

PLANIMÈTRES ROULANTS A DISQUE

DE TRÈS HAUTE PRÉCISION

Construits par
G. CORADI
 INSTITUT MÉCANO
 MATHÉMATIQUE
 ZURICH
 (Suisse)

CORADI

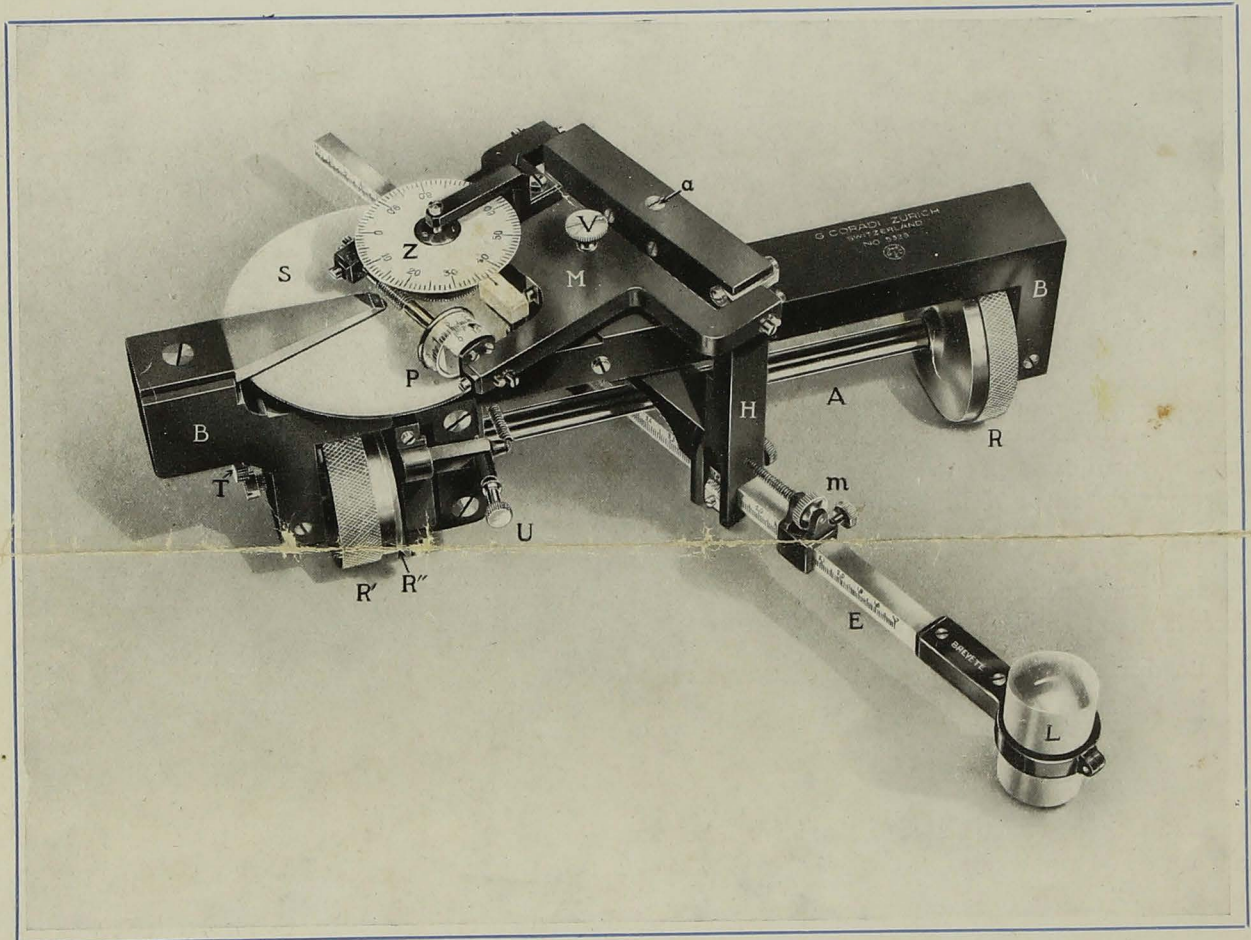
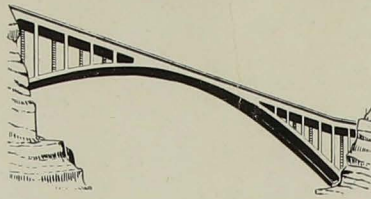


Fig. I. — Planimètre roulant à disque N° 31 bis. — Type II avec loupe "Saphir".

Dimensions et Caractéristiques des Planimètres	N° 31		N° 32	
	Type I	Type II	Type III	Type IV
Valeur de l'Unité du vernier	maximum.....	1,00 mm ²	2,00 mm ²	2,00 mm ²
	minimum.....	0,40 mm ²	1,00 mm ²	1,00 mm ²
Degré de précision	avec développ ^t maximum du bras moteur sans rallonge	1/5000	1/8000	1/8000
	avec rallonge	—	1/2500	—
	avec développ ^t minimum du bras moteur	1/500	1/500	1/500
Bras moteur	Longueur sans rallonge	300 mm	550 mm	550 mm
	Longueur avec rallonge	—	550 mm	—
	Graduation en	1/2 mm	1/2 mm	1/2 mm
	Construction	mobile, à mécanisme micrométrique		
Ecartement des rouleaux	170 mm	170 mm	192 mm	192 mm
Capacité de contournement	Largeur	300 mm	750 mm	750 mm
	Longueur	infinie	infinie	infinie





PLANIMÈTRES ROULANTS A DISQUE CORADI N^{os} 31 ET 32

DE TRÈS HAUTE PRÉCISION

Dérivé du Planimètre polaire à disque et du Planimètre roulant à sphère, le *Planimètre roulant à disque* réunit dans son principe les caractéristiques particulières aux deux précédents et que nous résumons plus loin.

D'après les données fondamentales et la grande expérience qui ont présidées à sa réalisation, le *Planimètre roulant à disque* est l'intégrateur idéal pour les techniciens qui ont à résoudre pratiquement les problèmes les plus variés dans le domaine de l'évaluation des aires.

CARACTÉRISTIQUES :

A) **PRÉCISION** : Comme tous les instruments construits par M. CORADI, le *Planimètre roulant à disque* est tout d'abord remarquable par sa *haute précision*. Parmi les facteurs principaux de cette précision citons :

L'interprétation mécanique toute spéciale.

Les soins méticuleux apportés à la construction, avec des procédés et un outillage uniques.

La disposition judicieuse de tous les organes.

La coordination parfaite de tous les mouvements, transmis par les engrenages micrométriques (à quatre dents au $\frac{m}{m}$) à contact élastique.

L'ajustage minutieux de l'ensemble des 75 pièces qui composent l'instrument.

Les dispositifs spéciaux de mise au point et de correction qui permettent de réaliser les conditions fondamentales de la haute précision.

L'Institut Mécano-Mathématique G. Coradi garantit d'une façon absolue, la précision de ses instruments, précision facilement contrôlable par l'opérateur lui-même, car parmi les accessoires de chaque planimètre figure un disque ou une règle de contrôle permettant d'effectuer des contournements de cercles dont la surface est connue (Voir Fig. II).

B) **SÉCURITÉ D'EMPLOI** : La réunion des caractéristiques particulières aux deux instruments dont il est dérivé, confère au *Planimètre roulant à disque* le *maximum de sécurité d'emploi*.

L'indépendance totale de la roulette intégrante qui se meut toujours sur un disque tournant approprié assure la grande précision des résultats accusés quels que soient la nature et l'état de la surface considérée.

La roulette intégrante, organe essentiel du planimètre, est exécutée en acier dur spécial et inoxydable obtenu par nos méthodes scientifiques de traitement thermique et de trempe.

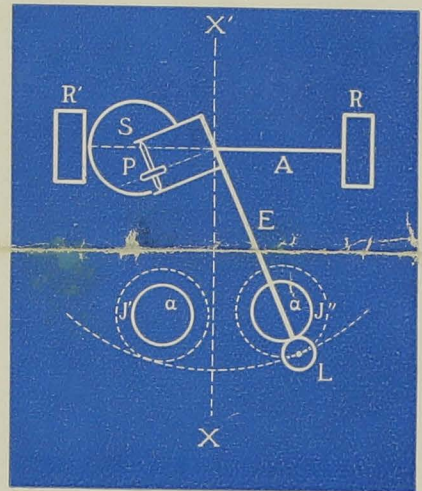
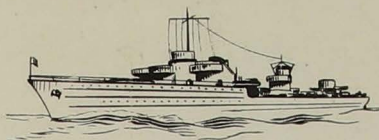


Fig. II



Par la position même de la roulette intégrante et de son vernier qui permet d'apprécier un millième de tour de celle-ci, la lecture du résultat enregistré se fait facilement avec la plus grande exactitude. Les graduations du système enregistreur, rigoureusement précises, gravées sur celluloid blanc, sont très apparentes.

On détermine avec la même exactitude à l'aide d'un dispositif micrométrique qui permet d'apprécier le $1/20^e$ de m/m , les longueurs d'ajustage du bras moteur, gradué en $1/2 m/m$.

La moindre impulsion donnée à la loupe de contournement (ou au traçoir) est transmise à l'appareil intégrateur par l'intermédiaire des engrenages micrométriques à contact élastique. Ce contact élastique a pour but d'éviter un arrêt dans les transmissions de mouvements ou une déviation dans la marche rectiligne du chariot pouvant être provoqués par des poussières ou par tout corps étranger égaré entre les roues dentées.

Les surfaces de roulement des rouleaux du chariot sont finement striées de façon à éviter tout déplacement latéral de l'instrument.

Le **Planimètre roulant à disque**, de construction plus robuste que le planimètre roulant à sphère, possède une **grande stabilité** assurée par son propre poids.

Comme dans tous les planimètres CORADI, le coefficient d'usure est pratiquement nul dans cet instrument qui réalise un intégrateur dont la sécurité d'emploi est contrôlée par de nombreuses années d'utilisation dans les bureaux d'études et laboratoires les plus divers.

C) **CAPACITÉ** : De par le principe même des planimètres roulants, le **Planimètre roulant à disque** est caractérisé par une **grande capacité de contournement**.

On peut, en effet, grâce aux unités de vernier très réduites (variant de $0,4$ à $2 m/m^2$) évaluer les plus petites surfaces pratiquement considérées jusqu'à une capacité maximum de **longueur infinie** et de **largeur égale à la longueur du bras moteur** (Voir "Capacité de contournement", tableau page 1).

Le mouvement angulaire du bras moteur est de 30^o à droite et à gauche de sa position de base, normale à l'axe des rouleaux.

L'ajustage de l'instrument peut se faire à **n'importe quelle échelle**. Chaque planimètre est accompagné d'une table indicatrice donnant les positions du vernier au bras moteur pour les échelles de plan les plus usuelles, ainsi que les valeurs de l'unité du vernier correspondantes.

La **mise en station** de l'instrument est **instantanée**.

D) **POSSIBILITÉS D'EMPLOI** : Les qualités que nous venons d'énumérer, jointes à la très haute précision mécanique et à la maniabilité parfaite du **Planimètre roulant à disque** donnent à cet instrument **les possibilités d'emploi les plus nombreuses et les plus variées, tant dans le domaine des sciences que dans celui des diverses industries**.

DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT :

Le **Planimètre roulant à disque** se compose essentiellement :

a) D'un **châssis B** supporté par deux **rouleaux R** et **R'** réunis par un **axe A** dont ils sont solidaires. Sur le rebord intérieur du rouleau **R'** se trouve un **engrenage** très finement taillé destiné à la transmission des mouvements longitudinaux de l'instrument.

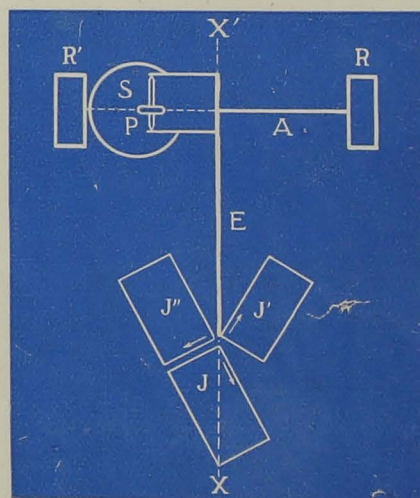


Fig. III





b) Du **bras moteur E**, supporté par le châssis **B** par l'intermédiaire de l'**entretoise H**, fixée elle-même au centre de ce dernier par l'axe **a**.

Le bras moteur **E**, gradué en $1/2 \text{ m/m}$, peut coulisser dans deux glissières pratiquées à la partie inférieure de l'entretoise **H**, ce qui permet de modifier sa longueur à volonté et de l'ajuster à toutes les échelles. De plus il est muni d'un **système micrométrique m** permettant d'apprécier le $1/20^{\text{e}}$ de m/m . A une de ses extrémités il porte le **traçoir F** ou la **loupe** de contournement **L** dite "**Loupe Saphir**" (Voir fascicule spécial).

c) Du **cadre M** fixé à la partie supérieure de l'entretoise **H** par deux vis qui lui servent d'axe. Ce cadre supporte l'**appareil enregistreur** composé de la **roulette intégrante P** avec son **vernier** et du **disque totalisateur Z**. Il peut être relevé en pivotant sur son axe ce qui facilite le nettoyage de l'instrument.

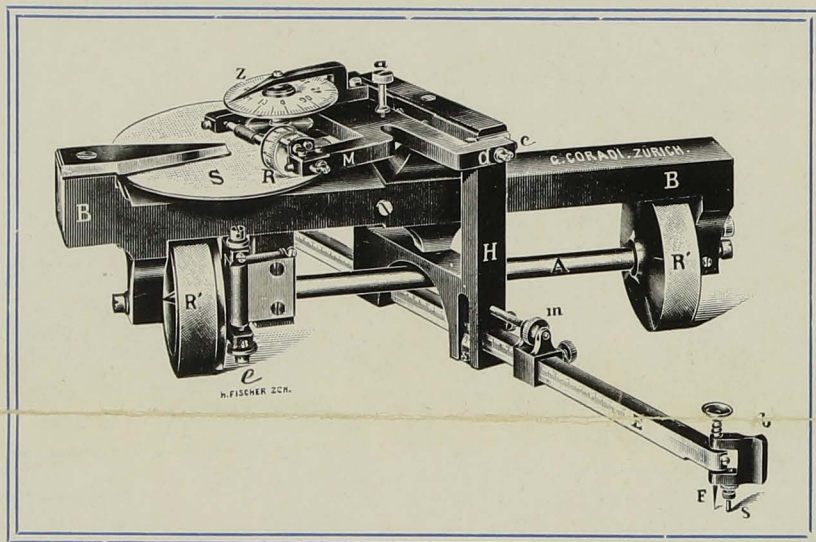


Fig. IV. — Planimètre roulant à disque N° 31. Type I avec traçoir.

d) Du **disque tournant S** supporté par le châssis **B** par l'intermédiaire de son axe vertical. Cet axe porte un petit **pignon R''** (invisible sur le cliché) qui vient engrener élastiquement avec la couronne dentée **R''** du rouleau **R'** et transmet ainsi les mouvements de ce dernier au disque **S**.

Ce disque dont le plan présente une surface parfaitement unie sert de champ d'évolution à la roulette intégrante ; c'est lui qui la supporte et lui transmet ses mouvements.

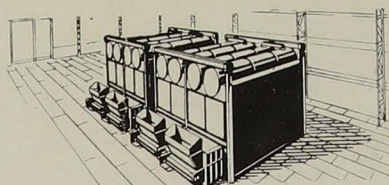
Une **vis de pression T** permet de bloquer le chariot. Les **vis molletées U** et **V** permettent respectivement d'interrompre le contact de l'axe du disque **S** avec la couronne dentée **R''** et celui de la roulette intégrante **P** avec la surface du disque **S**. Ces précautions sont nécessaires lorsque l'instrument est au repos, pendant l'ajustage du bras moteur et pendant le nettoyage des différents organes.

Pour se servir du **Planimètre roulant à disque** on le place sur le plan (Voir Fig. III) et on suit avec le traçoir ou avec la loupe de contournement le périmètre de la surface considérée. Pendant cette opération les rouleaux **R** et **R'** se déplacent selon l'axe de l'instrument (axe des **x**), transmettant ainsi leurs mouvements au disque **S**.

Le disque tournant **S** transmet lui-même ses mouvements à la roulette intégrante **P** par simple contact ; l'amplitude de ces mouvements est fonction de la distance de la roulette intégrante au centre du disque **S** et partant de l'angle fait par le bras moteur avec l'axe des **x**.

Enfin la roulette intégrante transmet son mouvement au disque totalisateur **Z** par l'intermédiaire de la vis sans fin qui se trouve sur son axe.

Après le contournement il suffit de relever sur l'appareil enregistreur la valeur de la surface cherchée, comme nous allons le voir.



THÉORIE : D'après Monsieur PAUL BOISSEAU, Ingénieur des Arts et Manufactures,

Soit C la courbe plane limitant l'aire à mesurer (Voir Fig. V).

Le planimètre étant posé sur le plan, soient $x'x$ un axe perpendiculaire à l'axe A de l'appareil et passant par l'axe de pivotement a, O une origine quelconque sur $x'x$ et Oy un axe perpendiculaire à $x'x$.

Désignons par :

- r le rayon des rouleaux RR' ;
- K le rapport du nombre de dents du pignon R''' à celui de la couronne R'' ;
- b la distance des deux axes a et D ;
- l la longueur aL du bras moteur E ;
- v la distance DP de l'axe D au centre de la roulette intégrante P ;
- Y l'ordonnée GL de la loupe L à un moment donné ;
- β l'angle GaL correspondant, qui est égal à l'angle DaP ;
- γ l'angle aPD .

Lorsque la loupe L parcourra la courbe C , le chariot du planimètre se déplacera parallèlement à l'axe Ox et le point a restera sur cet axe.

Imprimons à l'appareil un déplacement élémentaire qui amène le bras moteur en $a_1 L_1$ et posons $aa_1 = dx$. Menons $a_1 L_2$ parallèle à aL et désignons par $d\varphi$ l'angle élémentaire $L_2 a_1 L_1$.

L'aire élémentaire $d\sigma = aa_1 L_1 L$, balayée par le bras moteur, peut être considérée comme la somme des deux aires $aa_1 L_2 L$ et $a_1 L_2 L_1$, ce qui, aux infiniments petits du second ordre près permet d'écrire : $d\sigma = Y dx + \frac{l^2 d\varphi}{2} \dots (1)$.

Or, on peut ramener le déplacement élémentaire considéré du planimètre à un roulement dx , entraînant tout le système, suivi d'une rotation $d\varphi$ du bras moteur.

Pendant le roulement dx , la distance $DP = v$ ne change pas puisque tout l'appareil se déplace en même temps : les rouleaux RR' ayant parcouru dx , le disque S aura tourné d'un angle $K \frac{dx}{r}$ et le déroulement $d\Delta$ de la roulette intégrante sera : $d\Delta = K \frac{dx}{r} v \sin \gamma \dots (2)$.

D'autre part, la rotation $d\varphi$ du bras moteur ne fait pas tourner la roulette intégrante, mais la fait seulement glisser perpendiculairement à son plan. Par conséquent la formule (2) donnera bien la rotation totale de la roulette intégrante P pour le déplacement considéré du planimètre.

Or, l'examen des triangles DaP et aGL permet d'écrire :

$$\frac{v}{\sin \beta} = \frac{b}{\sin \gamma} \text{ et } \sin \beta = \frac{Y}{l}$$

D'où : $v \sin \gamma = Y \frac{b}{l}$

La relation (2) donne alors : $d\Delta = \frac{K b}{r l} Y dx \dots (3)$.

L'aire élémentaire $d\sigma$ aura donc pour valeur, d'après la formule (1) :

$$d\sigma = \frac{r l}{K b} d\Delta + \frac{l^2 d\varphi}{2} \dots (4)$$

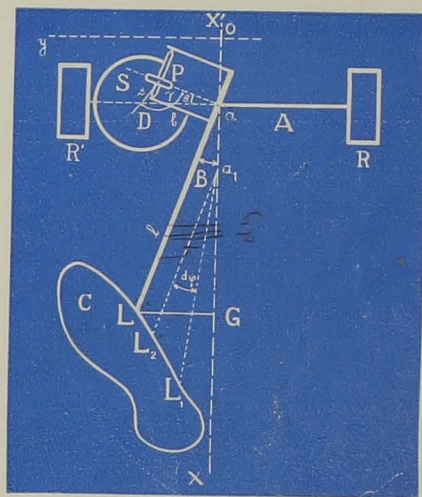


Fig. V

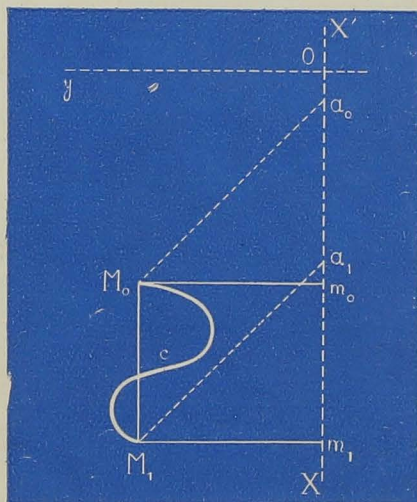


Fig. VI





L'intégration de cette équation donnera la valeur σ de la surface balayée par le bras moteur lorsque la loupe de contournement parcourt la courbe C :

$$\sigma = \frac{r l}{K b} \Delta + \frac{l^2}{2} (\varphi_1 - \varphi_0) \quad (5).$$

Si l'ordonnée finale de la courbe C est égale à l'ordonnée initiale, ce qui a lieu en particulier pour tout contour fermé, l'angle φ reprendra la même valeur au commencement et à la fin de l'opération, alors $\varphi_1 = \varphi_0$ et la formule (4) donne :

$$\sigma = \frac{r l \Delta}{K b} \quad (6).$$

Lorsque le contour C est fermé, son aire est égale à la surface σ balayée par le bras moteur du planimètre.

Si le contour C est ouvert, tout en ayant ses ordonnées extrêmes égales ($M_0 m_0 = M_1 m_1$), comme cela a lieu sur la Fig. VI, σ représente la surface $a_0 M_0 C M_1 a_1$ balayée par le bras moteur, ou, ce qui revient au même, l'aire $m_0 M_0 C M_1 m_1$. C'est donc la valeur de cette dernière que fournira le planimètre.

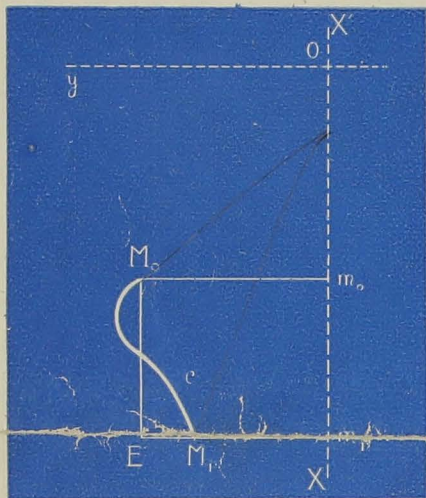


Fig. VII

Si l'ordonnée finale de la courbe C n'est pas égale à l'ordonnée initiale, comme cela se produit sur la Fig. VII, on complètera l'arc $M_0 M_1$ de cette courbe par un segment $M_1 E$ de telle façon que les ordonnées des points M_0 et E soient égales ; puis on fera parcourir à la loupe du planimètre le chemin $M_0 C M_1 E$. L'appareil enregistreur donnera alors la valeur de l'aire $m_0 M_0 C M_1 m_1$.

Ces observations étant faites, la relation (6) devient une formule générale qui s'applique quelle que soit la forme de la courbe C .

En désignant par n le nombre de millièmes de tours de la roulette intégrante (de rayon ρ), correspondant au déroulement Δ , cette relation prend la forme suivante :

$$\sigma = \frac{2 \pi \rho l r}{K b} n = H n \quad (7) \quad \text{en posant : } H = \frac{2 \pi \rho l r}{K b}$$

La constante H , qui dépend des dimensions des divers organes du planimètre est appelée *unité du vernier* : elle définit la précision de l'instrument. Dans la pratique, on a intérêt à rendre cette constante le plus faible possible en modifiant la longueur l du bras

moteur. C'est pour cette raison qu'il est recommandé, pour planimétrer une surface, de choisir toujours la plus petite longueur de bras moteur capable de la contourner.

Un tableau accompagnant chaque instrument, fournit les valeurs de la constante H en $1/10^0$ de $\frac{m}{m^2}$.

En multipliant le nombre H par le nombre de millièmes de tours indiqués par l'appareil enregistreur on obtient en $\frac{m}{m^2}$ la mesure de l'aire σ limitée par le contour C .

PLANIMÈTRE ROULANT A DISQUE CORADI N° 32 — Type III

DE TRÈS HAUTE PRÉCISION

AVEC DÉPLACEMENT RADIAL DE LA ROULETTE INTÉGRANTE

DESCRIPTION :

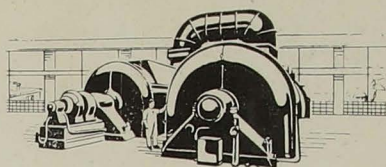
Le principe fondamental et la majeure partie des détails de fabrication de cet instrument sont les mêmes que pour le *Planimètre roulant à disque N° 31* décrit au début de ce fascicule.

Cependant le constructeur a apporté à ce nouveau type de planimètre un *important perfectionnement* qui réside dans la *translation radiale de la roulette intégrante* sur le disque tournant S .

L'appareil intégrateur est monté sur un *chariot W* dont le déplacement rectiligne, obtenu à l'aide d'un *levier C*, est normal à l'axe des x . Le levier C est relié à l'*entretoise H* du bras moteur E par un axe horizontal. L'extrémité d du levier C est accouplée au chariot W par une sphère en acier dur spécial qui coulisse sans aucun jeu dans une rainure de section cylindrique.

Ce dispositif de haute précision assure une coordination parfaite entre les mouvements angulaires du bras moteur et le déplacement radial de la roulette intégrante.





Grâce à sa translation radiale sur le disque tournant *S*, la roulette intégrante n'est soumise à aucun effort de glissement dans son mouvement de révolution ; elle effectue **uniquement des mouvements de rotation pure**. Les mouvements de translation et de révolution de la roulette intégrante qui sont les facteurs principaux de la précision d'un planimètre, sont réalisés ici dans les conditions les plus favorables. Il en résulte pour l'opérateur une sécurité et une précision maxima dans les résultats enregistrés par l'instrument.

Le bras moteur est d'une seule pièce. Il a une longueur de 550 ^m/_m et peut exécuter des mouvements angulaires d'une amplitude de 45° à droite et à gauche de l'axe des *x* de l'instrument. Il est donc aisé de contourner des surfaces de 780 ^m/_m de largeur et de longueur infinie.

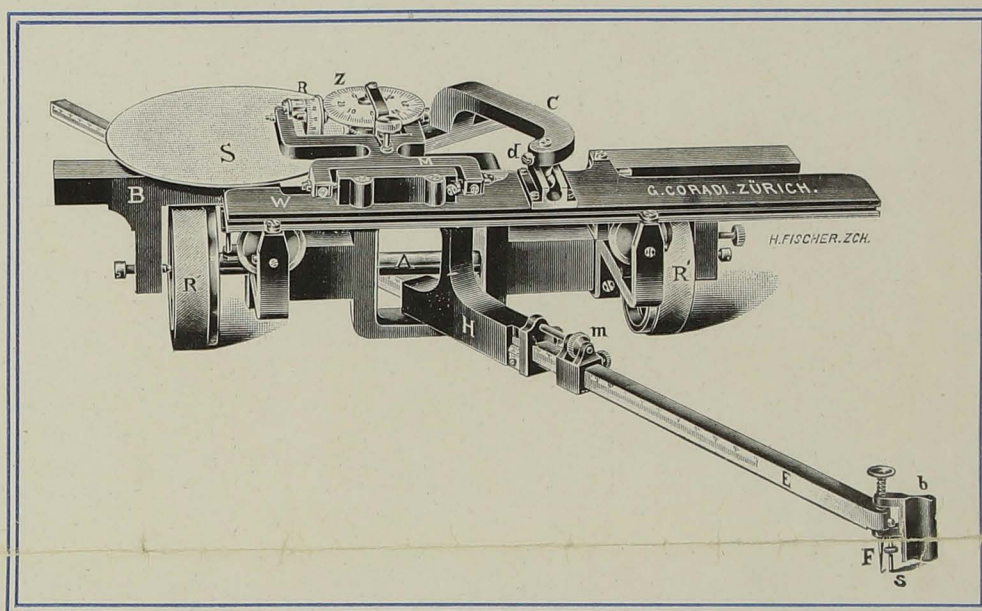


Fig. VIII. — Planimètre roulant à disque N° 32 — Type III.

Ainsi on peut par exemple évaluer en une seule fois l'aire d'un plan du format "Grand Aigle" (70 × 100 ^m/_m). Après contournement d'une surface aussi considérable le résultat enregistré sur la base de vernier de 2 ^m/_m² est garanti supérieur au 1/2000^e.

Cet exemple pratique illustre de la façon la plus éloquente les qualités du *Planimètre roulant à disque N° 32* : **parfaite maniabilité — grandes possibilités de contournement — très haute précision.**

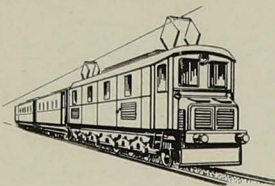
THÉORIE :

Lorsqu'on effectue avec le bras moteur *E* un mouvement angulaire, le déplacement rectiligne du chariot *W* et partant celui de la roulette intégrante est toujours directement proportionnel au sinus de l'angle qu'il forme avec l'axe des *x*.

La révolution de la roulette intégrante est ainsi proportionnelle à *sinus β*, donc à *Y* ; et, comme le disque *S* tourne proportionnellement aux déplacements *dx* du planimètre, il s'ensuit que la rotation *dΔ* est proportionnelle à *Y (dx)* c'est-à-dire de même forme que celle définie par la relation (3) de la théorie déjà exposée.

En remarquant que le point de contact de la roulette intégrante est au centre du disque tournant *S* lorsque la loupe de contournement (ou le traçoir) se trouve sur l'axe *Ox* on arrive, par une théorie identique à celle exposée pour le Planimètre N° 31, aux mêmes conclusions.

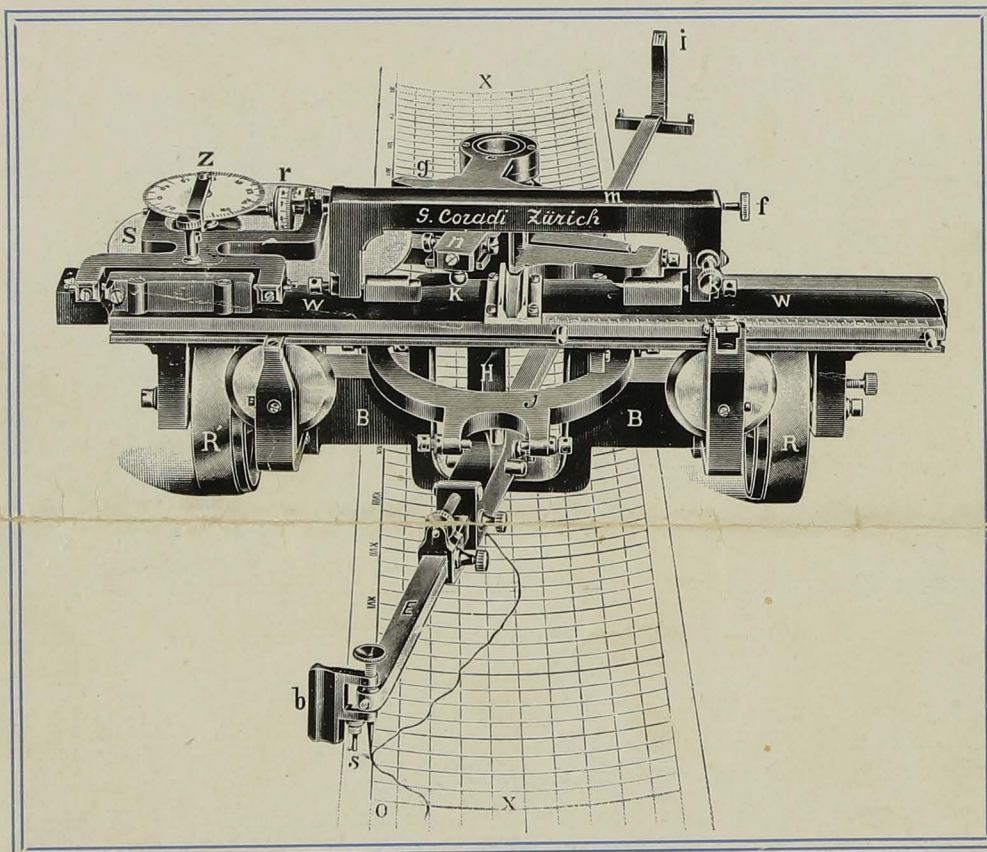
Le *Planimètre roulant à disque N° 32* est le fruit d'une expérience de 75 années au cours desquelles l'*Institut Mécano-Mathématique G. Coradi* a construit plus de 50.000 planimètres. Sa très haute précision, garantie de façon absolue, n'est atteinte par aucun instrument similaire. Il se place donc au sommet de la gamme de tous les planimètres construits jusqu'à ce jour.



PLANIMÈTRE ROULANT A DISQUE CORADI N° 32 — Type IV DE TRÈS HAUTE PRÉCISION

Ce Planimètre a été construit pour la mesure de toutes les aires et tout particulièrement pour l'intégration des diagrammes d'enregistreurs dont les ordonnées α sont des arcs de cercle.

Il donne les deux intégrales : $\int \sin \alpha (dx)$ et $\int \text{arc } \alpha (dx)$.



Le premier instrument de ce type a été construit pour le CHEMIN DE FER MÉTROPOLITAIN DE PARIS.

Il est semblable dans son principe au *Planimètre N° 32 — Type III* et donne la même précision. Il comporte en plus un dispositif permettant de faire mouvoir le chariot *W* soit en fonction de $\sin \alpha$ au moyen du levier *C* soit en fonction de l'arc α au moyen d'un segment denté centré sur le bras moteur *E* et sur lequel vient engrener une crémaillère adaptée au chariot *W*.

Dès que le segment est engrené, le levier sort de sa conduite et son action est interrompue (et vice versa).

Lors de la commande il convient d'indiquer la longueur du rayon des arcs figurant les ordonnées et la largeur des diagrammes à étudier.

