LES

PLANIMÈTRES CORADI

Systèmes Hohmann-Coradi et Lang-Coradi.

THÉORIE GÉNÉRALE

Description, Emploi et Fonctionnement des Planimètres

et

leurs résultats pratiques

par

G. CORADI, ZURICH

1897

Prix 1 Fr.

A PARIS
Papeterie Cabasson, 29 rue Joubert.

Imprimerie C. Aschmann, Zurich
1897.

LES

PLANIMÈTRES CORADI

Systèmes Hohmann-Coradi et Lang-Coradi.

THÉORIE GÉNÉRALE

Description, Emploi et Fonctionnement des Planimètres

et

leurs résultats pratiques

par

G. CORADI, ZURICH

1897

Prix 1 Fr.

Imprimerie C. Aschmann, Zurich
1897.

Table des matières.

		Page.
I.	Introduction	5
II.	Théorie générale du planimètre	6
III.	Influence du frottement de l'axe sur le mouvement de la roulette	10
IV.	Règles générales, applicables à tous les planimètres	12
V.	Organes communs, à peu d'exceptions près, à tous les planimètres, savoir:	14
	1° La tige motrice	14
	2° Le traçoir avec poignée et support	14
	3° La roulette intégrante, le compteur et leurs divisions	15
	4° Le nombre constant pour le cas où le pôle se trouve à l'intérieur de la figure	17
	5° La table indicatrice dans l'intérieur de l'étui	17
	6° La règle de contrôle	18
VI.	Description des différents modèles de planimètres	19
	1° Le planimètre roulant à sphère	19
	2° Le planimètre de précision à disque	21
	3° Les planimètres à compensation	23
VII.	Emploi des planimètres	27
	1° Règles spéciales pour le planimètre roulant	27
	2° Règles spéciales pour le planimètre à disque	28
	3° Règles spéciales pour le planimètre à compensation	29
	4° Règles générales pour tous les planimètres	29
VIII.	Vérification des planimètres	32
IX.	Calcul de la longueur de la tige motrice pour des échelles différentes au moyen de la division gravée sur la tige	36
X.	Rendement des différents planimètres	38
XI.	Table pour l'emploi de la règle de contrôle	39

Reproduction interdite sans indication d'auteur.
Droit de traduction réservé.

I. Introduction.

L'exactitude du calcul des surfaces dépend tout d'abord de la précision avec laquelle ont été déterminées les mesures linéaires. La surface des terrains d'une grande valeur est généralement calculée au moyen des cotes directes, relevées sur le terrain; mais plusieurs ingénieurs-géomètres d'une notoriété incontestée affirment qu'à l'aide de *mes planimètres* les surfaces peuvent s'obtenir avec une précision égale, à la condition:

1° que l'échelle du plan de la surface à calculer soit exactement en rapport avec l'étendue de cette surface;

2° que l'opérateur connaisse à fond le maniement de son planimètre. C'est là précisément le but que je me suis proposé dans ce mémoire.

On appelle *planimètre* tout instrument, destiné à mesurer sur un plan et par un *procédé mécanique,* soit une distance, soit une aire. Les planimètres, décrits ci-après, sont construits de façon à faire ressortir les superficies conformément aux mesures prises sur le terrain. Les instruments qui satisfont à cette condition s'appellent *planimètres à contournement,* parcequ'ils permettent, en contournant simplement avec le traçoir un polygone fermé, de lire un chiffre qui est directement proportionnel à la surface de la figure contournée.

Le planimètre à contournement est composé en principe de deux parties essentielles:

a) d'une tige horizontale*) dont l'une des extrémités porte une pointe verticale, *le traçoir,* tandisque l'autre bout de la tige, formé par un axe vértical, est forcé, par une disposition spéciale, de se mouvoir selon une ligne nommée *ligne directrice* ou *directrice* tout court. Cette ligne peut avoir la forme d'une courbe quelconque, mais, dans la pratique, on n'emploie réellement comme „directrice" que le cercle — planimètre polaire — ou la droite — planimètre linéaire ou roulant;

b) d'une roulette facilement mobile autour de son axe et reliée à la tige de telle manière que cet axe soit horizontal et parallèle au plan vertical que l'on suppose mené par l'axe, autour duquel se meut la tige, et la pointe extrême du traçoir. Le pourtour de la roulette, dite *roulette intégrante,* porte des divisions qui donnent la mesure de la déviation latérale de la tige pendant le contournement. Cette mesure, multipliée par la longeur de la tige, *donne alors la contenance de la figure contournée.*

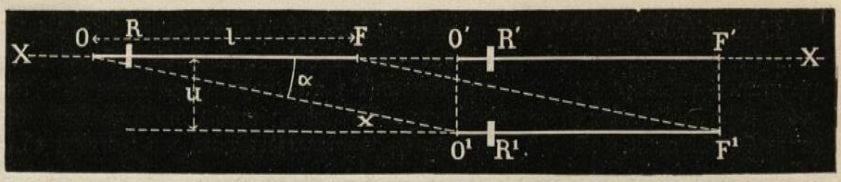
---

*) Il faut supposer, bien entendu, que le planimètre soit utilisé sur un plan horizontal et parfaitement uni.

II. Théorie générale du Planimètre.

Une aire est le produit du mouvement d'une ligne, pourvu que ce mouvement ne s'effectue pas dans le sens même de la ligne. Supposons une ligne déterminée se déplaçant parallèlement à sa direction première, l'étendue de l'aire, formée par le mouvement de la ligne, sera représentée par le produit de la longneur l de la ligne et la distance directe u entre les deux positions (avant et après le mouvement) de la ligne. Lorsque celle-ci est une courbe, il faut prendre la distance u entre deux tangentes parallèles. (Fig. 1.)

Fig. 1.



Supposons que cette ligne déterminée soit une droite et représentée par une tige $O\,F$. A l'une de ces extrémités est adaptée la pointe F comme traçoir, à l'autre l'axe vertical O. Reliée à cette tige et reposant sur le plan, se trouve une roulette R dont l'axe est horizontal et parallèle à $O\,F$; elle pivote autour de son axe sans aucun frottement.

Lorsque cette tige se déplace, dans la direction de son axe, jusqu'en $O'\,F'$, elle ne produit point d'aire et la roulette R dont l'axe reste parallèle à sa direction primitive, n'a exécuté aucun mouvement rotatoire: elle n'a fait que glisser.

Appelons cette position de la tige *position fondamentale* ou *normale,* tandisque la ligne décrite par la pointe durant le mouvement de la tige est dénommée la ligne fondamentale ou *base.* Nous la désignerons dorénavant par les lettres $X\,X$.

La tige continue son mouvement et arrive en $O_1\,F_1$: elle a produit une surface rectangulaire, pendant que la roulette, opérant un mouvement perpendiculaire à son propre axe a déroulé un arc u dont la longueur équivaut à la distance directe entre les deux positions de la tige. Il s'ensuit que la surface S*) du rectangle $O'\,F'\,O_1\,F_1$, ou $O\,F\,O_1\,F_1$ est $= l \times u$, ce qui veut dire:

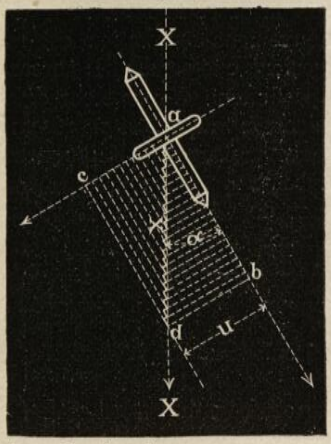
La surface de l'aire, effleurée par la tige, n'est autre chose que le produit de la longueur de la tige par la mesure directe de son déplacement latéral, ou, en désignant de nouveau par $X\,X$ la position normale de la tige, cette surface est égale au produit de la longueur de la tige par la distance directe entre celle-ci et sa position normale. Si l'on amène la tige directement de la position $O\,F$ sur la ligne $O_1\,F_1$, le mouvement de la roulette se composera d'un nombre infini d'infiniment petits mouvements glissants, parallèles à $X\,X$, et d'autant d'infiniment petits mouvements rotatoires, perpendiculaires à l'axe de la roulette. La somme de ces derniers forme l'arc u, tandisque les mouvements glissants ne produisent rien.

---

*) La lettre S est remplacée plus tard par $\mathcal{F}$.

Si nous ramenons la tige de $O_1 F_1$ en $O F$, soit directement, soit en lui faisant faire un détour par $O' F'$, il se produira un mouvement rotatoire en sens inverse absolument de la même importance: la surface produite se réduira exactement à zéro, la même aire ayant été effleurée une fois dans le sens positif, la seconde fois dans le sens négatif. Puisque tous les parallélogrammes de même base et de même hauteur sont d'égale surface, il est indifférent que la tige ait été ramenée dans la position normale $X X$ par un chemin ou par un autre; le produit total du mouvement sera toujours égal à zéro.

Fig. 2.



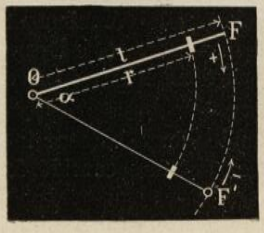
Lorsque le point d'appui de la roulette se déplace de d en a, Fig. 2 (c'est-à-dire dans un sens oblique à son axe) ce mouvement se compose d'infiniment petits mouvements, les uns perpendiculaires, les autres parallèles à l'axe de la roulette. Les premiers actionnent la roulette et produisent finalement à l'arrivée au point a la longueur $a\,c = b\,d = u$. Les seconds ne se traduisent que par un glissement de la roulette dont l'effet total, après l'arrivée au point a, est égale à la ligne $a\,b$. *Le déroulement u de la roulette est égal au chemin x, parcouru par le point d'appui multiplié par le sinus de l'angle que forme l'axe de la roulette avec la ligne suivie par son point d'appui.* Désignons cet angle, $b\,a\,d$, par α, nous avons donc la surface

$$u = x \,.\, \sin \alpha \qquad (1)$$

$$S = l\,u = l \,.\, x \,.\, \sin \alpha \qquad (2)$$

Lorsque la tige $O\,F$ évolue autour de son axe vertical O de manière que la pointe trace un arc de cercle $F\,F'$, la tige effleure un secteur avec l'angle α au centre. (Fig. 3.)

Fig. 3.



Soit r la distance entre la roulette et le centre d'évolution O, nous avons pour le déroulement u la valeur

$$r\,\alpha, \text{ d'où } \alpha = \frac{u}{r} \qquad (3)$$

et la surface S parcourue par la tige

$$\frac{l^2\,\alpha}{2} = \frac{l^2\,u}{2\,r} \qquad (4)$$

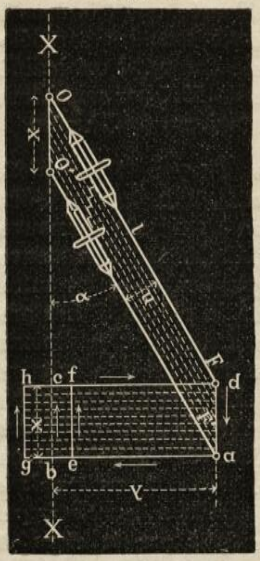
Pour un contournement complet le nombre proportionnel est $= \frac{u}{r} = 2\,\pi$, ce qui donne $u = 2\,r\,\pi$ et $S = l^2\,\pi$. (5)

Si la tige est ramenée à son point de départ sans avoir fait un tour entier autour de son axe vertical, le secteur est effleuré en sens inverse ou négatif: l'arc u, ainsi que la surface parcourue S, se réduisent à zéro.

D'après ce qui précède et en examinant la figure 4, on comprend sans peine qu'en faisant faire à la pointe F le chemin de d en a, la roulette déroulera la longueur u. Ce chiffre, multiplié par la longueur l de la tige,

donne la contenance de la figure contournée *a b c d*. Le chemin parcouru par la pointe de *a* en *b* est annulé par le mouvement en sens inverse de *c* en *d*.

Fig. 4.



La figure 4 démontre encore que la roulette peut être adaptée à n'importe quel endroit de la tige motrice; elle peut même être fixée en dehors de la tige, pourvu que son axe reste parallèle à celle-ci et parallèle au plan sur lequel la roulette s'appuie.

Si nous conduisons la pointe *F* de *b* en *c*, c'est-à-dire en suivant la base, la roulette ne fait que glisser; son mouvement de rotation est nul. Ce n'est donc uniquement que pendant le parcours de *d* en *a* qu'il se produit un déroulement *définitif* de la roulette, dont la valeur est représentée par la hauteur d'un rectangle, ayant la longueur *l* de la tige *O F* pour base.

Ceci nous permet de déterminer les valeurs algébriques de la surface contournée.

1° A droite de la base *X X* ou à l'extérieur du cercle fondamental, le sens du contournement est positif,
de *O* en *F* le déroulement de la roulette est positif,
de *F* en *O* le déroulement de la roulette est négatif. (7)

2° A gauche de la base *X X* ou à l'intérieur du cercle fondamental, le sens du contournement est négatif,
de *O* en *F* le déroulement de la roulette est positif,
de *F* en *O* „ „ „ „ „ „ négatif.

Si, au lieu de suivre la base, la pointe *F* suit la ligne *e f*, la direction dans laquelle elle contourne, est positive, tandisque le déroulement de la roulette de *e* en *f* est négatif et la portion d'aire *e b c f* est à retrancher de la figure *a b c d*, puisque $(+l) \times (-u) = -lu$. Mais aussitôt que la pointe *F* franchit la base, le sens du contournement devient négatif et le déroulement devient également négatif. La roulette ajoute donc, en quelque sorte à la figure *a b c d* l'aire *b g h c* et son déroulement définitif est proportionnel à la surface totale contournée *a d h g*, attendu que $-l \times -u = +lu$.

Supposons que l'aire *a g h d* représente un rectangle d'une hauteur infiniment petite; il en résulte que n'importe quelle figure peut être considérée comme une agglomération de rectangles de ce genre.

Si la ligne directrice (de même que la base) est un cercle (planimètre polaire) les éléments, composant le polygone à contourner, sont des trapèzes d'une hauteur infiniment petite et délimités par des rayons et des arcs de cercle.

Pendant que la pointe suit les deux rayons, la tige *O F* effleure la même surface d'abord positivement, ensuite négativement. D'autre part, pendant que la pointe suit *la base,* la tige *O F* effleure successivement et dans un sens négatif, les éléments de surface situés entre la base et la directrice; mais, en suivant un arc de cercle situé en dehors de la base, ces mêmes éléments sont

de nouveau effleurés par la tige dans un sens positif et ces deux résultats s'annulent mutuellement. Donc, en suivant un arc de cercle, placé *en dehors* de la base, il ne reste comme aire effleurée positivement que la figure délimitée par cet arc, les deux rayons et la base.

Si, au contraire, la pointe suit un élément d'aire situé *à l'intérieur* de la base, la tige $O\,F$ effleure négativement un élément de surface, compris entre le cercle fondamental et la ligne directrice, mais seulement jusqu'à concurrence de la portion d'élément non comprise dans la figure contournée.

Le procédé est donc le même au point de vue du résultat final; il est seulement un peu plus compliqué que lorsqu'on adopte une droite comme ligne directrice.

En résumé, *la surface S* (aire) *contournée avec la pointe,* est toujours:

a) $S = l \times u$ ou $S =$ à un rectangle ayant pour base (l) la longueur de la tige $O\,F$ et comme hauteur la mesure directe du déplacement latéral de la tige (voir Fig. 4),

ou bien:

b) $S = y \times x = l \times \sin \alpha \times x =$ à la distance directe entre la pointe et la position normale de la tige, multipliée par la valeur Y du mouvement en avant, sur la directrice, du point O.

Nous avons vu que le déplacement latéral de la tige $O\,F$ est mesuré par le déroulement u de la roulette.

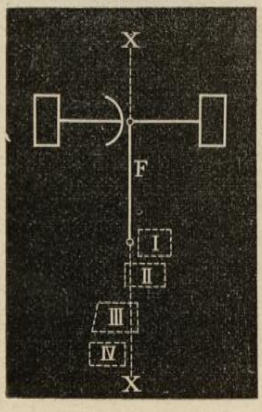
Si celle-ci repose sur le plan, la valeur u est $= x \times \sin \alpha$. Mais lorsque la roulette, au lieu de se mouvoir directement sur le plan, se meut sur un disque ou une sphère dont la rotation est proportionnelle au mouvement x du point O le long de la directrice, le chemin x parcouru par la roulette sur le disque ou la sphère, se trouve augmenté. Il en résulte que la roulette peut indiquer des portions d'aire plus minimes. L'équation (2) reste juste, elle ne fait qu'adopter une forme d'une application plus générale:

$$S = l \times u \times c = l \times \sin \alpha \times x \times c \qquad (8)$$

où c est un nombre constant qui dépend des dimensions de l'instrument.

En conduisant la pointe, dans la position normale de la tige, le long de la base $X\,X$, l'axe de la roulette demeure constamment parallèle à la direction suivie par son point d'appui: la roulette, au lieu de tourner, ne fait que glisser.

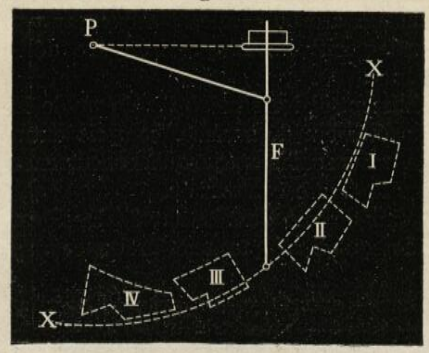
Fig. 5.



Nous appellerons donc cette direction *ligne de glissement.* Lorsque la „directrice“ est une droite comme c'est le cas pour le planimètre rectangulaire ou roulant, la „base“ et la „directrice“ se confondent dans la même ligne, ou bien, elles forment deux droites parallèles (voir Fig. 5). Si, par contre, la roulette est mûe par une sphère, la ligne de glissement se réduit en un *point:* le pôle de la sphère; ou bien encore, elle forme un petit cercle dont le rayon équivant à la distance verticale entre l'axe de la sphère et l'axe de la roulette.

Pour le *planimètre polaire* (voir Fig. 6) la directrice est un cercle. La position normale de la tige est telle, que le plan prolongé par la roulette, passe par le *pôle P*, c'est-à-dire par le centre d'évolution de tout

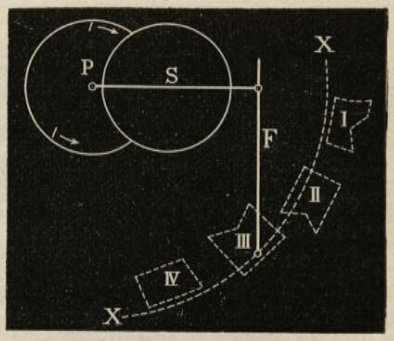
Fig. 6.



l'instrument. En faisant tourner la tige dans cette position normale autour du pôle, la pointe décrit la *base* XX, le point d'appui de la roulette suit la *ligne de glissement* et l'axe d'évolution de la tige suit la *directrice*. Ce mouvement produit donc trois cercles parallèles, ayant le pôle P pour centre commun.

Lorsque, au lieu de rouler sur le plan lui-même, la roulette fonctionne sur un disque tournant, placé sous la tige polaire (voir *planimètre-à-disque*, Fig. 7), l'angle droit, formé par la tige motrice F avec la tige polaire, est la *position normale*. Dans ce cas, la base est un cercle, tracé par la pointe autour du pôle, et la ligne de glissement un cercle, décrit sur le disque, et dont le rayon est égal à la distance entre le point d'appui de la roulette et le centre du disque, par lequel passerait le plan, mené par la roulette.

Fig. 7.



On voit que, dans le fonctionnement de tous les planimètres, il se produit un glissement de la roulette intégrante, lorsqu'on suit la *base*. Ce glissement atteint son maximum avec le planimètre polaire, dont la roulette touche directement le plan. Le minimum se produit avec le planimètre à sphère, toutefois sans disparaître entièrement.

III. Influence du frottement de l'axe sur le mouvement de la roulette.

Le glissement de la roulette a toujours été considéré comme la principale cause d'erreur dans l'emploi des planimètres. On attribuait généralement l'erreur à de légères rotations de la roulette pendant son glissement.

L'expérience de longues années m'a démontré que le glissement sans aucune rotation n'a lieu que lorsque la pointe décrit une parallèle très rapprochée de la base. Essayons d'expliquer ceci en quelques lignes:

Aucun objet ne se met en mouvement par lui-même; pour produire le mouvement, il faut l'action d'une force extérieure. Cette force doit nécessairement être supérieure à la résistance opposées par le poids de l'objet, le frottement et la force d'inertie.

Ainsi, une roulette assez finiment ajustée pour qu'elle tourne autour de son axe sans aucun frottement, ne tournera cependant que sous l'action d'une force suffisante pour vaincre la force d'inertie. Cette force d'inertie, grâce au peu de volume de la roulette, est bien minime, néanmoins, au début d'une

opération, lorsque la roulette suit la ligne de glissement et la pointe du traçoir la ligne fondamentale, elle *retardera* le mouvement de la roulette, tandisqu'en passant d'un mouvement rapide à un mouvement plus lent, elle produira plutôt une augmentation dans le déroulement de la roulette, par la vitesse acquise.

En dehors de cette cause, la résistance principale vient du frottement de l'axe dans les coussinets.

Envoisageant ce frottement de l'axe au simple point de vue de la mécanique, nous trouvons que:

a) *Le frottement est plus intense au début que pendant le mouvement de l'axe et il diminue en raison de la rapidité du mouvement.*

L'influence retardatrice du frottement est plus intense lorsque l'on suit avec le traçoir une ligne située tout près et parallèlement à la ligne fondamentale, où commence toujours le mouvement de la roulette; elle est moindre dans les parties éloignée de la fondamentale.

b) *Le frottement augmente avec la pression de l'axe sur ses coussinets.*

La pression sur l'axe, résultant du poids de l'instrument, est à peu de chose près la même dans toutes les positions de la tige motrice. Par contre le glissement de la roulette sur le plan produit une pression directe, répartie d'une façon très inégale sur les deux coussinets. On comprend sans peine que, plus la direction du mouvement s'approche d'une parallèle à l'axe de la roulette, plus cette pression augmente. L'effet retardateur du frottement atteindra donc le maximum, lorsque la ligne du mouvement touchera la base.

c) *Le degré de frottement est proportionnel au demi-diamètre des coussinets de tourillons et il augmente avec leur rugosité.*

Les effets, retardant le mouvement rotatoire de la roulette (résistances), sont d'autant plus sensibles que l'angle α entre la direction du mouvement et le point d'appui de l'axe de la roulette est plus aigu. En suivant la directrice même, où le mouvement rotatoire de la roulette doit être nul, ces effets retardateurs cessent d'exister. Le levier de la force qui doit surmonter ces résistances, ou „effets contraires", *n'a pas une mesure constante;* plus l'angle α sera aigu, plus le levier sera court.

La force qui fait tourner la roulette, est transmise, par suite de l'adhésion de la roulette au papier, à l'axe de la roulette par un levier de force égal au rayon r de la roulette (10 mm), lorsque le mouvement est perpendiculaire à l'axe (voir Fig. 8). — Si le mouvement se fait dans la direction de l'axe, le levier de force se réduit à zéro; en général:

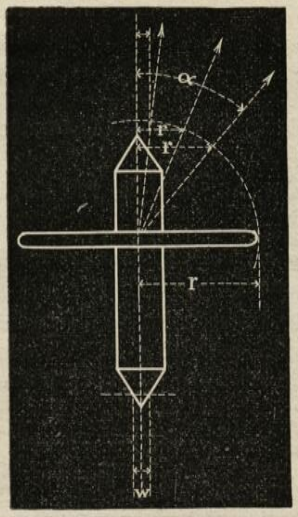
Si α est l'angle, compris entre la *direction* de la force et l'axe de la roulette, et r le demi-diamètre de celle-ci, nous obtenons pour le levier de force =

$$r \times \sin \alpha$$

d'où il résulte que le levier de *force* diminue à mesure que les force de résistances (effets contraires) augmentent.

Supposons (Fig. 8) le levier des résistances = au demi-diamètre du coussinet de tourillon = 0,1 mm (ce qui répond assez à la réalité), et que le sinus de l'angle soit 0,01, il arrivera que le levier de force et celui des résis-

Fig. 8.



tance se contrebalanceront et que, pendant les mouvements du support dans cette direction, la roulette, au lieu de tourner selon la formule $u = x \times \sin \alpha$, ne bougera pas.

Durant cette position angulaire de l'axe de la roulette vis-à-vis de la ligne de glissement et avec une longueur de tige de 160 mm, la pointe motrice se trouve à 1,6 mm à droite ou à gauche de la base. Appliquons ceci à la figure 4, en admettant que les sections d'aire *b c f e* et *b g h c*, aient chacune 1,6 mm de largeur et qu'elles soient contournées au moyen d'une tige de 160 mm, il est évident que la roulette n'aura point signalé ni la soustraction de *b c f e*, ni l'addition de *b g h c*. La surface totale annoncée sera trop forte dans le premier cas et trop faible dans le second.

IV. Règles générales applicables à tous les planimètres.

L'équilibre, cité dans le chapitre précédent entre la force et les „effets contraires", qui réagissent sur la roulette, peut subir un léger déplacement en faveur de la force, lorsqu'on choisit des coussinets de tourillon extrêmement délicats, et en munissant le pourtour des roulettes des planimètres à disque et à compensation d'une *„cannelure"* ou nombreuses rainures très fines, gravées à égales distances et parallèlement à l'axe, sur le bord de la roulette intégrante. Avec des instruments neufs, pour lesquels ces précautions ont été prises, l'influence nuisible de la proximité de la base ne se fera guère sentir dans les résultats, mais, pour maintenir l'instrument dans cet état favorable le plus longtemps possible, il est indispensable d'observer les 4 règles suivantes, valables pour tous les planimètres à roulette intégrante (roulette à sinus):

1° Pour tout planimètre, quel qu'il soit, l'axe de la roulette intégrante doit être ajusté dans des coussinets absolument irréprochables. Le jeu des pointes extrêmement fines de l'axe dans les coussinets doit être réglé mathématiquement, de sorte que la roulette puisse tourner avec la plus grande facilité, mais sans qu'il se produise le moindre ballottement aux extrémités de l'axe.

2° Dans tout planimètre, quel qu'il soit, il faut entretenir l'axe de la roulette avec le plus grand soin, le garantir de chocs ou de pressions extérieures, sous peine de voir diminuer rapidement la précision de l'instrument, car, sussitôt que les pointes extrêmes de l'axe sont endommagées, la roulette ne tourne plus selon la formule $u = x \times \sin \alpha$, et pour rétablir la précision du planimètre, il ne reste d'autres moyens que de le faire réparer.

3° En opérant, tout planimètre doit être placé de manière que les limites de la figure à calculer ne se trouvent ni trop rapprochées ni parallèles à la base.

Fig. 9.

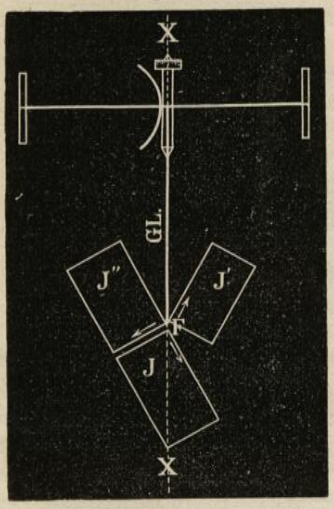


Fig. 10.

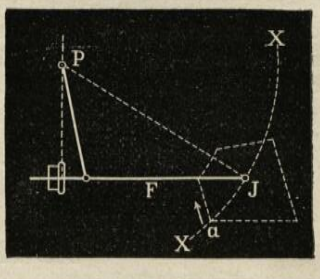


Fig. 11.

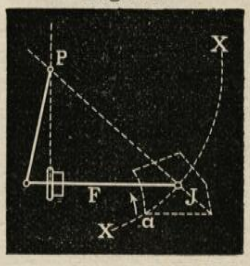
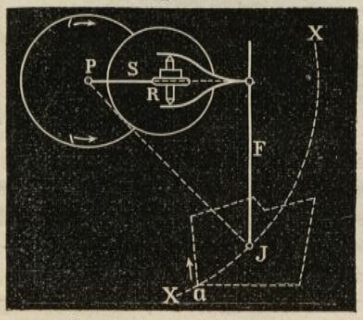


Fig. 12.



Les figures 9, 10, 11 et 12 représentent les positions respectives les plus favorables entre les divers planimètres et l'aire *J*, dont on veut déterminer la surface *S*. Sans tatonner long-temps, on obtient cette position favorable en observant la règle suivante:

4° On place la pointe au milieu de la figure à mesurer et le pôle P de façon que le plan, mené par la roulette, traverse le pôle de l'instrument. En se servant du planimètre roulant, il faut que la tige motrice et le rouleau intégrant forment un angle droit, et l'on commence l'opération dans cette position (par conséquent sur la base) au point *a*, où doit commencer le contournement; or c'est précisément sur la base que le rouleau exécute le moins de mouvements, de sorte que les erreurs de départ et d'arrivée du contournement ont le plus de chance de disparaître.

Les figures 5, 6 et 7 indiquent les positions *défavorables* de l'instrument par rapport au plan, *qu'il faut éviter le plus possible.*

L'opérateur qui suivra constamment les règles n° 2, 3 et 4, et qui se rendra compte le plus souvent possible de l'état de son planimètre au point de vue de la règle n° 1, obtiendra toujours d'excellents résultats.

Tout le monde est d'accord, que la nature du plan sur lequel on opère, influe beaucoup sur le déroulement de la roulette intégrante. Il n'est point indifférent, en effet, que les déroulements de la „roulette à sinus" s'opèrent sur un papier absolument uni ou sur une matière rugueuse; sur un papier à dessin à gros grain ou à fibres allongées; sans compter les surfaces ondulées et inégales d'une carte mal collée ou d'un plan chiffonné.

De là dérive **l'avantage incontestable et incontesté des planimètres à disque ou à sphère,** qui permettent à la roulette intégrante de fonctionner sur une surface uniforme et de donner en même temps des sections d'aire plus détaillées. Ces avantages sont assez considérables pour que ces instruments soient traités **avec plus d'égards** et entretenus avec un **soin particulier,** d'autant plus que le planimètre le plus simple demande des soins pour qu'il donne des résultats satisfaisants.

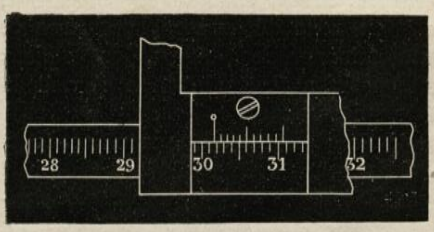
V. Organes communs, à peu d'exceptions près, à tous les Planimètres, savoir:

1° La tige motrice.

La „tige motrice" ou „bras moteur" est une tige creuse à section carrée, en maillechort ou en laiton nickelé.

Elle glisse dans un manchon, porteur de l'axe vertical, ce qui permet de varier à volonté la longueur l de la tige. La division gravée en $^1/_2$ mm, n'est pas une mesure absolue, elle n'a d'autre but que d'arrêter, à $^1/_{20}$e mm près, la longueur relative l de la tige pour des éléments de surface déterminés, correspondant à une tour de la roulette. A cette fin le manchon porte une facette argentée dont le vernier sert à orienter la tige rapidement et d'une manière exacte, pour les différentes échelles du plan. (L'orientation approximative se fait au moyen des marques spéciales, gravées sur la tige.)

Fig. 13.



La figure 13 donne comme mise-au-point du vernier sur la tige, le chiffre 301,5. La mise-au-point exacte — suivant les chiffres contenus dans la petite table collée dans l'étui — se fait au moyen d'une vis micromètrique qui tourne dans un manchon un peu plus petit que le premier, et voici comment:

On desserre d'abord la vis de pression du grand manchon, tout en serrant celle du petit (si elle ne l'est pas); ensuite on fait manoeuvrer la vis micromètrique jusqu'à ce que la lecture du vernier de la facette corresponde au chiffre demandé; sur quoi l'on serre la vis de pression du grand manchon et la tige motrice est ainsi immobilisée.

2° Le traçoir (pointe motrice) avec poignée et support.

Le traçoir est construit d'une façon uniforme pour tous mes planimètres et tel que la figure 17 (planimètre à disque) le représente:

Une pointe en acier trempé est maintenue par une vis de pression dans une position verticale à l'extrémité droite de la tige. Autour de la partie cylindrique de la pointe tourne la poignée b qui, elle même, porte une pointe S, arrondie dans le bas: c'est le *support*. Entre la poignée b et la tige se trouve un ressort à spirale qui tend à lever la tige, de sorte que la pointe fine du traçoir touche à peine le papier.

On saisit la poignée entre le pouce et le médius, puis, pour marquer le point de départ du contournement, ou pendant un arrêt momentané, on presse avec l'index sur la tête du troçoir.

Avant de se servir de la règle de contrôle, il faut, ou dévisser le support S, ou bien le lever au moyen de la rondelle cannelée, munie d'un pas-de-vis renversé.

3° La roulette intégrante, le compteur et leurs divisions.

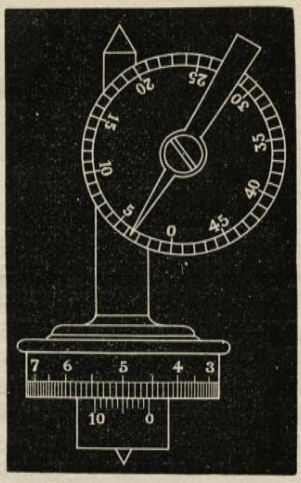
La roulette est l'organe essentiel et le plus délicat chez *tous* les planimètres. Les deux pointes de l'axe sont en acier trempé extra fin. L'axe est maintenu par deux boulons cylindriques, fixés de chaque côté du manchon-chassis qui porte l'appareil enrégistreur. L'une des extrémités de chaque boulon contient le coussinet du tourillon fraisé avec un soin tout particulier, tandisque dans l'autre bout du boulon s'emboîte le collet d'une vis de réglage ce qui donne au boulon la fonction d'un boulon à pression (planimètre-à-compensation). Dans les planimètres polaires l'axe porte un disque en alliage métallique à base de nickel, à bord arrondi, formant le bord de la roulette dont le diamètre fait foi pour le déroulement u de la roulette. On a choisi du nickel parceque, tout en étant suffisamment résistant, il n'est pas, comme par exemple l'acier, sujet à la rouille qui attaquerait la fine cannelure du disque et nuirait à l'exactitude du déroulement.

Dans les planimètres à sphère, le disque en nickel est remplacé par un cylindre que l'on peut imaginer formé par une droite absolue et parallèle à la tige motrice. Cette droite, par la tangente à la sphère, forme le diamètre du cercle de contact entre la sphère et le cylindre. Celui-ci augmente proportionnellement à $l \sin \alpha$, de sorte que le déroulement u du cylindre = surface = $K \cdot x \cdot l \cdot \sin \alpha$ (K désigne la sphère). Comme le cylindre ne fait qu'évoluer autour de la sphère, sans glisser dessus, il n'a pas besoin de cannelure; ce qui importe, c'est de tenir le cylindre toujours très propre. Son axe est fait d'une composition métallique peu sujette à s'oxyder.

Chaque axe à roulette intégrante porte un cylindre mobile en celluloïde blanc, divisé en 100 parties égales. Un segment de cylindre de la même matière est fixé tout contre le cylindre mobile, mais sans le toucher. Ce segment porte le vernier destiné à subdiviser encore en 10 parties chacune des unités de la division du cylindre, ce qui permet d'apprécier la millième partie de la circonférence de la roulette. Une portion de l'axe de celle-ci forme une vis sans fin qui fait mouvoir une roue-compteur, munie d'un engrenage à 10 dents pour les planimètres simples, ou à 50 dents pour les planimètres roulants ou à disque. L'axe de la roue compteur supporte un petit plateau rond en celluloïde, divisé en autant de parties égales que l'engrenage possède de dents. A chaque tour de la roulette la vis sans fin fait passer devant l'index une unité de la division de la roue-compteur; donc, chacune de ces unités représente un tour de la roulette, ou 1000 unités du vernier.

La figure 4 représente un exemple de lecture sur l'appareil enrégistreur d'un planimètre à disque. L'aiguille de la roue-compteur est entre le 3e et 4e trait de division, la roulette n'a donc fait que 3 tours entiers à partir de zéro.

Fig. 14.



Le premier chiffre de la lecture donne par conséquent	3000
Le 0 du vernier est entre 4 et 5, il n'y a donc que 4 centaines de déroulées entièrement, ci	400
Entre la 4e et 5e centaine le 5e trait des dizaines a franchi le zéro du vernier, ce qui donne	50
Et finalement le vernier lui-même signale encore	5
Le total de la lecture est donc . .	3455

Les boulons cylindriques qui contiennent les coussinets de l'axe de la roulette, sont logés dans un cadre en cuivre, où ils sont maintenus dans leur position respective par des vis de pression en acier. Il va sans dire qu'avant de changer les boulons de place, il faut desserrer ces vis, et les serrer de nouveau, lorsque le réglage des boulons a eu lieu. Ce réglage se pratique par une vis, en acier également, dont le collet de la tête saisit le boulon par une encoche et le déplace dans la direction de l'axe de la roulette. Inutile d'expliquer, pourquoi boulons et vis de réglage doivent être placés parallèlement.

Inutile de dire aussi que c'est l'affaire de l'opérateur pour juger jusqu'à quel point il doit avancer ou reculer les boulons à l'aide du mécanisme décrit ci-dessus. Je recommanderai d'ailleurs de ne jamais changer la position de l'axe pour le simple plaisir de tourner des vis, car l'expérience a démontré que l'axe d'un instrument, bien entretenu, ne change pas pendant plusieurs années; il est réglé de manière que, dans une température moyenne, la roulette tourne très vite au moindre attouchement — à moins, naturellement, qu'elle ne porte sur quelque chose. A cette occasion, qu'on me permette de formuler une remarque, sinon une prescription:

Il ne faut jamais tourner la roulette intégrante avec les doigts pendant qu'elle repose sur son point d'appui. Cette remarque s'applique à tous les planimètres sans exeption.

Un changement de température influe sur la marche de la roulette, par suite de la dilatation inégale des deux matières différentes employées dans la construction (le laiton pour le cadre et l'acier pour le rouleau). Après un séjour dans un endroit froid, la roulette aura de la peine à tourner; le déroulement ne se fera donc pas dans les règles voulues (voir chap. III et IV). Si, au contraire, le planimètre a été exposé aux rayons du soleil, le jeu des tourillons deviendra trop grand, ce qui nuira également au résultat de l'opération.

Mais, dans les deux cas, il ne faudra jamais s'aviser de vouloir régler la marche de la roulette au moyen des boulons. Dans le premier cas on rechauffera un peu l'appareil enrégistreur avec la main; dans le second cas on laissera l'instrument quelque temps à l'ombre, avant de s'en servir. — Par un temps frais, il sera bon d'opérer en ayant les croisées fermées.

Contrairement à ce que l'on prétend quelquefois, les autres modifications dans les dimensions de l'instrument, occasionnées par les changements de température, ne sont d'aucune influence sur les calculs des surfaces. La tige motrice s'allonge entre 0 et 100° C. à peu près de $^1/_{500}$ de sa longueur totale, mais, comme la température d'un bureau ne varie guère qu'entre + 10 à 30° C., la modification dans la longueur de la tige et par conséquent dans le déroulement u, serait tout-au-plus de $^1/_{2500}$.

4° La constante pour le cas où le pôle se trouve à l'intérieur de la figure.

Lorsqu'il s'agit de mesurer les figures plus étendues que ne le permet le mouvement de la pointe motrice, les planimètres dont la ligne directrice est un cercle (par exemple les planimètres polaires) peuvent être utilisés de telle façon qu'on place le pôle de l'instrument au milieu de la figure à calculer, après quoi on contourne le polygone dans le sens de l'aiguille du cadran. Lorsque le traçoir suit la base X X, la roulette suit la directrice, donc, au moment où la pointe revient au point de départ, après avoir fait une évolution entière autour du pôle, on ne constate aucun déroulement de la roulette. Mais la surface contournée est néanmoins $= r^2 \pi$ (r = distance du traçoir au pôle) ou, ce qui est la même chose: la surface est celle renfermée par la base $X X$.

Puisque le déroulement n'est pas enrégistré, on le remplace par une *constante* qui représente le déroulement de la roulette correspondant à cette surface, exprimé en unités de vernier. Ce nombre constant change pour chaque instrument et pour chaque nouvelle longueur de la tige motrice; cette constante est déterminée pour chaque instrument par des essais spéciaux.

Si la surface contournée est plus grande que l'aire, formée par la base X X, il est urgent d'augmenter le chiffre de la constante par celui du déroulement enrégistré; si, au contraire, la surface est plus petite, il faut retrancher le déroulement obtenu de la constante.

Cet emploi du planimètre est un peu compliqué, et le temps dépensé ne répond pas toujours à l'exactitude des résultats, de sorte qu'on n'en fait que rarement usage; les opérateurs lui préfèrent en général le mode de subdivision des grandes figures en sections plus petites.

5° La table indicatrice dans l'étui.

Chaque planimètre — à l'exception de ceux qui ne comportent qu'une seule et unique longueur de la tige motrice — est accompagné d'une petite table, collée à l'intérieur de l'étui et semblable à celle figurée ci-après. Cette table contient les longueurs de tige et les valeurs de l'unité du vernier, propres à l'instrument en question et qui correspondent à 4 ou 5 échelles de réduction différentes. La table des planimètres polaires indique en outre les constantes pour quelques échelles de plan.

Echelles	Position du vernier au bras mobile	Unité du vernier à la roulette		Nombre constant
1 : 1000	318 . 3	10 m² (1 : 1)	10 mm²	22173
1 : 500	255 . 1	2 „	8 „	23154
1 : 2500	203 . 5	40 „	6,4 „	25932
1 : 2000	158 . 8	20 „	5 „	—
1 : 5000	126 . 9	100 „	4 „	—

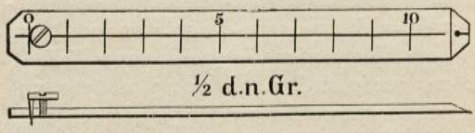
La première colonne indique l'échelle du plan dont on veut calculer la surface; la seconde donne les longueurs de tige, exprimées en unités du vernier de la facette; dans la troisième sont indiquées:

1° La valeur d'une unité du vernier de la roulette, c'est-à-dire le coefficient par lequel le chiffre *u* du déroulement, obtenu après un seul contournement de la figure, doit être multiplié, pour en avoir la surface en mètres carrés; 2° la valeur d'une unité du vernier de la roulette, exprimée en millimètres carrés et en grandeur naturelle du plan (1 : 1). A la quatrième colonne, enfin, figurent les nombres constants pour le cas où le pôle de l'instrument est placé à l'intérieur de la figure.

6° La règle du contrôle.

Parmi les accessoires de chaque planimètre figure une petite règle plate en laiton, appelée règle de contrôle, divisée en 8 ou 10 cm (Fig. 15). Le zéro de cette division est percé d'un petit trou, afin de recevoir une pointe d'aiguille, maintenue par une vis superposée. Le pied de chaque trait de division est formé par un petit renfoncement conique dont la dimension est égale à la pointe fine du traçoir.

Fig. 15.



On place la règle sur le plan, bien à plat, et l'on enfonce la pointe. Après avoir dévissé, ou relevé suffisamment le support adapté au traçoir, on pose la pointe motrice dans l'un des renfoncements de la division. Il est donc facile ensuite, en tournant la règle autour de son centre d'évolution, de décrire avec le traçoir un cercle dont le rayon est connu. Pour être certain, de revenir exactement au point de départ du cercle, l'extrémité de la règle — taillée en biseau — est munie d'un index, que l'on fait correspondre avec un point de repère marqué sur le papier au début du mouvement circulaire.

On verra plus loin (Fig. 18 et 19) quel est l'emploi de la règle de contrôle; son but est de pouvoir surveiller *la régularité* du déroulement *u* de la roulette.

Pour éviter toute influence de la main conductrice (pression radiale), on maintient le traçoir à l'aide d'un poids quelconque sur le trait de division, ce qui permet de décrire le cercle en poussant la règle avec le doigt au lieu de tenir la tête du traçoir.

On se sert quelquefois, à la place de la règle, d'un *disque de contrôle*. C'est une mince plaque de cuivre de 1 à 1½ mm d'épaisseur. Elle se fixe sur le papier par deux pointes d'acier, très fines. Sur la face polie du disque sont gravés des cercles concentriques de 2, 3, 4, 5 et 6 cm de rayon, que l'on décrit avec le traçoir. Dans ce cas il n'est pas nécessaire de marquer le point de départ du mouvement circulaire; il suffit de le choisir de manière que le plan, mené par la tige ou son prolongement, traverse le centre du cercle à décrire; puisque en revenant à cet endroit, la roulette tourne dans le sens opposé.

Maintenant que nous connaissons les éléments qui sont à peu près les mêmes chez tous les planimètres, passons à la

VI. Description des Planimètres,

en commençant par le

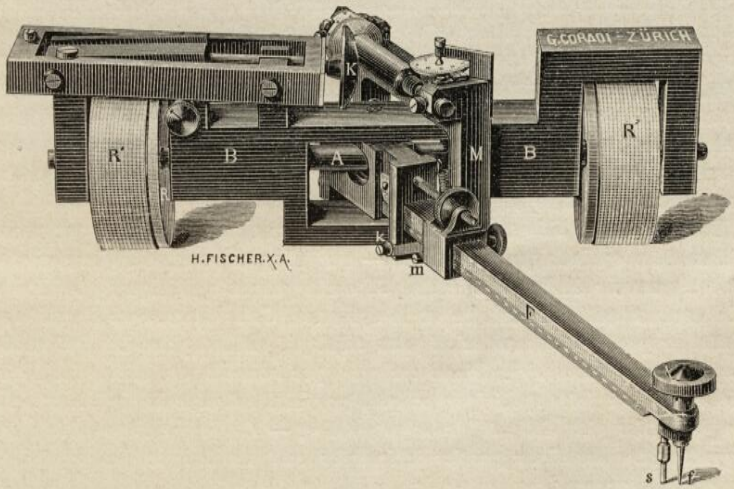
1° Planimètre roulant à sphère.

La figure 16 représente l'instrument moitié environ de la grandeur naturelle.

La *direction* de l'axe verticale de la tige motrice est une droite, comme pour tous les planimètres linéaires. L'instrument repose sur le plan par trois points: les deux rouleaux, désignés par *R'* et le traçoir (ou son support *S*). Dans le chassis *B* sont taraudés les pas de vis pour les vis à coussinets entre lesquelles tourne l'axe *A* sur ses deux pivots en acier trempé extrafins. La vis de droite est rectifiable et elle peut être arrêtée par une vis de pression en laiton, comme c'est le cas pour *toutes* les vis de correction de mes planimètres.

L'axe *A* est relié, solidement et de manière concentrique, aux deux rouleaux *R'* qui sont exactement de mêmes dimensions et dont le pourtour

Fig. 16.



est munie d'un pointillé légèrement saillant, afin de garantir l'uniformité du mouvement droit sur le plan.

L'un des rouleaux est muni d'une fine denture *R* dans laquelle s'engrène une autre roue, plus petite, fixée sur l'axe en acier du segment de sphère *K*. (Cette petite roue n'est pas visible sur notre dessin.)

Cet axe se meut dans un cadre horizontal où il est maintenu à gauche par une vis à coussinet rectifiable, tandisque l'autre bout, formant cône, tourne sur un support en acier trempé. L'extrémité droite de l'axe porte le segment de sphère *K*, fait d'un alliage dur et peu oxydable. Le cadre qui porte l'axe de la sphère, peut „faire brouette", c'est-à-dire qu'il peut tourner un peu du côté gauche, sur un axe horizontal dont les coussinets sont fixés au corps *B* et il

s'abaisse par son propre poids, jusqu'à ce que la petite roue dentée de l'axe de la sphère vienne porter sur la roue dentée du rouleau cylindrique R'. Par ce moyen l'engrenage se règle de lui-même. Une vis, munie d'une flèche, sert à interrompre, par un demi-tour, le contact des roues dentées; lorsque la flèche est tournée vers le bas, l'engrenage est rétabli.

L'axe A et l'axe de la sphère sont parallèles et dans le même plan vertical. Dans ce même plan se trouve aussi — au milieu du chassis B — l'axe vertical de la tige motrice, formé par deux vis en acier rectifiables et dont les pas de vis sont taraudés dans le corps B. Leurs coussinets à tourillon sont fraisés dans le manchon du bras moteur de manière que leur ligne de jonction (c'est-à-dire l'axe vertical de la tige) forme un angle droit avec la tige et avec le plan mené par cette ligne et la pointe motrice, soit parallèle à la tige. (Pour les détails de construction de celle-ci voir chap. V, n° 1.)

La vis de pression, destinée à fixer la tige dans son manchon, se trouve à l'arrière de B. Pour y arriver plus facilement, il faut écarter la tige, en la déplaçant le plus possible à droite.

Le cadre M, porteur de l'appareil enregistreur, est prolongé à l'avant et à l'arrière jusqu'au-dessous de la tige motrice et il peut évoluer autour d'un axe horizontal et parallèle au bras motenr. Cet axe horizontal est formé par deux vis rectifiables dont les tourillons correspondent à deux coussinets dans le manchon de la tige. Celui des coussinets de tourillon qui se trouve du côté du traçoir, repose sur une plaquette d'acier, mobile et dirigée par deux vis calantes k qui, en imprimant un déplacement latéral à la plaquette et aux coussinets, amènent le cylindre enregistreur dans une position parfaitement parallèle à la tige motrice. Le cadre M et le manchon de la tige sont accouplés à un ressort en spirale, dont la traction oblige le cylindre enregistreur à toucher constamment le segment de sphère K.

Dans le cadre M est encastré en outre une vis — facilement reconnaissable à sa tête cylindrique pointillée — qui s'appuie contre le bras moteur de manière à pouvoir éloigner le cadre M du segment sphérique et faire cesser ainsi le contact entre la calotte et le cylindre. *Cette manoeuvre devrait toujours être faite lorsque l'instrument n'est plus employé, ou lorsqu'on lui fait subir quelque manipulation accessoire. Sinon on provoque souvent des chocs inopinés entre le cylindre et la calotte sphérique ce qui, parfois, entraîne la détérioration de ces deux organes, les plus délicats de ce planimètre. — On évite encore cet inconvénient, en plaçant entre les deux parties intéressées soit un tampon de papier de soie, soit un petit morceau de cuir souple.*

Dans le côté droit du corps B se trouve encore une vis à frein, à l'aide de laquelle — en la tournant doucement — on peut diminuer, ou faire cesser tout-à-fait, le jeu du cylindre A. On devine le but du frein: il empêche l'instrument de se mettre en mouvement à la suite d'une secousse ou d'une impulsion donnée involontairement: source d'accidents, et, par suite, d'avaries.

Le bras moteur est agencé de façon à pouvoir lui faire faire une évolution d'environ 30° à droite et à gauche de la base. Le mouvement dans la direction de celle-ci est illimité. D'où il résulte qu'avec ce planimètre on peut contourner, du premier coup, des figures dont la largeur est égale à la longueur répérée de la tige motrice, et dont la longueur peut être aussi étendue que l'on voudra.

Les planimètres roulants sont construits en deux grandeurs. Le plus grand comporte un cylindre de 16 cm; l'autre un de 12½. La longueur respective du bras moteur est de 30 ou 24 cm. Chaque instrument peut être fourni avec une rallonge du bras moteur qui permet de lui donner une longueur de 50 ou 40 cm, selon la grandeur.*

On peut adapter la rallonge au bras moteur, sans sortir celui-ci de son manchon, de sorte que les plaquettes de support des vis de pression ne risquent pas d'être égarées. — *Avant de mettre ou de retirer la rallonge, il faut placer un tampon entre la sphère et le cylindre, ou bien les écarter à l'aide de la vis de déclanchement.*

La valeur superficielle correspondant à l'unité du vernier, peut varier entre 1,0 et 0,4 mm² pour le grand modèle de ce planimètre, et de 0,8 à 0,32 mm² pour le petit modèle. Pour l'emploi de la rallonge du bras moteur, cette valeur peut être portée à 2 mm² et 1,5 mm², selon la grandeur de l'instrument.

Avec le grand planimètre roulant (tige 50 cm, unité du vernier 2 mm²) on peut contourner, en une seule opération, des figures de 50 cm de largeur et d'une longueur quelconque, chose impossible avec tout autre planimètre.

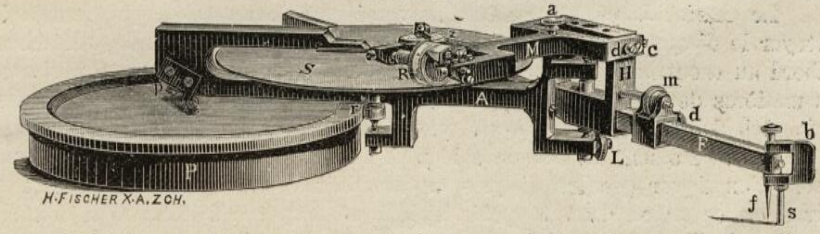
Il faut éviter le déplacement latéral de ce planimètre, afin que le pourtour des cylindres *R' R'* ne perde pas sa rugosité, ce qui diminuerait la précision du mouvement en ligne droite.

L'avantage du planimètre roulant à sphère consiste en ce que le cylindre enregistreur exécute *ses mouvements roulants* sur une calotte sphérique, c'est-à-dire sur une surface mathématique et soigneusement polie. Le résultat du déroulement est de la sorte tout-à-fait indépendant de l'influence nuisible du glissement, ainsi que de l'état du papier sur lequel on opère.

2° Le Planimètre de précision à disque.

La figure 17 représente ce planimètre dans la proportion d'un tiers environ de la grandeur naturelle. Il se compose de deux parties distinctes: 1° le disque polaire *P* avec un bord à denture très fine, et, 2° le planimètre proprement dit *A F H S M*.

Fig. 17.



F désigne la tige motrice construite comme celles des autres planimètres; *A* désigne le bras polaire qui, au moyen d'un axe vertical, porte la roulette *r* et le disque *S*. Cet axe vertical repose sur une vis à coussinet rectifiable. La tige motrice est reliée au bras polairee par un axe également vertical, fixé dans la tige de telle sorte que celle-ci tourne comme une porte sur ses gonds. La vis du coussinet du haut de l'axe est également rectifiable.

*) Ces rallonges ne peuvent être commandées à part.

Par la roulette de support L, le bras polaire repose d'une part sur le papier, d'autre part, par le point *p* au centre exacte du disque *P* au moyen d'un coussinet sphérique, tournant sur une boule en acier finement polie, le tout formant genouillère, et représentant le centre d'évolution (ou pôle) de l'instrument. Le coussinet *p* est fixé en biais et forme une demie-sphère renversée, également en acier et finement polie, du même diamètre que la boule. Au moment où le coussinet *p* est posé sur la boule, le bras polaire s'abaisse de lui-même, par son propre poids, jusqu'à ce que la roue dentée *r* s'engrène dans la denture fine du disque *P*. Le poids du bras *A* assure donc automatiquement l'engrenage de la roulette *r* et, en faisant mouvoir l'instrument, qui repose sur trois points: — 1° *L* roulette de support; 2° *p* coussinet polaire; 3° *S* support du traçoir — le disque *S* se met à tourner, lui aussi, pour développer le parcours que fait la roulette *r* sur le bord denté du disque polaire *P*, parcours qui est proportionnel au mouvement *x* de la tige motrice.

Supporté d'un côté par le disque *S* et fixé de l'autre côté à la tige motrice par un axe horizontal et parallèle à celle-ci, se trouve le chariot *M* qui porte la roulette intégrante dont le mécanisme a été décrit plus haut. Celui de droite des deux boulons en acier qui forment l'axe du chariot est d'un diamètre plus fort et son tourillon qui correspond au coussinet, fraisé dans le manchon du bras moteur, est disposé excentriquement, de sorte que lorsqu'on tourne le boulon sur lui-même, la position du chariot *M* (et en même temps celle de l'axe de la roulette intégrante) se trouve modifiée quelque peu: c'est le mécanisme micromètrique qui sert à assurer, d'une manière mathématique, le parallèlisme entre la tige motrice et l'axe de la roulette intégrante. Les deux boulons de l'axe du chariot sont maintenue dans leur position par deux vis de pression latérales et réglés au moyen de vis à collet (voir la construction de la roulette intégrante, page 15).

La vis *a* dont le pas est taraudé dans le manche du chariot, sert à enlever celui-ci de dessus le disque *S*. *Il est bon de toujours procéder à ce soulèvement de la roulette intégrante, lorsque l'instrument se trouve au repos, ou quand on a besoin de lui faire subir une manipulation quelconque telle que la mise au point de la tige motrice, nettoyage etc.*

Le chariot *M* peut aussi être renversé complètement, ce qui permet de nettoyer le disque *S* qui est en aluminium. J'ai choisi ce métal de préférence, d'abord au caoutchouc ou au celluloïd, parceque les disques, fabriqués avec ces matières deviennent en peu de temps ondulés; puis l'aluminium est plus *léger*, plus *durable* et plus *résistant* que le verre qui a le fâcheux inconvenient de casser au moment où l'on en a le plus besoin. Quant au reste, je n'ai pas besoin d'expliquer que les disques en aluminium valent mieux que ceux en cuivre ou en acier dont le poids spécifique trop élevé entrave la marche régulière de l'instrument. Détail de construction: le dessus du disque *S* est recouvert de papier, le dessous est disposé en nervures ce qui diminue son poids.

Le diamètre du disque polaire et de 15 ^{cm}, la longueur totale de la tige atteint 35 ^{cm}. La valeur de l'unité du vernier varie de 2 $^{mm^2}$ à 0,5 $^{mm^2}$, suivant la longueur du bras moteur. Deux index-repères, accompagnés de flèches, traçés sur le disque polaire, désignent les parties respectives du disque qui correspondent au développement le plus régulier de la roulette *r*. Les explications

données aux pages 10 à 13 (figures 7 et 12) justifient l'existence de ces index-repères et font comprendre que pour un calcul exact, le disque S doit toujours se mouvoir dans l'intervalle de ces flèches.

Lorsque la tige motrice est dans sa position normale, le plan qui est mené par la roulette intégrante et prolongé au-delà, passe par le centre du disque et dans cette position, un mouvement tournant du planimètre ne produit aucun mouvement de la roulette. Si — le bras polaire étant au repos — on tourne la tige autour de son axe vertical, la roulette intégrante glisse sur le disque suivant un arc de cercle: là encore il n'y a point de déroulement de la roulette. Mais, aussitôt que la tige forme avec sa position normal l'angle α, la distance directe entre le plan, mené par la roulette, et le centre du disque S, est proportionnelle à $l \times \sin \alpha$. Si, au lieu de tourner sur place, ta tige motrice — tout en demeurant dans cette même position angulaire — entraîne son axe vertical, c'est-à-dire le chariot, sur une distance dont la longueur soit désignée par la lettre x, cette distance représente une fraction m de la circonférence totale de la ligne directrice, c'est-à-dire $= \frac{2\,r\,\pi}{m}$ (où r désigne le rayon du cercle directeur). Et alors, le déroulement de la roulette est égal à

$$u = l \times \sin \alpha \times \frac{2\,r\,\pi}{m} \times C,^{*)}$$

ce qui revient au principe fondamental: que le déroulement u est proportionnel à la surface contournée.

Ce planimètre permet d'opérer d'une manière très sûre, parcequ'il n'y a que deux points, la roulette de support et le traçoir, qui touchent au plan. Celui-ci peut donc présenter une surface un peu accidentée sans porter préjudice à l'exactitude du calcul. Il faut cependant avoir soin de placer le disque polaire horizontalement et d'une façon bien fixe, ce qui s'obtient, au besoin, par l'emploi de petites cales en papier.

3° Les Planimètres à compensation.

Ces planimètres sont destinés à remplacer peu à peu les planimètres polaires simples. Ils diffèrent de ceux-ci en ce sens que le bras polaire peut être placé alternativement à droite ou à gauche de la tige motrice. L'application de ce principe a pour but d'éliminer l'erreur résultant du déroulement u de la roulette par suite du non-parallèlisme de l'axe de la roulette intégrante avec la tige motrice. En effet, l'erreur en question altère tantôt positivement, tantôt négativement le résultat de calcul, suivant que le bras polaire se trouve à droite ou à gauche de la tige motrice. La moyenne de deux résultats obtenus par un seul contournement dans chacune des deux positions du bras polaire, donne la véritable surface de la figure contournée. Mr. *O. Lang,* géomètre à *Neuwied,* qui a donné l'idée de cette nouvelle construction des planimètres polaires, s'est chargé de démontrer d'une façon très approfondie la vérité du principe de la compensation dans le n° 12 du Journal des géomètres allemands, année 1894.

---

*) C signifie une constante dont la valeur dépend des dimensions de l'instrument (dimensions du disque P, de la roulette r et du bras polaire A).

J'essaie de reproduire sa théorie dans un exposé plus succinct:

Soit δ l'angle formé par l'axe de la roulette intégrante avec la tige motrice, alors le déroulement u de la roulette n'est plus $= x \times \sin \alpha$, mais bien $= x \times \sin (\alpha \pm \delta)$. En d'autres termes: le déroulement u cesse d'être proportionnel à la surface contournée. Lorsque le pôle est très près du côté droit de la tige, l'erreur affectée au déroulement u est la plus forte, et — suivant la valeur algébrique de l'angle δ — positive ou négative. A mesure que le pôle s'éloigne de la tige motrice, cette erreur diminue, la tige et l'axe de la roulette finissent par former une ligne droite et, au moment où le pôle passe sur la gauche de la tige motrice, les signes algébriques de δ changent; l'erreur finit par ne plus former qu'un chiffre insignifiant *(un minimum)* lorsque le pôle approche le côté gauche de la tige motrice. Sur sa droite l'erreur à compenser avait atteint son *maximum*. Le même effet peut évidemment se produire dans la position inverse de la tige.

La moyenne arithmétique de deux contournements d'une figure — le bras polaire ayant occupé deux positions symétriques à droite et à gauche de la tige motrice — fournit par conséquent un résultat de calcul exempt de l'erreur provenant d'une situation erronée de l'axe de la roulette. Les deux positions symétriques de la tige s'obtiennent de suite si, après avoir placé l'instrument selon la règle n° 4, chap. IV, on laisse le pôle à sa place, puis, après avoir fait le premier contournement, on fait passer la tige motrice sous le bras polaire — opération analogue à celle du renversement de la lunette d'un théodolite. La figure n° 18 indique deux positions symétriques de la tige motrice, par rapport à la figure à contourner, avec le pôle *à gauche* et *à droite* de la tige et avec une position unique du pôle. — La figure 19 donne deux situations symétriques de la figure J et de la tige F, prises dans deux positions polaires P' et P''. Les deux systèmes sont également bons pour compenser l'erreur en question.

La figure 20 représente le planimètre à compensation aux $^2/_5$ environ de sa grandeur réelle. L'instrument se compose de deux parties distinctes: le chassis $A\ L\ l$ et le bras polaire P; chacune des parties est casée séparément dans l'étui.

Le châssis (ou la partie motrice du planimètre) repose sur 3 points: la roulette intégrante L, le traçoir f (ou son support S) et la roulette de support l.

Fig. 18.

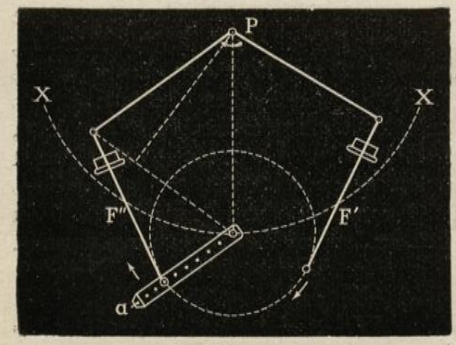
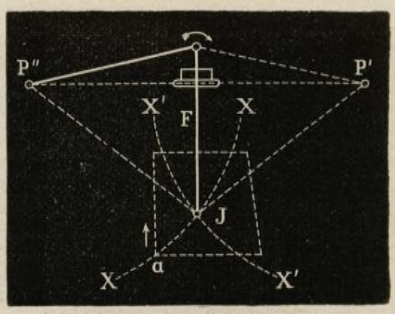
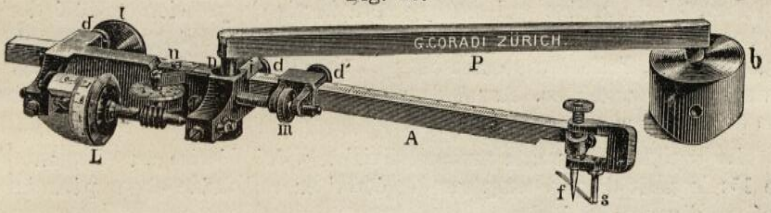


Fig. 19.



Le contact entre le bras polaire et la tige motrice s'effectue au moyen d'une genouillère libre qui est placée le plus bas possible dans le manchon de la tige, c'est-à-dire le plus près possible de la surface du plan. La sphère de la

Fig. 20.



genouillère, en acier finement poli, est fixée au bras polaire et le contact se fait, en l'introduisant tout simplement dans l'ouverture *D*, pratiquée dans le manchon. Cette genouillère n'est donc autre chose que l'axe vertical de la tige motrice, axe que le bras polaire force à décrire un cercle comme ligne directrice. Grâce à cette disposition de la genouillère, le chassis touche constamment à la surface parfois inégale du plan avec les trois points de support *L*, *f* et *l*.

Le pôle est formé par un petit boulon en acier qui est fixé à l'extrémité droite du bras polaire et qui se termine au bas par une fine pointe trempée. Le boulon lui-même disparaît dans le poids *b* auquel il est fixé par une vis de pression. Le dessous du poids *b* a la forme d'une toiture renversée dont le faîte forme une arête perpendiculaire au bras polaire. Celui-ci peut donc évoluer autour de cette arête jusqu'à ce que la sphère de la genouillère *D*, — par suite du poids mort du bras polaire — vienne reposer sur le coussinet d'une façon sûre.

La pointe fine du pôle ne dépasse que de fort peu l'arête du poids *b*; il est donc inutile de faire rentrer la pointe de force dans le papier du plan lequel, de la sorte, ne risque pas d'être endommagé. Lorsqu'on voudra faire coïncider le zéro du vernier avec celui de la division de la roulette intégrante, on n'aura qu'à mettre le traçoir au point de départ du contournement, tout en inclinant légèrement le bras polaire, de façon à faire reposer le poids sur un côté de l'arête et sans toucher à la genouillère, ensuite on fera mouvoir le pôle jusqu'au moment où les zéros des divisions viendront à se confondre et on laissera descendre le poids très doucement; le pôle est arrêté à la place voulue: le calcul peut commencer.

La tige motrice est pourvue de divisions telles qu'elles sont décrites au chapitre V (1). Sa longueur totale est de 22 ^{cm}; celle du bras polaire est de 20 ^{cm}. La tige est mobile dans son manchon, pour pouvoir faire varier la valeur de l'unité du vernier, de 10 $^{mm^2}$ à 2 $^{mm^2}$; pour 10 $^{mm^2}$ la distance entre le traçoir et la genouillère (longueur réelle de la tige motrice) est de 160 ^{mm}; pour 2 $^{mm^2}$ elle est de 32 ^{mm}.

Un mécanisme spécial sert à corriger l'eurreur angulaire δ dont il est question plus haut. Il consiste en une vis de correction (ne figurant pas au dessin), placée dans le manchon, à gauche du porteur du vernier. Une vis de pression en cuivre sert à arrêter la vis de correction dont le pas, taillé à plat, appuie contre le côté de la tige motrice. Au lieu de la vis de pression *d*, in-

diquée dans notre dessin (fig. 20), un ressort en spirale répond au mouvement de la vis de correction. Par ce moyen la position de la tige par rapport à l'axe de la roulette peut être légèrement rectifiée, sans qu'on ait besoin de toucher aux coussinets de la roulette intégrante.

Le côté de la tige qui est opposé à la vis de pression *d* (côté droit du manchon) est légèrement biaisé vers l'intérieur. Cela fait qu'en serrant cette vis de pression, l'effet du ressort est plus fort et la tige est calée solidement dans ses deux manchons. Avant de rectifier la position de la tige motrice, il faut dévisser la vis en question.

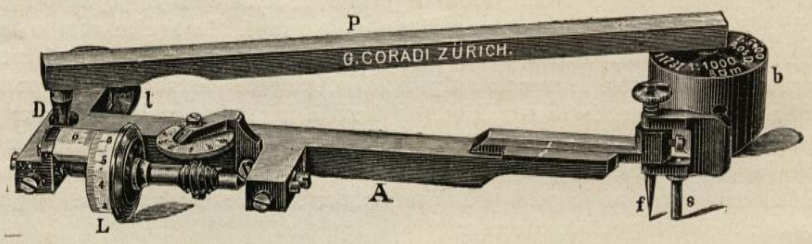
La roulette intégrante avec sa division a été décrite au chapitre V (3), page 15; le petit disque compteur est établi en celluloïde et son périmètre est divisé en dix parties égales.

Pour contourner une figure, on saisit d'abord la poignée qui tourne autour du traçoir entre le pouce et le médius; puis, avec l'index, on appuie sur la tête du traçoir de manière à en enfoncer la pointe fine dans le papier chaque fois que l'on marque le point de départ du contournement, ou qu'on veut contrôler la situation de la pointe motrice. Durant le contournement la paume de la main reste appuyée sur le plan.

Il se fait encore des planimètres exactement semblables à celui qui vient d'être décrit et qui est représenté par la figure 20. La seule différence est celle-ci: Le mécanisme, ayant pour but de mettre dans une position parallèle le bras moteur et l'axe de la roulette, est supprimé et ces deux parties sont dès le début et définitivement, fixées parallèlement.

Le planimètre fig. 21 n'est agencé que pour une seule unité de la division du vernier. Le chiffre de cette unité peut être choisi entre 10 et 7,5 mm^2. La portion de la tige qui porte le traçoir, est fabriquée en maillechort et elle

Fig. 21.



est pourvue d'un fragment de division. Sur celle-ci un index, gravé sur le bras porteur *A*, indique la distance (en ½ mm) entre la pointe motrice *f* et la genouillère *D*. Les chiffres, représentant la constante et la valeur de l'unité du vernier, sont gravés sur ce bras *A*; (par erreur la figure 21 indique ces chiffres gravés sur le poids *b*).

La conséquence de cette construction nouvelle des planimètres polaires est que ces instruments sont plus solides, partant plus durables que les anciens; leur maniement est plus commode et l'exactitude des résultats incontestablement supérieure. Les avantages propres aux constructions antérieures n'ont pas été abandonnés dans le système actuel, mais celui-ci offre en plus les avantages suivants:

1° La genouillère, grâce à sa construction, ne peut ballotter, pourvu qu'on ait soin de tenir le creux *D* dans le manchon de la tige, absolument propre.

2° Comme l'instrument est placé dans l'étui en deux parties séparées, il n'y a pas de danger que les attaches, reliant ces parties, souffrent par le transport de la boîte.

3° Le développement angulaire, de près de 180°, de la tige motrice, soit à gauche, soit à droite du bras polaire, et cela sans qu'elle quitte sa position normale par rapport au plan, permet au calculateur de contourner des figures beaucoup plus étendues que celles qui pouvaient être calculées au moyen de mes anciens planimètres ou avec les instruments ordinaires de Mr. Amsler, car le développement angulaire de leur tige n'atteint guère que 90 à 100° au plus.

4° Pour vérifier le parallèlisme de l'axe de la roulette, la nouvelle construction permet de se servir de surfaces aussi grandes que le bras moteur en donne la possibilité étant entendu que chaque contournement de cette surface à gauche et à droite du pôle doit fournir *le même* résultat.

5° La lecture sur la roulette intégrante est très facile, en l'absence de tout reflet gênant. Le bras polaire n'étant pas fixé au reste de l'instrument, la manipulation n'en est que plus aisée.

Non seulement dans les planimètres compliqués, mais encore dans les instruments simplifiés dont il vient d'être question, la roulette intégrante, avec ses coussinets, est un organe très *délicat* qui demande beaucoup de ménagement. Sa détérioration entraîne la perte de l'exactitude du planimètre de n'importe quelle construction.

VII. Emploi des Planimètres.

Avant de se servir d'un planimètre, il faut se rendre compte de son état en général; tout au moins on fera tourner l'axe de la roulette intégrante et l'on fera bien attention, si le mouvement est aisé et s'il se termine de lui-même lentement et sans secousse.

Il n'existe pas d'instrument de géodésie plus sujet à être endommagé que le planimètre. Les avaries se traduisent rarement à l'extérieur, l'opérateur expérimenté les devine plutôt. Cependant elles ont toujours une mauvaise influence sur le résultat du calcul.

Pour se rendre compte de l'état général des différentes espèces de planimètres, on observera ce qui suit:

1° Pour le planimètre roulant à sphère.

On débute par placer le chariot *B* sur un livre ou un objet de forme analogue, de manière que le rouleau *A* puisse tourner librement. Ensuite on tourne la vis de déclanchement de telle sorte que la pointe de la flèche indicatrice se trouve en haut: cela veut dire que la petite roue dentée, fixée à l'axe de la calotte sphérique, n'engrène plus dans le rouleau *A*. A l'aide de la vis de rappel on éloigne alors le cadre *M* de la calotte tout en plaçant le bras moteur de façon telle qu'il forme un angle droit avec le bras polaire. Après quoi on essaie d'imprimer à l'axe *A* un léger déplacement dans le sens longitudinal:

un faible jeu ne nuit pas. Puis l'on met le rouleau en rotation: si tout est en règle, il doit tourner *facilement* et ne pas s'arrêter de suite.

Le bras moteur, immobilisé dans son manchon par la vis de pression, doit évoluer sans accroc autour de son axe vertical. Le jeu doit y être très peu sensible; pour en juger, on essaie de faire mouvoir le bras autour de son axe longitudinal, tantôt à gauche, tantôt à droite. L'axe qui porte la calotte sphérique, doit également évoluer avec aisance; un soupçon de jeu dans la direction de l'axe est toléré. L'axe horizontal du châssis qui porte l'appareil enregistreur, ainsi que celui du cadre qui renferme l'axe de la calotte, doivent n'avoir aucun jeu; pour s'en assurer, on essaie de faire bouger (par petites secousses) ces parties du planimètre, tout en maintenant ferme le chariot *B*. La marche de tous ces axes peut se régler au moyen des vis de correction, en ayant soin de dégager en premier lieu les vis de pression en cuivre que l'on arrête ensuite de nouveau, une fois la correction faite.

La surface de la calotte sphérique K, de même que les cylindres doivent être tenus très propres; c'est surtout la partie centrale de la calotte qui exige une propreté absolue. * L'axe de la roulette intégrante doit avoir aussi une rotation facile; la roue compteur peut avoir quelque peu de jeu, afin qu'elle n'entrave pas la marche de la roulette. Pour enlever la poussière qui s'introduirait entre la roulette et son vernier, on y glissera un petit morceau de papier à lettre, puis on fera tourner la roulette une ou deux fois.

Dans le cas où le jeu de l'axe de la roulette serait trop grand, on le diminuera à l'aide des boulons (voir la description au chapitre V (3), page 15); on évitera seulement de trop faire approcher la roulette du bord du vernier, afin qu'il n'y ait pas de frottement. Par contre l'intervalle entre les deux ne devra non plus être trop fort, cela rendrait la lecture difficile.

2° Pour le planimètre à disque.

Pour vérifier si toutes les parties en sont en bon état, on soulève d'abord le cadre *M*, en donnant quelques tours à la vis de déclanchement *a*, jusqu'à ce que la roulette ne touche plus le disque *S* et on laisse jusqu'à nouvel ordre le planimètre proprement dit hors contact avec le disque polaire *P*. Il faut que le disque *S* ait une rotation très facile, mais son axe ne doit pas avoir un jeu notable dans les coussinets.

En maintenant le bras polaire *A* en place et en imprimant au disque un mouvement de haut en bas et de bas en haut, on pourra juger du jeu en question. L'axe vertical de la tige ne doit pas avoir de jeu: maintenez le bras *A* d'une main, de l'autre essayez de tourner le manchon *H* dans la direction de *A* — le traçoir étant au repos — vous verrez si l'axe vertical remplit la condition demandée. Le trop ou le trop peu de jeu de l'axe horizontal du cadre *M* sont également nuisibles; pour vérifier la chose, on n'aura qu'à maintenir la tige en place et essayer de faire faire au cadre quelques petits mouvements latéraux.

Ce qui a été dit pour le planimètre roulant au sujet de la roulette intégrante et de la rectification du mouvement des axes, s'applique également au planimètre à disque. Il ne nous reste qu'à mettre l'instrument en contact

---

*) La nettoyage se fait avec un morceau de toile souple.

avec le disque polaire, pour voir si l'emboîtement de la petite roue *r* se produit convenablement; si le parcours du traçoir sur le plan est fidèlement traduit par la rotation du disque *S* dans la direction autour du pôle et, enfin, si, au moment de renverser la direction du mouvement, on ne remarque pas de point mort.

3° Pour le planimètre à compensation.

On appliquera ce qui a été dit sur le compte des autres planimètres. Ajoutons cependant qu'à la genouillère aucun jeu latéral ne doit avoir lieu; pour s'en assurer, il faut enfoncer la pointe motrice dans le papier — après avoir arrêté les vis de pression de la tige — puis, en saisissant le côté gauche du bras moteur, on essaie de le faire ballotter, en lui imprimant une *légère* pression latérale, tantôt de gauche, tantôt de droite. Si l'on remarque, qu'il y a du jeu, c'est que la genouillère n'est pas propre et on doit la nettoyer. Il se peut encore que la pointe fine du pôle dépasse trop peu le poids *b*; alors on retirera celui-ci — après avoir dégagé la vis-d'arrêt, bien entendu — et l'on fera raccourcir un tant soit peu la petite douille qui se trouve entre le poids et le bras polaire, ce qu'on obtient par un coup de lime.

A la suite d'un usage prolongé, ou bien, après avoir laissé l'instrument longtemps sans l'employer, on constatera quelquefois un alourdissement dans le mouvement de l'axe qui provient de ce que l'huile des coussinets est figée et durcie. Cet inconvénient ne pourra être éliminé en desserrant les vis de calage des boulons; le mieux sera d'introduire avec une allumette pointue une petite goutte de benzine ou d'essence de pétrôle et de faire tourner les axes très vite, dans les deux sens alternativement. Ceci fait, on passe la tranche nettement taillée d'un morceau de papier à dessin sur le bord des tourillons et l'on enlève avec un morceau de linge l'huile sortie des coussinets. Enfin on se sert de nouveau de l'allumette, pour y introduire une faible goutte d'huile d'horlogerie.

Ce n'est qu'après cette manipulation que l'on rectifie la marche des axes au moyen des vis de correction.

En suivant les indications données ci-dessus, il ne sera pas difficile de se servir, d'une manière rationnelle et utile, de n'importe quel planimètre. Il ne nous reste plus qu'à résumer la marche à suivre qui est la même

4° Pour tous les planimètres.

On étend la feuille de papier sur laquelle le calcul va se faire, sur une table bien unie, le plus possible *horizontale*. Si le papier est uni, il n'y a pas lieu de le tendre exprès et l'on pourra lui donner, en même temps qu'à l'instrument, une position propice pour l'opération. Il va sans dire que des plans roulés doivent être soigneusement tendus, de façon à toucher partout la table à dessin.

Lorsqu'on se sert du planimètre roulant, on ne peut pas empêcher les cylindres de dépasser parfois les bords du plan. Dans ce cas, on place une seconde feuille de papier de même épaisseur tout contre le plan, de sorte que les cylindres puissent franchir les bords sans encombre.

La même précaution est à prendre lorsque le calcul ne peut se faire sans que la roulette intégrante sorte des limites du plan.

Supposons que la figure à calculer soit dessinée à l'échelle de $^1/_{500}$; on choisira comme longueur de la tige le chiffre — indiqué pour l'unité du vernier au tableau de l'étui — qui correspond à cette échelle. — En général, on se sert d'une tige courte pour les petites échelles ($^1/_{4000}$, $^1/_{5000}$ etc.), tandis que pour les grandes échelles on emploie une tige plus longue. Pour l'échelle de $^1/_{500}$ pr. ex. nous prenons au tableau le chiffre 255,1 et nous mettons la division de la tige sur ce chiffre. La valeur de l'unité du vernier est alors de 2 $^{mm^2}$.

En observant les règles n° 3 et 4, chapitre V, on place l'instrument le plus favorablement possible par rapport à la parcelle à calculer, tel que les figures 9 à 12, page 13, l'indiquent pour les différents genres de planimètres. On sait que les figures 5 à 7, page 10, indiquent les positions défavorables du planimètre par rapport à la surface à mesurer.

Ensuite on s'assure par un contournement préalable de la figure, si ce contournement peut se faire sans difficulté matérielle. S'il s'agit du planimètre roulant, on mettra — avant ce contournement provisoire — l'axe de la calotte hors service (au moyen de la vis de déclanchement, flèche en haut). Lors du calcul de petites figures sur un papier bien uni, ce n'est pas indispensable, mais, quand ce sont de grandes surfaces sur un papier plus ou moins bien tendu, cette mesure de précaution n'est pas à dédaigner, car elle permet de ne pas fatiguer inutilement l'appareil enregistreur. Si, après coup, on baisse de nouveau l'axe de la calotte sphérique, il arrive quelquefois que l'engrenage ne se fait pas complètement; mais un petit mouvement de va-et-vient de l'appareil, avant de commencer le contournement définitif, y remédiera aussitôt.

On place la pointe motrice sur le point de départ du contournement (sur la base $x\,x$) et l'on inscrit la lecture à la roulette et la roue-compteur comme *première lecture* L_1. Elle donne pr. ex. le chiffre 3455 (voir la figure 14, au chapitre V [3], page 16). Ensuite on conduit le traçoir, dans le sens de l'aiguille d'horloge, exactement le long des limites de la parcelle jusqu'à ce que l'on revienne au point de départ. Là, en maintenant le traçoir sur ce point, on fait une *seconde lecture* L_2, donnant le chiffre 9981. Soit f la valeur de l'unité du vernier, nous avons pour la surface J de la figure contournée

$$J = (L_2 - L_1)\, f \text{ ou } f\,(L_2 - L_1)$$

Prenons pour f la valeur de 2 $^{mm^2}$, nous aurons

$$9981\ (L_2) - 3455\ (L_1) = 2\ ^{mm^2} \times 6526 = 13052\ ^{mm^2}.$$

A cause du jeu sensible de la roue-compteur dans la vis sans fin de l'axe de la roulette — autrement celle-ci n'aurait pas son libre mouvement — l'index au-dessus du petit disque compteur ne correspond pas toujours avec un trait de la division quoique le zéro du vernier corresponde au zéro de la division de la roulette. Le débutant n'aura dans cette circonstance qu'à faire faire le va-et-vient au disque — dans la limite du jeu toléré naturellement — en le touchant doucement du doigt: la position moyenne de l'index dira immédiatement quel trait de division du disque il devra prendre comme premier chiffre de lecture.

Il est d'ailleurs facile d'éviter une erreur de 1000 unités du vernier, en observant la règle suivante: Lorsque le zéro du vernier de la roulette est *au-dessous* de 0, pr. ex. sur 80 ou 90, c'est le précédant trait de la division du

disque qu'il faut prendre. Si, au contraire, le vernier est *au-dessus* de 0, soit pr. ex. sur 10 ou 20, c'est alors le trait signalé par l'index, qui représente le premier chiffre de la lecture.

Pendant toute cette manipulation le pôle P doit rester en place. Il faut veiller aussi à ce que, pendant le contournement, le chariot du planimètre roulant ne soit pas dévié de sa direction rectiligne, par une cause ou une autre (table penchée; secousses; obstacles etc.).

On fera toujours bien de ne pas se contenter d'un seul contournement, afin d'avoir un contrôle spontané. (La tige motrice peut n'avoir pas été mise au point d'une manière exacte etc.) L'exactitude du résultat sera de la sorte augmentée, ce qui est d'une grande importance, surtout pour le planimètre à compensation dont l'unité du vernier est un chiffre relativement important. Les petites surfaces demandent toujours un double contournement.

Si les circonstances le permettent, on fera bien d'observer le traçoir dans la direction de la ligne qu'il parcourt; c'est le meilleur moyen de constater une déviation latérale. Dans les forts tournants du périmètre, ou sur les sommets d'angle, on pressera la pointe sur le plan, afin de mettre à l'aise la main conductrice.

Beaucoup de personnes se servent d'une règle pour suivre les lignes droites avec le traçoir; je doute que ce mode d'opérer donne une exactitude plus grande, ou qu'il fasse gagner du temps. En contournant avec soin, on constatera que les faibles déviations, à droite et à gauche, finissent par se compenser à la fin de l'opération, de sorte qu'elles n'ont guère d'influence sur le résultat final. En employant une règle, on s'expose plutôt à entâcher le calcul d'une *erreur constante*, alors même que la pointe motrice serait placée exactement sur la ligne à parcourir; en effet le traçoir faisant ressort, la pression latérale qu'on est obligé de lui faire subir, pour suivre la règle, fait que la tige n'occupe plus la place qui lui est assignée par la théorie.

Avec les planimètres polaires on peut calculer de très grandes surfaces, en plaçant le pôle à l'intérieur de la figure à calculer; la tige et le bras moteur décrivent alors une évolution toute entière autour du pôle de l'instrument. Le résultat obtenu doit être retranché de la constante, c'est-à-dire qu'il faut faire rentrer en compte la surface renfermée par la base $x\,x$ (voir chapitre V [4]).

Prenons de nouveau comme première lecture $L_1 = 3455$; la seconde $L_2 = 9981$. La constante K figure au tableau avec le chiffre 23154, l'unité du vernier f soit $= 2^{\text{mm}^2}$; alors la surface du polygone contourné $J = f\,(K + L_2 - L_1)$ ou bien:

$$\begin{array}{rl} K & = 23154 \\ +\ 2^{\text{e}}\ \text{lecture}\ L_2 & = 9981 \\ \hline \text{ensemble} & = 33135 \\ -\ 1^{\text{re}}\ \text{lecture}\ L_1 & = 3455 \\ \hline \text{reste} & = 29680 \end{array}$$

multiplié par $f = 2^{\text{mm}^2} \times 29680 = 59360^{\text{mm}^2}$,
ce qui représente la surface de la figure en mètre carrés.

Le contournement est supposé avoir été fait dans la direction de l'aiguille.

Si, pendant le contournement, le zéro du disque-compteur passe l'index en sens positif — . . . . . 9, 0, 1 . . . . . (ou: . . . . 48, 49, 0, 1, 2 . . . .) — il faudra ajouter à L_2 le chiffre 10,000 ou 50,000, selon que le disque donne jusqu'à 10 ou 50 tours de la roulette intégrante. Si, par contre, le zéro du disque que passe l'index en sens négatif, ... 2, 1, 0, 9, 8 . . . . ., il faudra ajouter 10,000 (ou 50,000) à la *première* lecture (L_1). Ce dernier cas n'a précisément lieu que lorsque le pôle est placé à l'intérieur du polygone.

Il va sans dire qu'on ne peut contourner le plan et observer la marche du disque-compteur simultanément. Pour s'en rendre compte quand-même, on n'aura qu'à faire durant le contournement 2 à 4 stations, selon l'importance de la figure; on arrête par une légère pression la pointe motrice tout en notant la position du disque. Revenu au point de départ, on pourra, au moyen de la série de notes, conclure immédiatement, si le zéro de la division a été dépassé ou non.

Un moyen plus simple encore pour les surfaces relativement restreintes: avant de contourner, on amène le disque un peu au-dessus de zéro, en soulevant la roulette de dessus le papier et en la faisant tourner, jusqu'à ce que le disque occupe la place voulue.

Les planimètres reproduits par les figures 17, 20 et 21 peuvent servir au calcul de la hauteur moyenne des diagrammes indicateurs. L'équation (n° 2) page 7, nous dit que la contenance de l'aire contournée par la pointe motrice, est représentée par un rectangle dont la base équivaut à la longueur de la tige, et dont la hauteur n'est autre que le déroulement u de la roulette ($J = l \,.\, u$). On mettera la longueur de la tige au point correspondant à la longueur de la base du diagramme, pour avoir immédiatement sa hauteur moyenne.* Ce chiffre est de 60 millimètres pour l'instrument, figure 20, où une unité du vernier correspond par conséquent à une hauteur de 0,06 ^{mm}.

Pour l'instrument fig. 17 la division de la tige est tracée en demi-millimètres, de sorte que la mise au point du vernier répond exactement à la distance entre la pointe motrice et l'axe vertical de la tige. On n'aura donc qu'à mesurer la base du diagramme et mettre la tige au point qui correspond à cette longueur. Le contournement et les lectures se font ainsi qu'il a été dit plus haut. La différence $L_2 - L_1$ est ensuite à multiplier par 0,01 pour la figure 17, et par 0,06 pour les figures 20 à 21. Le résultat obtenu exprime en millimètres la hauteur cherchée du diagramme.

Un détail de construction quasi insignifiant qui existe aux planimètres figures 20 et 21, permet de donner directement à leur tige motrice la longueur de la base du diagramme, et voici comment: Après avoir enlevé le bras polaire, on place la pointe du traçoir sur l'extrémité droite de la base; puis on fait glisser la tige dans ses manchons jusqu'à ce que l'autre extrémité apparaisse dans le milieu du petit trou, percé au fond du coussinet de la genouillère, après quoi, on serre les vis d'arrêt de la tige et le contournement peut s'accomplir.

VIII. Vérification des Planimètres.

Avant de procéder avec succès à la vérification d'un instrument, il est de toute nécessité que l'opérateur en connaisse les qualités et qu'il soit quelque

*) Pour ce but il faut que la roulette soit ajustée de manière qu'un seul déroulement de sa circonférence représente un chiffre rond.

peu familiarisé avec le maniement de celui qu'il se propose de vérifier, c'est-à-dire de mettre en état de pouvoir servir.

C'est pourquoi nous recommandons à tous ceux qui veulent vérifier leurs planimètres, d'étudier d'obord les chapitres III à VI et de s'exercer aux manipulations qui y sont exposés, car si l'instrument, par un tour de main maladroit ou inexpérimenté, a été atteint dans ses organes les plus délicats, ou qu'il soit même endommagé, l'observation la plus stricte des règles et prescriptions ci-dessous ne sera qu'un leurre. On ne pourra plus ni obtenir un bon résultat, ni porter un jugement sain sur la qualité de l'instrument. Donc, en établissant les règles de vérification qui vont suivre, nous supposons que tout ce qui a été dit jusqu'ici dans ce petit traité, soit matière connue.

Premièrement, on se rend compte de l'état général de l'instrument, comme il a été expliqué longuement dans le chapitre VI.

La vérification à fond d'un planimètre exige un grand nombre de contournements qui, autant que possible, devront être exempts d'erreurs. Cette dernière condition ne peut guère être remplie qu'en se servant de moyens mécaniques. Nous en avons vu un spécimen au sujet de la règle de contrôle (voir figure 15, page 18) dont l'emploi est expliqué par les figures 22 et 23. Le disque de contrôle, dont il fut question à la même occasion, est souvent préféré à la règle.

Mais, tout en se servant de moyens mécaniques, les erreurs de contournement ne sont pas complétement exclues. Voici pourquoi: Si, en décrivant un cercle à l'aide de la règle de contrôle, la pression excercée sur le bouton du traçoir, n'agit pas dans la direction de la tangente, le traçoir, quoiqu'il ne puisse quitter la périphérie, fera ressort et le bras moteur n'occupera plus la position qui lui est assignée par la marche théorique de la pointe motrice. Cet inconvénient a pour conséquence de fortes erreurs de contournement qui deviennent très gênantes pour les calculs de surfaces de grande étendue; c'est un fait dont chacun peut se rendre compte en faisant le calcul. Il est donc plus rationnel de charger le traçoir et la règle d'un petit poids et de décrire le cercle en conduisant la règle, au lieu de saisir la tête du traçoir. La règle de contrôle servira donc principalement pour vérifier *l'uniformité* des résultats obtenus par une série de contournements, avec des positions diverses du pôle; tandisqu'on déterminera la longueur définitive de la tige motrice en se basant sur le contournement de figures dessinées et dont la surface est exactement connue (des carrés par exemple que l'on divisera ensuite en triangles).

La vérification des planimètres doit s'étendre successivement sur les points suivants, savoir:

1° Si l'instrument se trouve en bon état (voir chapitre VII).

2° Si la division de la roulette est exacte et bien centrée. A cette effet on observe le vernier en différentes places de la division, de 10 à 10 traits, tout le long du pourtour de la roulette; les traits de 0 et de dixaine du vernier doivent correspondre partout à 9 parties de la division.

3° Si les différentes lectures ($L_2 - L_1$), résultant d'une série de contournements de la même figure, sont égales entre elles.

Ce dernier point a surtout de l'importance pour les planimètre à compensation, c'est-à-dire pour les instruments dont la roulette intégrante fonctionne directement sur le plan; d'abord, parceque la valeur d'une unité du vernier représente une assez grande surface; ensuite, parceque l'uniformité du déroulement dépend surtout de la cannelure du bord de la roulette et, parcequ'en contournant plusieurs fois, les erreurs se cumulent, au lieu de se compenser, selon que le déroulement représente une fraction plus ou moins grande d'un tour entier de la roulette intégrante.

En ce qui concerne les planimètres à disque et les planimètres roulants, on y trouvera parfois des écarts jusqu'à 10 unités du vernier entre les résultats d'une série de contournements. Ces différences sont peu inquiétantes, et elles se montrent rarement au même endroit de la division, ce qui prouverait qu'elles résultent de contournements défectueux; chose qui, — nous l'avons dit plus haut — peut arriver même avec la règle de contrôle.

Supposons par exemple qu'en décrivant un cercle de 8 ^{cm} de rayon, le bras moteur, par suite de l'action de ressort du traçoir, subisse une déviation de la position normale de 0,02 ^{mm} seulement, l'écart de surface produit sera de $^1/_{2000}$ = 10 unités du vernier. Quand on songe qu'il ne faut qu'un effort minime pour fausser la position du traçoir de 0,1 ^{mm}, je crois que ce qui vient d'être dit à ce sujet, est suffisamment démontré.

Cette même théorie est valable, lorsqu'on veut vérifier si, en traçant un cercle avec la règle de contrôle, le mouvement d'aller et celui de retour donnent des résultats identiques.

En tout cas il sera bon de soumettre également à cette vérification les planimètres à intégration indirecte, ne serait-ce que pour juger s'ils fonctionnent régulièrement. Toutefois on ne peut exiger d'eux que les résultats s'accordent à une unité du vernier près.

Lorsqu'on veut savoir, si un planimètre simple donne des lectures concordantes, on utilise de préférence la mise-au-point de la tige pour 10 $^{mm^2}$, et un rayon de 6 ^{cm} à la règle de contrôle. Après avoir contourné une douzaine de fois, on aura passé en revue le pourtour entier de la roulette. Si les différence entre le maximum et le minimum des résultats ne dépasse pas de 2 à $2^1/_2$ unités du vernier, le planimètre peut être considéré comme bon. Les erreurs apparaissent surtout lorsque le cercle contourné approche, sur un certain parcours, du cercle fondamental.

Après avoir décrit le cercle dans un sens, on reprend le mouvement en sens inverse et l'on doit obtenir les mêmes résultats. Les erreurs qui surviennent ne peuvent être corrigées sur l'instrument; si elles dépassent les limites tolérées, il faut en chercher la cause dans un défaut inhérent au planimètre. Ou le jeu d'un des axes est beaucoup trop grand; ou le bord de la roulette est mal cannelé; ou les coussinets sont défectueux; ou, enfin, l'axe de la roulette est endommagé.

Dans les deux derniers cas il faut avoir recours à un mécanicien bien au courant de l'ajustement des roulettes intégrantes.

4° Si le déroulement u de la roulette est le même, lorsqu'on contourne la même figure, tantôt à gauche, tantôt à droite de la base; c'est-à-dire si l'axe de la roulette est parallèle à la tige motrice. Ceci peut se vérifier également à l'aide de la règle de contrôle; on n'a qu'à avoir soin que le cercle

tracé dans les deux positions, ne s'approche pas trop de la base $x\,x$, sans quoi l'erreur de lecture *ne proviendrait plus uniquement d'une fausse position de l'axe de la roulette.*

Fig. 22.

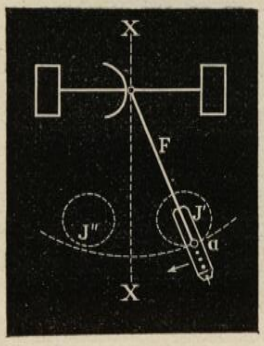
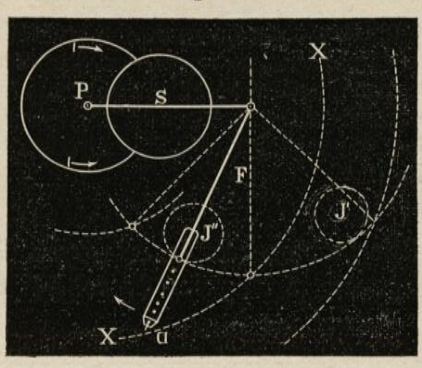


Fig. 23.



Les figures 22 et 23 mettent sous les yeux la manière d'exécuter cette vérification pour le planimètre roulant et le planimètre-à-disque. Si la lecture en J_1 (à droite de la base) est plus forte que celle en J'' (à gauche de la base), il faut déplacer *à droite* l'extrémité de l'axe de la roulette qui est tournée vers le traçoir, et vice-versa. Cette rectification s'opère, en déplaçant — d'un côté seulement — le cadre qui porte l'axe de la roulette (voir la description de ces planimètres).

La figure 18 démontre, de quelle façon cette vérification se pratique pour le planimètre à compensation. Si la position F de la tige (le pôle étant à gauche) annonce un résultat plus fort que celle en F_1 (pôle à droite), il faudra également déplacer à droite le bout de l'axe de la roulette qui est tournée du côté du traçoir — en supposant que l'instrument soit construit pour opérer cette rectification (voir fig. 20). — Autrement on éliminera l'erreur, en prenant la moyenne arithmétique entre les deux positions de la tige.

5° Si les chiffres inscrits au tableau pour la mise-au-point du bras moteur, et la constante (pôle à l'intérieur de la figure) sont justes.

Cette vérification se fait d'abord approximativement à l'aide de la règle de contrôle, en traçant quelques cercles de rayons différents et en prenant la moyenne de la série des résultats. Quant à la vérification définitive, elle ne peut se faire qu'en contournant une figure (polygone-repère) dont on aura d'abord déterminé la surface d'une façon rigoureusement exacte. Si les résultats, signalés par le planimètre, sont trop petits de $\frac{1^e}{n}$ de la surface vraie, il faudra raccourcir le bras moteur de $\frac{1^e}{n}$ de sa longueur. On fera le contraire, si le contournement donne un chiffre trop élevé. — La division gravée sur la tige, donne cette longueur (c'est-à-dire la distance entre la pointe et l'axe vertical du bras moteur) avec une approximation plus que suffisante.

Pour vérifier la constante, on contourne, dans le sens de l'aiguille, un grand carré dont la contenance réelle est connue. Puis on divise le chiffre J par la valeur f de l'unité du vernier; on y additionne ensuite la *première*

lecture L_1 et l'on retranche de la somme la *seconde* lecture L_2; le reste représente le nombre constant. C'est la formule:

$$C = \frac{J}{f} + L_1 - L_2$$

6° Pour finir, on pourra encore vérifier — en ce qui concerne le planimètre de précision à disque — si les déroulements restent les mêmes, lorsqu'on contourne la même figure plusieurs fois, pendant que la roulette r occupe successivement des positions différentes sur le périmètre du disque P (fig. 17) et pendant que le disque S stationne entre les deux marques-repères du disque polaire P.

IX. Comment on calcule au moyen de la division, gravée sur la tige motrice, la longueur de celle-ci et sa mise au point exacte.

Pour trouver par le calcul une mise au point de la tige pour laquelle le chiffre n'est pas inscrit au tableau; ou si l'on a besoin de connaître la longueur du bras moteur, on se servira de sa division comme d'un auxiliaire très précieux.*) C'est dans ce but que j'ai ajouté au tableau les valeurs f^0 de l'unité du vernier pour la grandeur naturelle (1 : 1), en $^{mm^2}$.

Soit a la plus longue et a_1 la plus courte des mises au point, indiquées au tableau; f^0 et $f^0{}_1$ les valeurs correspondantes de l'unité du vernier en $^{mm^2}$; a_2 la mise au point cherchée qui correspond au chiffre de surface $f^0{}_2$; F la longueur de la tige pour la surface $(f^0 - f^0{}_2)$. Alors nous avons la proportion:

$$\frac{a - a_1}{F} = \frac{f^0 - f^0{}_1}{f^0 - f^0{}_2}, \text{ d'où résulte } F = \frac{(a - a_1)\,(f^0 - f^0{}_2)}{(f^0 - f^0{}_1)} \qquad (1)$$

et finalement $a_2 = a - F$. (2)

Exemple: Soit $a = 320{,}9$; $f^0 = 10\ ^{mm^2}$; $a_1 = 128{,}5$; $f^0{}_1 = 4\ ^{mm^2}$ et que l'on veuille connaître la mise au point a_2 pour l'échelle de 1 : 2500, avec une valeur de 20 $^{mm^2}$ pour l'unité du vernier; $f^0{}_2$ étant $= 3{,}2\ ^{mm^2}$.

D'après l'équation (1) nous avons:

$$F = \frac{(320{,}9 - 128{,}5) \times (10 - 3{,}2)}{(10 - 4)} = 218{,}05.$$

Avant de se servir de l'instrument, on fera bien de vérifier l'exactitude de la mise au point nouvellement déterminée par le contournement d'une figure-repère à surface connue.

Pour l'unité de surface (10 $^{mm^2}$) la longueur correspondante de la tige peut être trouvée d'une manière analogue et appliquée ensuite à n'importe quelle valeur superficielle à l'aide d'une simple règle de trois. De l'exemple précité ressort une longueur de tige de 320,65 pour 10 $^{mm^2}$; le vernier du bras moteur est donc déplacé de + 0,25 contre la véritable longueur de la tige; ce chiffre constant doit être ajouté ou retranché chaque fois, selon qu'il apparaisse avec le signe (+) ou (—), pour avoir la mise au point vraie.

Supposons pr. ex. qu'on cherche, dans le cas ci-dessus la mise au point pour 6,4 $^{mm^2}$; on n'a qu'à multiplier la longueur de tige pour 10 $^{mm^2}$ = 320,65

*) Voir l'article de F. Lorber (Journal des géomètres allemands 1883, n° 17).

par 6,4, ce qui donne 205.21; en y ajoutant le chiffre invariable + 0,25, on obtient pour la mise au point exacte: 205,46.

Il arrive souvent, surtout pour la vérification de surfaces sur d'anciens plans, que, le papier s'étant rétréci, les dimensions du dessin ne sont plus justes. Or, si nous connaissons la longueur de la tige motrice de notre planimètre, il nous est facile de la modifier de façon que les surfaces qu'il indique, soient exactes, malgré le rétrécissement du plan. Supposons pr. ex. que les dimensions de celui-ci aient diminué de 1 % dans un sens et de 0,5 % dans l'autre, il s'en suit que, si nous calculions les surfaces avec la longueur normale de la tige, nous les obtiendrions toutes trop faibles de 1,495 %. On n'aura donc qu'à raccourcir le bras moteur de 1,5 % de sa longueur normale pour avoir les contenances vraies; ou, si nous appliquons l'exemple cité plus haut, il faudra mettre la tige non pas à la côte 320,9, mais à celle de 316,1 (car: 320,65 × 0,015 = 4,81; et 320,9 — 4,8 = 316,1).

Ces avantages que présente un instrument à tige motrice divisée, ressortent trop clairement, pour que l'acquéreur d'un planimètre puisse hésiter dans son choix.

Pour terminer, nous ajouterons un tableau d'ensemble sur le

X. Rendement des nouveaux Planimètres Coradi les plus en usage actuellement.

Désignation des Planimètres		Longueur de la tige de la pointe à l'axe vertical		Valeur de l'unité du Vernier		Maximum de surface pouvant être embrassée en un seul contournement		Approximation d'un seul contournement avec la règle de contrôle d'un rayon de	
		maxim.	minim.	maxim.	minim.	hauteur	largeur	10 cm	2 cm
		cm	cm	mm²	mm²	cm	cm	environ	
Planimètre roulant grand modèle		25	8	1	0,4	à volonté	25	1/5000	1/500
id. à rallonge		50		2		„	50	1/2500	
Planimètre roulant petit modèle		20	5	0,8	0,32	„	20	1/5000	1/500
id. à rallonge		40		1,5		„	40	1/2500	
Planimètre à disque		30	7,5	2	0,5	25	20	1/4000	1/500
Planimètre à compensation	Fig. 20	16	3,2	10	2	25	25	1/2000	1/125
	Fig. 21	16	10	10	6,25	25	25		

XI. Table pour l'emploi de la règle de contrôle.

	Valeur de l'unité du vernier pour 1 : 1 mm (f_0)	Echelle du plan $\frac{1}{n}$	Valeur de l'unité du vernier pour l'échelle du plan m² (f)	Différences des lectures ($L_2 - L_1$) pour un seul contournement de cercles d'un rayon de 1 à 10 cm.									
				1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm	8 cm	9 cm	10 cm
1	10	1 : 1000	10	*0,03,14	0,12,56	0,28,27	0,50,26	0,78,54	1,13,09	1,53,93	2,01,06	2,54,47	3,14,16
2	9	1 : 3333 1/3	100	0,03,49	0,13,96	0,31,41	0,55,85	0,87,26	1,25,66	1,71,04	2,23,40	2,82,74	3,49,06
3	8 8/9	1 : 1500	20	0,03,53	0,14,13	0,31,8	0,56,54	0,88,35	1,27,23	1,73,17	2,26,18	2,86,27	3,53,42
4	8	1 : 500	2	0,03,92	0,15,7	0,35,33	0,62,83	0,98,17	1,41,37	1,92,41	2,51,33	3,18,09	3,92,70
5	7,5	1 : 2000	30	0,04,18	0,16,75	0,37,69	0,67,02	1,04,72	1,50,79	2,05,24	2,68.08	3,39,29	4,18,88
6	250/36	1 : 2400	40	0,04,52	0,18,09	0,40,71	0,72,38	1,13,09	1,62,86	2,21,66	2.89,52	3.66,43	4.52,39
7	6,4	1 : 1250	10	0,04,9	0,19,63	0,44,18	0,78,54	1,22,71	1,76,71	2,40,51	3,14,16	3,97,61	4,90,85
8	6,25	1 : 4000	100	0,05,02	0,20,1	0,45,23	0.80,42	1,25.66	1,80,95	2,46,30	3,21,69	4,07,15	5,02,65
9	50000/8281	1 : 1820	20	0,05,2	0,20,81	0,46,82	0,83,24	1,30,08	1,87.28	2,54,95	3,32,96	4,21,38	5,20,31
10	400000/74529	1 : 2730	40	0,05,85	0,23,41	0,52,67	0,93,64	1,46,39	2,10,69	2,86,82	3,74,57	4,74,03	5,85,35
11	640/125	1 : 6250	200	0,06,13	0.24,54	0.55,22	0,98,17	1,53,36	2,20,88	3,00.63	3,92,70	4,96,98	6,13,56
12	5	1 : 2000	20	0,06,28	0,25,13	0,56,54	1,00,52	1,57,08	2,26,19	3,07,86	4,02,12	5,08,89	6,28,32
13	3125/648	1 : 1440	10	0,06,51	0,26,06	0,58.62	1,04,24	1,62,86	2,34,50	3,19,18	4,16.96	5,27,63	6,51,44
14	4 4/9	1 : 3000	40	0,07,06	0,28,26	0,63,61	1,13,09	1,76,71	2,54,47	3,46,34	4,52,36	5,72,54	7,06,84
15	4	1 : 5000	100	0,07,85	0,31,41	0,70,68	1,25,66	1,96,34	2,82,74	3,84,82	5,02,66	6,36,18	7,85,40
16	3,2	1 : 2500	20	0,09,81	0,39,27	0,88,35	1,57,08	2,45,43	3,53,42	4,81,02	6,28,32	7,95.19	9.81,75
17	□" 0,0125 □"	mesure autrich. 1" = 40°	□° 20	0,03,62	0,14,48	0,32,59	0,57,95	0,90,54	1,30,39	1,77,47	2,31,80	2,93,37	3,62,19
18	0,01 □"	1" = 20°	4	0.04,52	0,18,11	0,40,74	0,72,44	1,13,18	1,62,99	2,21,85	2,89,76	3,66,71	4,52,75
19	□"	mesure anglaise	□'	1"	2"	3"	4"						
20	0,0125	1" = 40' (1 : 480)	2	0,25,13	1,00,53	2,26,19	4,02,12						
21	$\frac{1}{90}$	1" = 30' (1 : 360)	1	0,28,27	1,13,09	2,54,47	4,52,39						
22	0,01	1" — 100' (1 : 1200)	10	0,31,41	1,25,66	2,82,74	5,02,66						
23	0,0144	mesure russe 1" = 100 Sagène	Dessiatin 0,06	0,21,81	0,87,26	1,96,35	3,49,06						
24	0,012	1" = 100 Sagène	0,05	0,26,18	1,04,72	2,35,62	4,18,87						

*) Les lectures au disque compteur, à la roulette et au vernier, sont séparées chacune par une virgule. Pour le planimètre roulant et celui à disque, oú la valeur de f_0 est dix fois moindre, la virgule est à reculer d'une unité à droite.

NB. Pour les échelles auxquelles ce tableau n'est pas directement applicable, la valeur correspondante de l'unité du vernier s'obtient par un simple calcul. Si pour l'échelle $\frac{1}{n}$ cette valeur est $= f$, elle est pour la même longueur de tige et l'échelle $\frac{1}{n \cdot m} = f \times m^2$.

Exemple si pour l'échelle: $\frac{1}{500}$ la valeur $f = 2\ m^2$, elle est pour $\frac{1}{500 \times 2} = \frac{1}{1000} = 8\ m^2\ (2 \times 2^2)$ etc.

CABASSON

BRONNE-CABASSON Succr

MAISON FONDÉE EN 1791

29 rue Joubert, 29

Paris

SEUL DÉPOSITAIRE POUR LA FRANCE
DES PANTOGRAPHES
ET PLANIMÈTRES CORADI

Dépositaire du Tachéomètre Sanguet
auto-réducteur
adopté par l'Administration des Forêts;
de l'équerre à double réflexion de Coutureau
etc. etc.