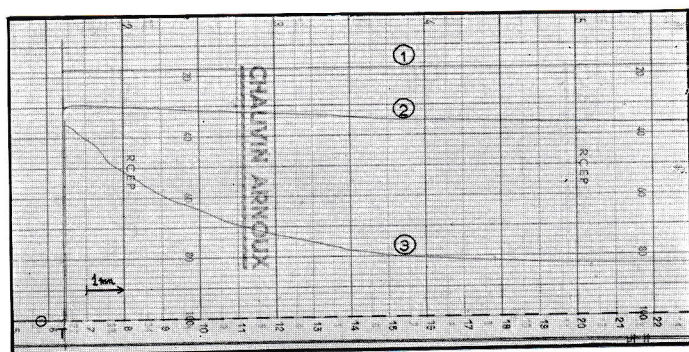
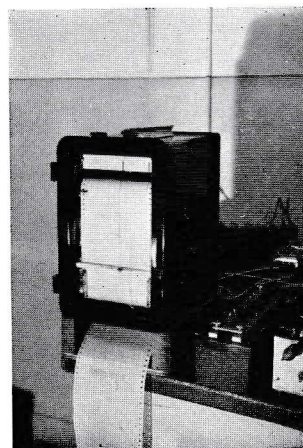


Diagramme : Echelle 1/3.



MESURE DES RESISTANCES

La possibilité de fixer à volonté le zéro du POLYGRAPHE au centre de l'échelle permet d'effectuer très simplement l'étude des résistances par les méthodes classiques de zéro (ponts de Wheatstone, Kohlrausch, etc.) (cf. Bulletin Union des Physiciens, 48, 416, pp. 334-357).

Mais on n'envisagera ici que les mesures de résistances par la méthode « **Voltmètre-Ampèremètre** », montage Amont ou Aval.

Dans un exercice pratique de ce genre, exécuté avec de classiques appareils indicateurs, les élèves doivent effectuer **simultanément** deux mesures. Or, il est exceptionnel qu'on dispose d'une source parfaitement stable. Les mesures doivent donc être faites « au vol », et l'expérience montre que les élèves non spécialisés accumulent alors les erreurs.

Il n'en est plus de même avec le POLYGRAPHE. Les diagrammes reproduits ci-dessous, à l'échelle 1/2 environ, donnent **un exemple** d'étude d'une banale résistance Fer-Hydrogène (lampe régulatrice donnée pour 1,15 ampères entre 5 et 15 volts). On y utilise deux Polygraphes, l'un monté en voltmètre, l'autre en ampèremètre, associés à leurs redresseurs secs pour fonctionner en courant alternatif. La méthode offre des avantages évidents :

FACILITÉ DE MONTAGE

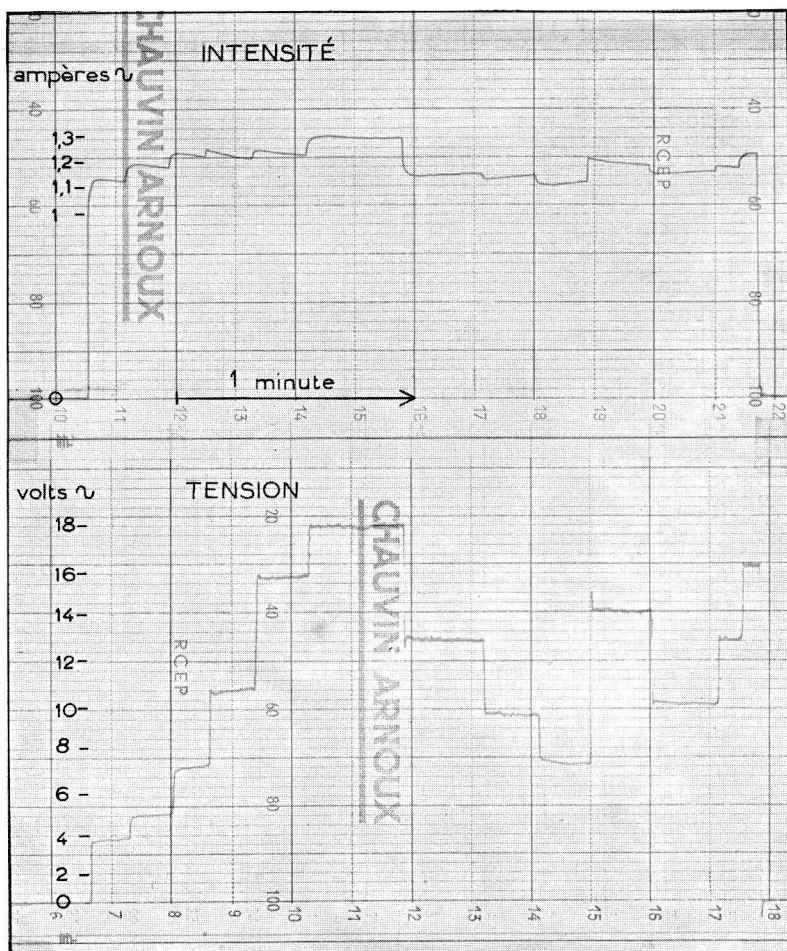
Aucune source stabilisée n'est nécessaire. On utilise directement un montage potentiométrique sur le secondaire d'un petit transformateur abaisseur 110/20 volts. Les irrégularités du réseau n'ont **aucune influence** sur la précision des mesures.

RAPIDITÉ DE L'EXPÉRIENCE

On voit que **3 minutes** suffisent pour obtenir deux documents très complets. Au cours d'une seule séance de travaux pratiques, l'élève peut ainsi recueillir toute une collection d'enregistrements en montage Amont, puis Aval, et étudier ensuite d'autres résistances (lampe à filament de tungstène, lampe à filament de carbone, résistance à coefficient de température négatif, régulatrice de tension, etc.)

COMPTE RENDU

C'est pendant sa rédaction que l'élève effectuera les mesures sur les diagrammes, d'une façon **rigoureuse**, en multipliant les pointés. C'est là que se situe le vrai travail **personnel**, qui est le plus **profitable**.



Diagrammes : Echelle 1/2 environ

CORRECTION

La correction du compte rendu se trouve singulièrement facilitée pour le Professeur. Les diagrammes ne pouvant pas être grattés ou retouchés, aucune faute de manœuvre, aucune erreur ne peut lui échapper. Toutes les anomalies du tracé devront être justifiées. En outre, si l'élève a commis une faute dans l'**interprétation** des courbes, celles-ci subsistent et permettent de rectifier l'erreur sans aucune difficulté.

COMMENTAIRES

Le Professeur peut aussi ajouter des commentaires appropriés au niveau des élèves :

Pour des **débutants**, il pourra se limiter à faire remarquer la constance approximative du courant, lorsque la tension varie de 5 à 15 volts.

Pour des élèves **plus avancés**, il pourra faire étudier en détail les lois des régimes transitoires successifs, mettre en évidence les différences entre les caractéristiques « montantes » et « descendantes », faire remarquer le rôle de l'amortissement des deux POLYGRAPHES dans leurs réponses aux variations brutales, etc.

INTÉRÊT DE L'ÉLECTROPLUME

L'électroplume permet ici de marquer des **tops** rigoureusement simultanés sur les deux diagrammes en cours, ou bien de marquer l'instant précis où l'on a modifié le régime de fonctionnement. Elle permet aussi d'**identifier** plusieurs tracés analogues successifs.

UTILISATION DU POLYGRAPHE EN VOLTMÈTRE OU AMPÈRÈMÈTRE

La transformation d'un Polygraphe en voltmètre ou ampèremètre, se fait sans difficultés.

En **courant continu** pour la mesure des **tensions**, il suffit de disposer une résistance convenable en série avec l'appareil. Avec le Polygraphe normal (5 mA-500 Ω), on peut utiliser par exemple :

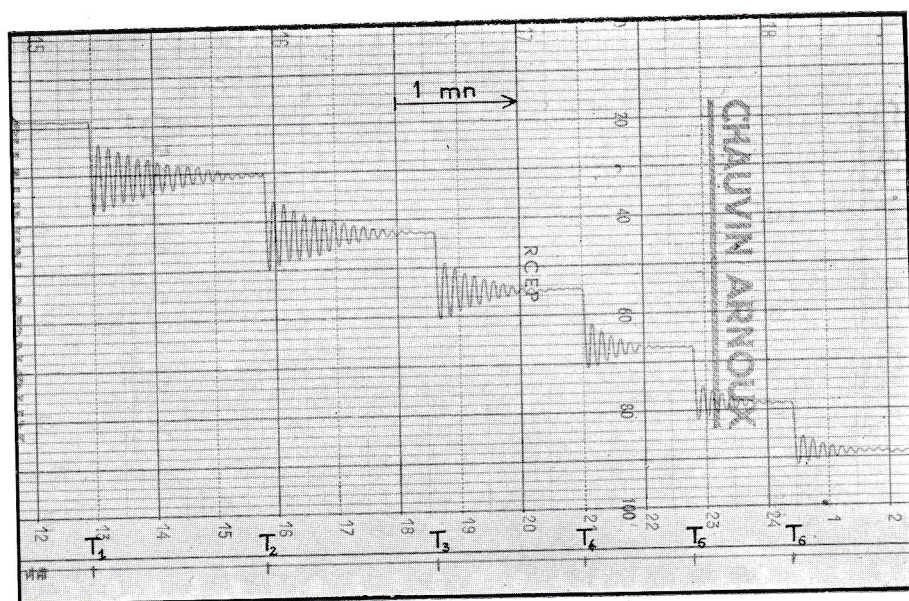
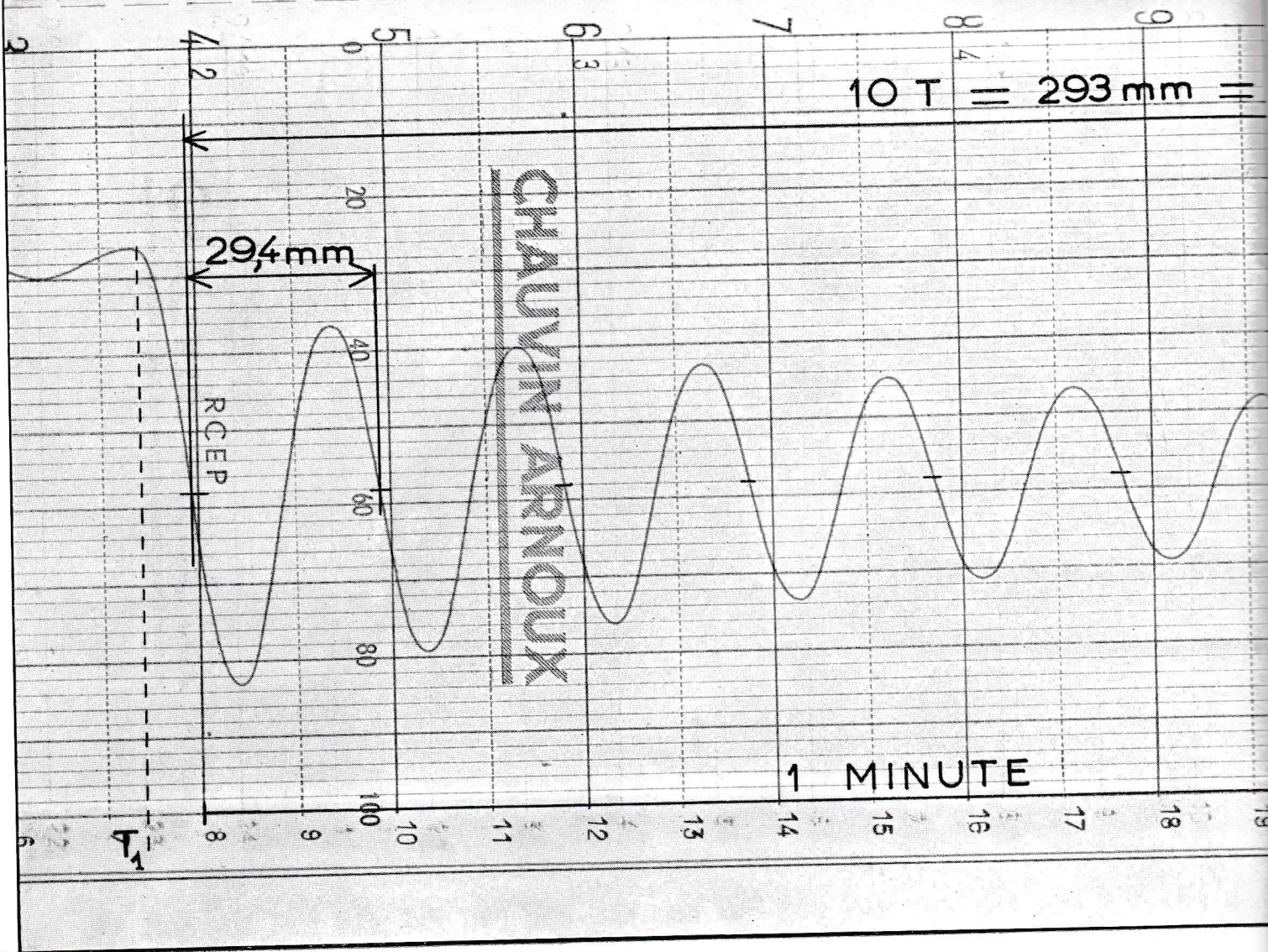
- Une résistance de 5000 ohms environ, transformant le Polygraphe en voltmètre 0-25 volts.
- Une résistance de 30000 ohms environ, transformant le Polygraphe en voltmètre 0-150 volts.

En ce qui concerne les mesures d'**intensités**, deux cas doivent être distingués :

- Le courant à mesurer est de l'ordre de quelques dizaines de milliampères : on improvise sans difficultés le shunt nécessaire, par exemple 500 ohms environ pour obtenir la déviation totale avec 10 mA.
- Lorsque le courant à mesurer est relativement important, il convient d'utiliser la « **Boîte Shunts Polygraphe** », en raison des puissances non négligeables qui doivent être dissipées dans le shunt. Les calibres offerts par cette Boîte Shunt sont les suivants : 50 mA, 500 mA, 2,5 A et 10 A. Cette « Boîte Shunt », réalisée dans le même esprit que le Polygraphe lui-même, avec boîtier transparent, connexions apparentes, et bornes mixtes pour fils ou fiches banane, peut être fournie sur demande.

En **courant alternatif**, on peut opérer de même, en associant le Polygraphe à son petit redresseur sec, connecté entre l'appareil et la résistance série, ou entre l'appareil et le shunt. L'étalement en alternatif peut être exécuté en utilisant l'un des cadrans vierges fournis avec l'appareil.

Noter enfin que, pour la mesure des **courants forts** en alternatif (machines puissantes), le Polygraphe peut aussi être employé avec un transformateur ouvrant, du type « **Pince** », au rapport 1000/1, fourni sur demande.



QUELQUES TRACÉS

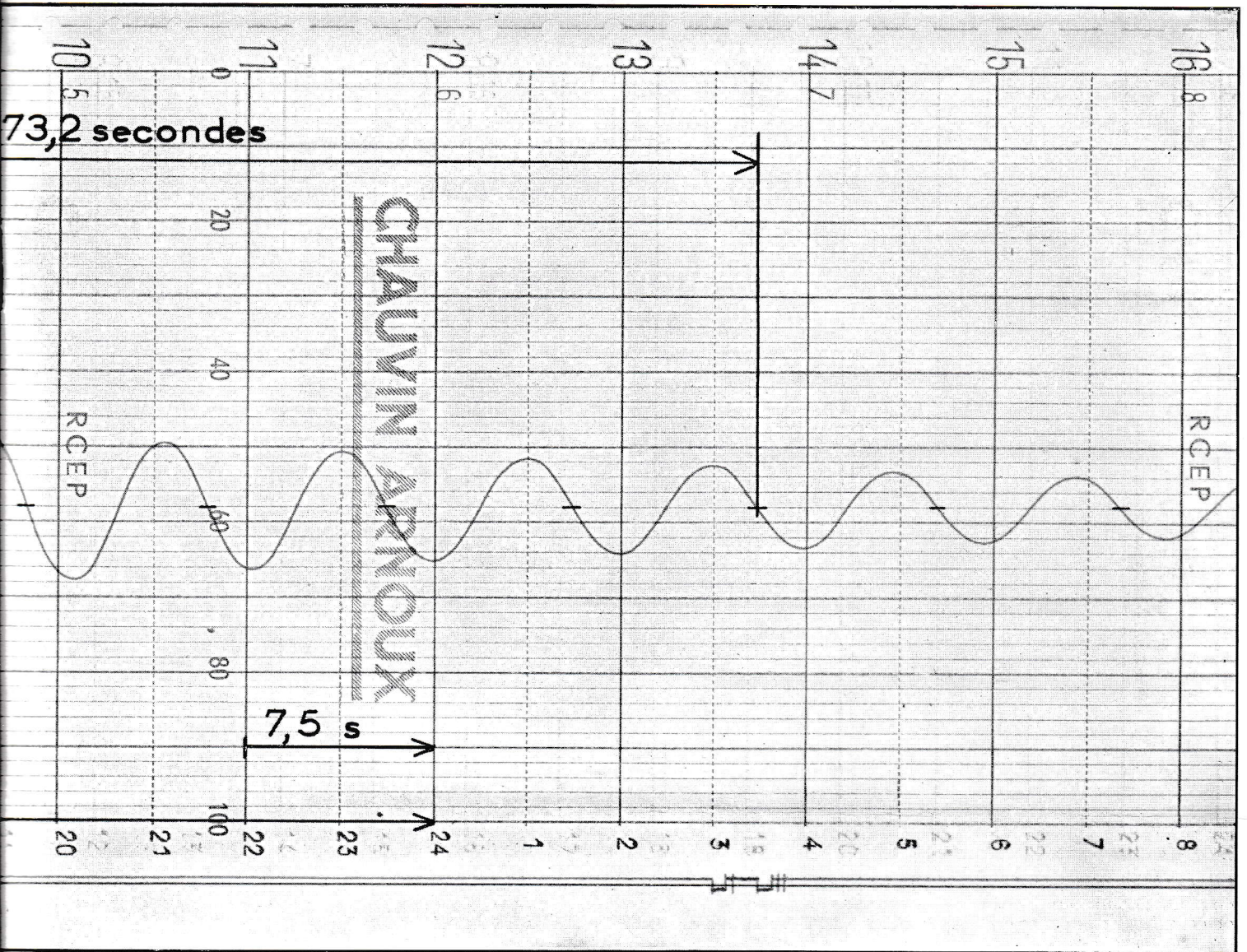
qu'il est facile d'obtenir à l'aide du montage de la page précédente.

ETUDE DE LA BALANCE

← (échelle 1/2 env.)

Exemple d'étalonnage du Polygraphe dans le montage décrit page 7. Vitesse 30 mm/minute. Aux temps $T_1, T_2 \dots T_6$, on ajoute chaque fois 50 mg dans un plateau de la balance. L'électrode mobile est ici de forme annulaire.

On voudra bien se reporter pour d'autres exemples à "L'Information Scientifique", Février 1955, pages 24-25.



OSCILLATION AMORTIE

Ci-dessus diagramme en **vraie grandeur**



Tracé d'une sinusoïde amortie. Vitesse 240 mm/minute.

Au temps T_1 , la balance n'avait pas encore atteint sa position d'équilibre; on a néanmoins ajouté 0,1 g dans le plateau. On peut vérifier avec une excellente approximation la constance de la période, et toutes les autres caractéristiques des sinusoïdes amorties. Il est intéressant de comparer cette courbe avec celles obtenues en déplaçant latéralement l'éprouvette, pour introduire un frottement solide supplémentaire de l'électrode mobile contre la paroi, et donc un terme d'amortissement différent.

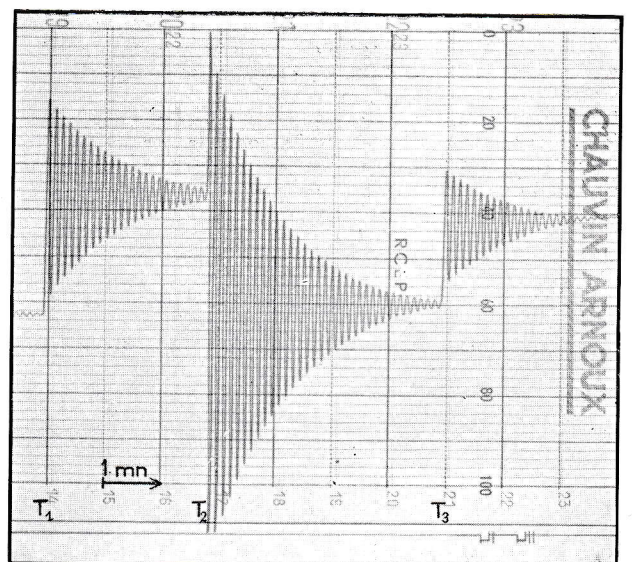
ETUDE DU DÉCRÉMENT

(échelle 1/2 env.)

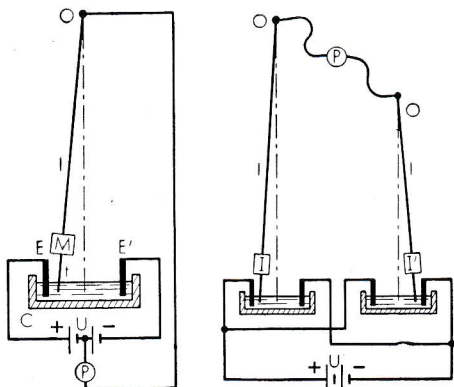


Montage analogue, mais vitesse limitée à 15 mm/minute seulement, afin de permettre une étude plus aisée du décrement.

Aux temps T_1 , T_2 , T_3 , différentes masses sont ajoutées à l'un ou l'autre plateau. Remarquer l'impulsion supplémentaire à l'instant T_2 .



LES FONCTIONS SINUSOIDALES



L'acoustique, l'optique, la mécanique, l'électricité, etc., exigent une parfaite compréhension des fonctions sinusoïdales et de leurs compositions. Les systèmes pendulaires sont les plus simples pour étudier les notions de période, d'amplitude et de phase. Mais l'observation directe est déjà fastidieuse si l'on désire étudier un simple phénomène de battement avec une bonne précision. Dès qu'il s'agit de phénomènes plus complexes, l'observation directe devient très délicate et souvent incomplète.

Afin que la technique d'enregistrement n'introduise que des termes d'amortissement négligeables, on peut utiliser ici un montage potentiométrique à **liquide**. La figure de gauche montre le schéma d'une réalisation très simple. Le pendule est constitué par un fil conducteur de longueur L et une masse M prolongée par une mince tige de cuivre t . La cuve C (cuvette de photographe, 9×12 cm) est remplie d'une solution de sulfate de cuivre (250 g pour 1 litre d'eau distillée par exemple). Les électrodes E et E' sont des rectangles taillés dans une feuille de cuivre, et disposés parallèlement aux petits côtés de la cuve. Une source U (4 ou 6 volts) établit dans la cuve un gradient de potentiel convenable. Le Polygraphe, dont le zéro a été réglé au centre de l'échelle, est connecté, par exemple, entre le pendule et le point milieu de la batterie. Le tracé obtenu correspond à la courbe classique, avec les elongations du pendule en ordonnées et les temps en abscisses. On obtient ainsi des **sinusoïdes rigoureuses**.

Il est extrêmement aisé d'étudier pratiquement toutes les variétés imaginables de mouvements sinusoïdaux. Par exemple, le diagramme 1 montre l'étude d'un pendule **double** (à deux degrés de liberté), obtenu en disposant en un point du fil une masse auxiliaire. On remarque que, la vitesse d'avance du papier étant à l'origine trop petite pour permettre une étude détaillée du tracé, il suffit d'une trentaine de secondes, en cours d'expérience, pour intervertir deux engrenages du Polygraphe, et "étaler le phénomène dans le temps". Un tel montage permet par exemple de compléter expérimentalement l'étude des équations de Lagrange (cf Bouasse, Mécanique rationnelle et expérimentale, Delagrave).

En désaxant la tige de contact "t", il est aisé de superposer au mouvement pendulaire simple un mouvement sinusoïdal **de torsion** (de très faible amplitude).

Les deux périodes :

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad \text{et} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{C}}$$

peuvent être réglées pour donner le diagramme 2, ou bien étudier systématiquement toutes les courbes résultant de la superposition d'harmoniques 3, 7, etc., en faisant varier à volonté les amplitudes et les phases relatives.

Deux cuves semblables, disposées en parallèle (figure de droite) permettent, avec deux pendules de longueurs voisines, d'obtenir très simplement les classiques **battements** (diagramme 3). Voir également la reproduction grandeur nature de la page 1. Si l'une des deux tiges de contact est excentrée, on obtient **trois** mouvements sinusoïdaux distincts qui se composent (diagramme 4).

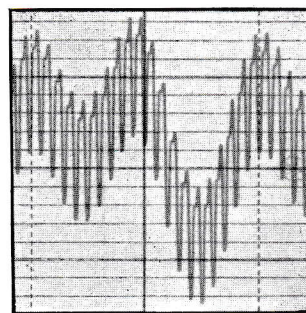
Si les tiges de contact des deux pendules sont toutes deux excentrées, on étudie les compositions de **quatre** fonctions sinusoïdales dont on fait varier à volonté tous les éléments, périodes, amplitudes et phases. Le diagramme 5 montre quelques tracés ainsi obtenus. Dans ce dernier exemple, les quatre périodes restent constamment égales à elles-mêmes :

$$t = 3,14 \text{ s} \quad T = 62,8 \text{ s} \quad t' = 1,57 \text{ s} \quad T' = 31,4 \text{ s}$$

Les mouvements du pendule (t, T) ne sont modifiés ni en amplitude ni en phase pendant toute l'expérience. Jusqu'au temps T_1 , le pendule (t', T') est immobile; à partir du temps T_1 , et toutes les deux minutes environ, on modifie par une impulsion les phases et les amplitudes de ce pendule, dont on observe les nouvelles valeurs tandis que le Polygraphe trace la courbe résultante.

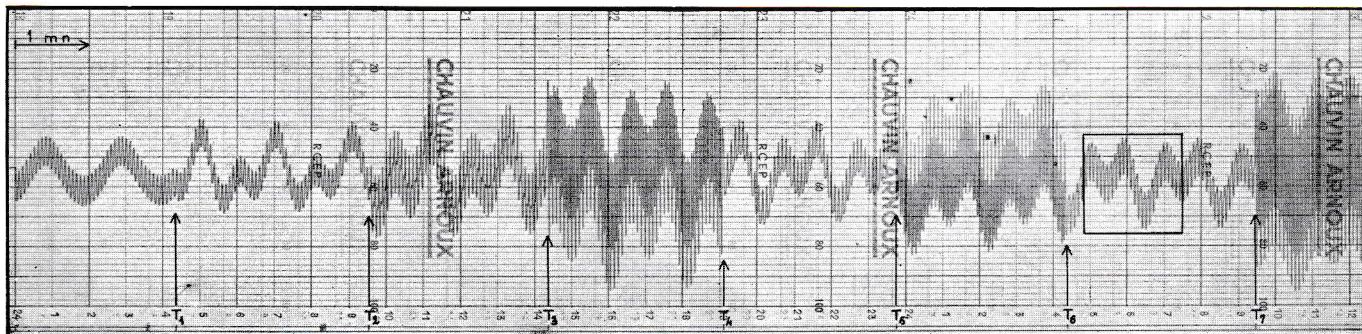
La région encadrée du diagramme 5 est reproduite ci-contre en **vraie grandeur** (diagramme 5 bis): on voit qu'une analyse très fine de la courbe est possible en raison de la qualité de l'enregistrement.

5
bis



Bien entendu, lorsqu'il semble que certains détails risquent d'être peu apparents, il suffit de multiplier la vitesse d'avance du papier sans modifier l'expérience en cours, comme dans le diagramme 1.

D'autres montages simples permettent également d'obtenir des tracés de compositions de fonctions sinusoïdales avec le Polygraphe; on voudra bien se reporter pour leur description à "Mesures", Octobre 1954 n° 209, pp. 645-648 ainsi qu'à "L'Information Scientifique", Février 1955, pp. 19-24. En particulier, les termes d'amortissement peuvent être rigoureusement éliminés.



De haut en bas :

- 1 : Pendule à 2 degrés de liberté.
(diagramme réel 335 x 132 mm)
- 2 : Superposition de 2 mouvements
sinusoïdaux.
(diagramme réel 479 x 132 mm)
- 3 : Battements de 2 pendules.
(diagramme réel 675 x 108 mm)
- 4 : Composition de 3 mouvements
sinusoïdaux.
(diagramme réel 418 x 108 mm)
- 5 : Superposition de 2, puis de 4
mouvements sinusoïdaux.
(diagramme réel 1050 x 132 mm)

