ENCYCLOPÉDIE TECHNOLOGIQUE

DICTIONNAIRE

DES

ARTS ET MANUFACTURES

DE L'AGRICULTURE, DES MINES, ETC.

DESCRIPTION DES PROCÉDÉS

DE L'INDUSTRIE FRANÇAISE ET ÉTRANGÈRE

PAR MESSIEURS

ALCAN, Ingénieur, Professeur au Conservatoire des Arts et Métiers.
BARRAL, Répétiteur à l'École Polytechnique. — BARRAULT, Ingénieur civil. — BRÉGUET, du Bureau des Longitudes
V. BOIS, Ingénieur. — BRUN, ancien Imprimeur. — D'ARCET, de l'Institut (Académie des Sciences).
P. DESORMEAUX, auteur de plusieurs ouvrages de Technologie. — DEBETTE, ancien Élève de l'École Polytechnique, Ingénieur des Mines
DÉGLIN, Ingénieur des Ponts-et-Chaussées. — DUBIED, ancien Élève de l'École centrale, Ingénieur-Constructeur.
EBELMEN, Professeur à l'École des Mines, Directeur de la Manufacture de Sèvres.
FAURE, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures.
GIBON, ancien Élève de l'École centrale, Directeur d'usines métallurgiques. — GROUVELLE, Ingénieur civil.
HANRIOT, Directeur de Papeterie. — JOBARD, Directeur du Musée de l'Industrie belge.
KNAB, Ingénieur. — CH. LABOULAYE, ancien Élève de l'École Polytechnique, ancien Officier d'Artillerie, Fondeur en caractères.
H. MAGNE, Professeur à l'École d'Alfort. — MALLET, Chimiste. — MANGON, Ingénieur des Ponts-et-Chaussées.
ROUGET DE LISLE, Ingénieur-Manufacturier.
P. TOURNEUX, Chef du Bureau des Chemins de fer au Ministère des Travaux publics.
VINCENDON-DUMOULIN, Ingénieur Hydrographe de la Marine,
et un grand nombre d'Ingénieurs et de Fabricants.

PUBLIÉ PAR M. C. LABOULAYE

A-F

PARIS

Bureau de la Publication

LIBRAIRIE DE LACROIX I Y

QUAI MALAQUAIS, 15

les pierres très dures (voyez **POTERIE**, **VERRERIE**); dans ce cas, après les avoir fait chauffer jusqu'au blanc, on les *étonne* en les projetant brusquement dans une grande masse d'eau froide. On calcine, pour leur faire prendre de la cohésion et leur assurer une durée pour ainsi dire indéfinie, les argiles (voyez **BRIQUE**, **POTERIE**).

Quant aux appareils de calcination ils varient suivant le résultat à obtenir et la nature de la matière que l'on traite; aussi en renvoyons-nous la description aux articles spéciaux.

CALCULER (MACHINES A). Plusieurs machines ingénieuses ont été inventées pour effectuer mécaniquement des calculs assez compliqués. La plus ancienne de ces machines est due au célèbre Pascal, dont le génie entrevit l'avenir de ce genre d'invention, qui certes est loin d'être arrivé au dernier degré de perfectionnement. Nous passerons rapidement en revue les principaux systèmes connus aujourd'hui, en ne nous arrêtant que sur ceux d'une utilité pratique incontestable.

Nous décrirons d'abord les machines à compteur à chiffres, puis celles à division logarithmique, enfin les machines graphiques.

Machine à calculer, addition et soustraction, du docteur Roth. Cette ingénieuse machine consiste en une boîte longue et étroite, dont la face supérieure est recouverte d'une plaque sur laquelle on a gravé des chiffres. A l'une des extrémités de la boîte est placé un style à pointe mobile destiné à *écrire* les nombres. La plaque est divisée en huit cadrans ou anneaux demi-circulaires; les six premiers, en allant de gauche à droite, servent à poser les nombres depuis les centaines de mille jusqu'à l'unité; les deux derniers sont consacrés aux fractions décimales du nombre à écrire. Autour de chaque cadran sont gravés deux séries de 10 chiffres de 0 à 10; les *noirs* servent pour l'addition, les *rouges* pour la soustraction, et dans les entailles demi-circulaires existent des dents dont les intervalles correspondent aux chiffres. Au-dessous des cadrans règnent deux rangées de trous destinés à présenter sur une ligne horizontale le nombre que l'on pose; nous leur donnerons le nom de tableau. Le tableau rouge supérieur est destiné à la soustraction, le tableau noir inférieur à l'addition.

Lorsqu'on veut faire une addition et poser un nombre quelconque, on commence par ramener tous les trous ronds à zéro, puis on dégage le style placé à l'extrémité de la boîte, on en enfonce verticalement la pointe dans l'entaille au cran correspondant au chiffre que l'on veut poser, et on conduit ce cran de *droite à gauche* jusqu'à l'extrémité du cadran; le chiffre se produit aussitôt dans le trou placé immédiatement au-dessous du cadran sur lequel on a opéré; on procède ensuite de la même manière, jusqu'au dernier, pour les chiffres suivants du nombre à poser, en observant que s'il se rencontre un zéro il n'y a pas à le marquer.

Supposons que l'on veuille écrire le nombre 1,630 *francs* 23 *centimes;* on placera le style dans le cran correspondant au chiffre 1 noir sur le cadran des *mille*, et on amènera les dents jusqu'à l'extrémité gauche; on écrira de même le chiffre 6 sur le cadran des *cents*, 3 sur celui des *dixaines*, et rien sur celui des *unités*, puisque le chiffre des unités est zéro; puis aux cadrans des fractions, 2 sur celui des *décimes*, et 3 sur celui des *centimes;* on aura pour résultat de cette opération le nombre. . . . . 1630,23, écrit au tableau noir; si on veut ajouter à ce nombre celui de. 29837,55, par exemple, on opèrera comme pour le premier nombre et la somme. . . . . 31467,78 se trouvera écrite au tableau noir. On peut de cette manière ajouter à un premier nombre tous ceux que l'on veut jusqu'à un million, et toujours l'addition exacte se fait à mesure que l'on écrit. Il est indifférent d'écrire les nombres en commençant par la gauche ou par la droite; seulement le premier procédé est le plus commode.

Le mécanisme de cette ingénieuse machine est tellement simple que nous espérons le faire aisément comprendre sans figures. Les dents qui saillissent dans chaque entaille demi-circulaire appartiennent à une roue à rochet concentrique, à laquelle un cliquet permet seulement de se mouvoir de droite à gauche. Ces roues portent sur deux circonférences concentriques et écrits en noir et en rouge la série double des chiffres 0, 1, 2... 9, 0, 1, 2... 9, écrits les uns dans un sens, les autres dans l'autre, comme cela a lieu pour les deux séries simples gravées sur le pourtour des entailles circulaires. Les trous ronds des deux tableaux sont respectivement pratiqués au-dessus de ces deux circonférences. Il est alors évident que l'une de ces roues étant disposée de telle sorte qu'il y ait 0 au tableau noir, si l'on amène avec le style le cran 5 au cran 0, le chiffre 5 viendra remplacer le 0 dans le tableau noir; si on amène de nouveau le cran 2 au cran 0, la roue avancera de deux dents, et le chiffre $7 = 5 + 2$ remplacera le 5 au tableau noir. L'axe de chacune des roues à rochet porte une double came, contre laquelle vient appuyer, par le moyen d'un ressort, une saillie pratiquée sur l'un des bras d'un levier coudé, dont l'autre bras porte lui-même un ressort ou cliquet qui, à chaque demi-tour de la roue, fait sauter une des dents de la roue à rochet de gauche, de telle sorte que, lorsque la somme des unités, successivement écrites sur un cadran, atteint une dizaine, ce cliquet fait sauter une dent ou un chiffre du cadran de gauche. On conçoit donc que les additions se fassent comme nous l'avons indiqué, et que le nombre des cadrans et des roues à rochet détermine la grandeur des nombres sur lesquels on peut opérer.

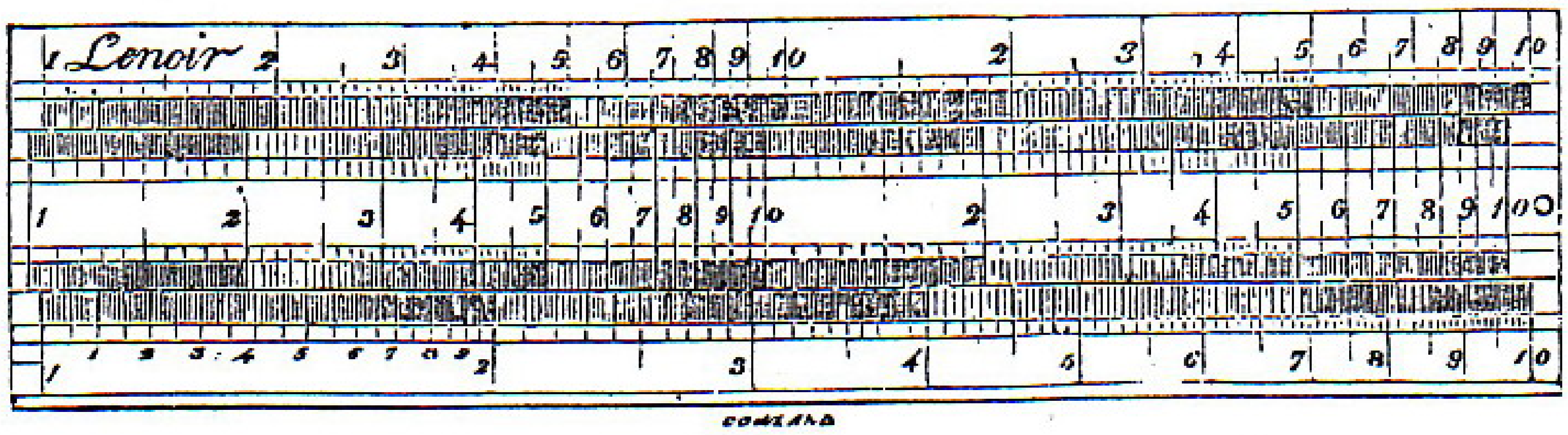
Lorsque ayant terminé une addition, on veut en commencer une autre, il faut commencer par ramener tous les trous ronds du tableau noir à zéro : pour cela on attire d'abord à soi le bouton de cuivre placé à l'extrémité gauche de la boîte, lequel termine une tige cachée dans l'intérieur; par ce mouvement, la tige est dégagée d'un crochet qui la retient; on la fait alors sortir doucement et horizontalement, en tirant le bouton jusqu'à ce que l'on sente de la résistance, et par ce moyen on amène au tableau une succession de 9 représentant 99,999 francs 99 centimes. Si, après avoir repoussé la tige dans l'intérieur jusqu'à ce qu'elle soit de nouveau saisie par le crochet (précaution indispensable), on ajoute 1 centime, on obtient instantanément des zéros sur toute la ligne, et on peut dès lors commencer une nouvelle addition. Ce dernier mécanisme est aussi simple que les précédents; l'axe de chaque roue à rochet porte une seconde double came qui offre à peu près la forme d'un rhombe ou losange allongé et à faces légèrement évidées. La tige dont nous venons de parler pénètre jusqu'au milieu environ de la boîte, et est liée par deux boulons à une autre tige parallèle à la longueur de la boîte, portant huit mentonnets qui, lorsque la première tige est saisie par le crochet, se trouvent à la droite et un peu au-dessus de la ligne des axes de chacune des doubles cames ci-dessus, dont ils traversent le plan, et qu'ils ne peuvent pas alors toucher; mais, lorsqu'on dégage la première tige et qu'on la tire de droite à gauche, les boulons qui joignent les deux tiges glissent dans deux anneaux ou guides à peu près demi-circulaires, de telle sorte que tous les points de la seconde tige, et par suite les huit mentonnets qu'elle porte, décrivent des courbes égales et parallèles, pour venir se placer de l'autre côté de chaque roue à rochet dans une position symétrique. Quelle que soit alors la position de chaque double came, si elle n'est pas dans celle qui correspond au 9 sur le tableau noir, l'une des cames simples qui la compose se trouvera au-dessus de la ligne droite qui passe par les positions primitives des mentonnets, et sera entraînée par le mentonnet de droite, qui la ramènera dans la position voulue. Il est indifférent que le mentonnet touche l'une ou l'autre des cames de la double came, puisque chacune des moitiés de la roue à rochet porte les mêmes chiffres, dans le même ordre, en allant toujours dans le même sens.

Ces divers mécanismes étant bien compris, il est facile de voir comment il faudra s'y prendre pour faire une soustraction, en remarquant que les chiffres rouges sont écrits sous les chiffres noirs, en sens inverse, c'est-à-dire de droite à gauche, de telle sorte que la somme d'un quelconque des chiffres noirs et du chiffre rouge placé en regard au-dessous, soit sur l'un des cadrans, soit sur l'une des roues à rochet, est toujours égale à 9. A cet effet on mettra, avant de commencer l'opération, tous les chiffres du tableau noir à 0; les chiffres rouges seront alors à 9; on écrira le nombre le plus grand avec les chiffres rouges, en ne marquant pas les 9 s'il s'en présente. On écrira ensuite le plus petit nombre avec les chiffres noirs, et on lira la différence sur le tableau rouge. Pour éviter toute confusion, il sera convenable de mettre à 0, sur le tableau rouge, tous les cadrans non employés pour écrire le plus grand nombre avec les chiffres rouges.

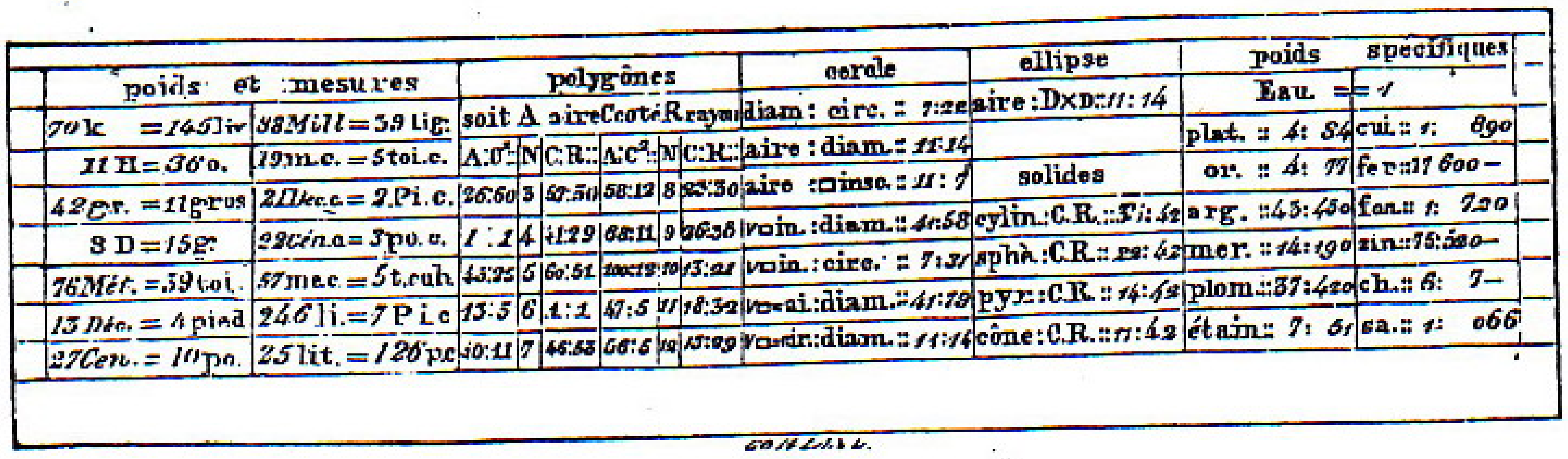
Machine de Babbage. Le savant géomètre anglais, M. Babbage, a construit une machine à calculer fort remarquable. Elle consiste dans des horloges réunies entre elles de telle sorte que la sonnerie de l'une fasse marcher les aiguilles de l'autre. Ainsi, soit une première horloge qui sonne 2 à chaque pression d'un ressort, une seconde partant de la division 3 (les cadrans sont divisés en 1000 parties), sonnera 5, une troisième partant de la division 4 sonnera 9. On voit que cette dernière donnera ainsi toute la suite des nombres carrés, dont les secondes différences sont égales à 2.

Par des dispositions analogues on peut obtenir toutes les séries qui peuvent être formées par voie d'addition et de soustraction entre les nombres qui forment ces séries; et par des transformations convenables presque toutes les tables peuvent être obtenues ainsi.

MACHINES A ÉCHELLE LOGARITHMIQUE.—*Règle à calcul.* La plus usitée des machines à calculer est la règle à calcul qui se compose de deux règles (*angl.* sliding rule), dont l'une, plus étroite, peut glisser dans une coulisse pratiquée sur l'autre; elles portent toutes les deux une série de divisions numérotées, et espacées à partir du zéro, proportionnellement aux logarithmes des chiffres correspondants; pour s'en servir, par exemple, pour effectuer la multiplication de 5 par 7, il suffit d'ajouter à la suite de la longueur, qui, sur une des règles porte le nº 5, celle qui, sur l'autre, porte le nº 7, en plaçant le bout de la règle mobile au point 5 de la règle fixe; et le produit sera le nombre 35 qui, sur cette dernière, correspond à la somme, au-dessus de la division 7. La division se fait de même par une simple soustraction. Rien n'est plus ingénieux et moins compliqué que cette opération, et on est réellement surpris de la promptitude avec laquelle on fait par ce moyen les calculs les plus longs et les plus difficiles. On conçoit aisément qu'on puisse avec des règles analogues résoudre des triangles rectilignes et sphériques, extraire des racines de tous les degrés, estimer les volumes des corps d'après leur poids, ou réciproquement, etc. Pour



349



poids et mesures		polygônes						cercle	ellipse	poids spécifiques	
70k = 145 liv	88 Mill = 39 lig.	soit A aire C coté R rayon						diam : circ. :: 7:22	aire : D×D :: 11:14	Eau = 1	
11 H = 36 o.	19 m.c. = 5 toi.c.	A:C²::	N	C:R::	A:C²::	N	C:R::	aire : diam. :: 11:14		plat. :: 4: 84	cui. :: 1: 890
42 Gr. = 11 gros	21 Dec.c = 2 Pi. c.	26:60	3	57:50	58:12	8	83:30	aire : □ insc. :: 11 : 7	solides	or. :: 4: 77	fer :: 11 600 —
8 D = 15 gr.	22 Cen.c = 3 po. c.	1 : 1	4	41:29	68:11	9	26:38	voin. : diam. :: 4r:58	cylin. : C.R. :: 31:42	arg. :: 43:450	fon. :: 1: 720
76 Mét. = 39 toi.	57 mec = 5 t.cub	43:25	5	60:51	100:19	10	13:21	voin. : circ. :: 7:31	sphè : C.R. :: 29:42	mer. :: 14:190	zin :: 15:520 —
13 Déc. = 4 pied	246 li. = 7 P i c	13:5	6	1:1	47:5	11	18:32	voin.i : diam. :: 41:79	pyr. : C.R. :: 14:42	plom. :: 37:420	ch. :: 6: 7 —
27 Cen. = 10 po.	25 lit. = 126 p.c	30:11	7	46:53	66:5	12	15:29	voin.cir. : diam. :: 11:14	cône : C.R. :: 11:42	étain :: 7: 51	sa. :: 1: 066

350.

les instructions pratiques, nous renverrons à la brochure publiée par M. Lapointe (Paris, Mathias).

La fig. 349 représente la règle à calcul vue de face.

La fig. 350 en représente la face postérieure sur laquelle on inscrit ordinairement les données les plus utiles dans le cours des expériences.

Abaque. M. Lalanne, ingénieur des ponts et chaussées, dont les travaux sur les machines à calculer, ont été justement appréciés, vient de faire paraître récemment un *abaque*, qui repose sur les mêmes principes que la règle à calcul, et permet de faire plus facilement qu'avec celle-ci, certaines opérations assez compliquées.

Cet abaque consiste en une espèce de table de Pythagore, dont les côtés sont divisés proportionnellement aux logarithmes des nombres, et dont les divisions égales sont réunies par des lignes parallèles à la diagonale. L'emploi en est très facile.

DES MACHINES GRAPHIQUES. Les nombres sur lesquels il s'agit d'opérer au moyen des machines à calcul qui précèdent, ne sont dans la pratique que le résultat de mesures, poids, longueurs, etc. Dans le cas le plus fréquent, celui qui se rapporte aux longueurs, on est parvenu, au moyen du planimètre, à rendre inutile cette mesure même et à obtenir le résultat de la mesure d'une surface sans avoir évalué les contours, résultat admirable pour les opérations du cadastre et des levés en général. Si de plus on remarque que les procédés graphiques, les tracés de courbes (voyez DYNAMOMÈTRES) servent dans beaucoup de cas à indiquer des résultats, représentés par les aires renfermées dans leurs contours; on comprendra mieux tout l'avantage qui résulte d'un procédé qui permet d'obtenir avec une approximation suffisante, l'étendue de la surface comprise dans ces tracés.

Enfin si on combine cette machine avec des règles logarithmiques, on entrevoit la possibilité d'obtenir les résultats de calculs fort compliqués. La machine donnant des multiplications par la nature de ses mouvements, est d'un ordre supérieur à celui de la règle à calcul qui ne donne que des additions, et permettra des calculs renfermant des élévations de puissances et des extractions de racines.

Le planimètre a été inventé vers 1827 par M. Oppi-

CALCULER.

kofer, ingénieur au service du canton de Berne. Mais il n'était parvenu à exécuter qu'un appareil très imparfait, jusqu'à ce que M. Ernst, aujourd'hui constructeur d'instruments de précision à Paris, à l'aide de perfectionnements nombreux, l'eût amené à l'état auquel il est parvenu aujourd'hui, travaux qui ont été récompensés par le prix de mécanique Montyon en 1837.

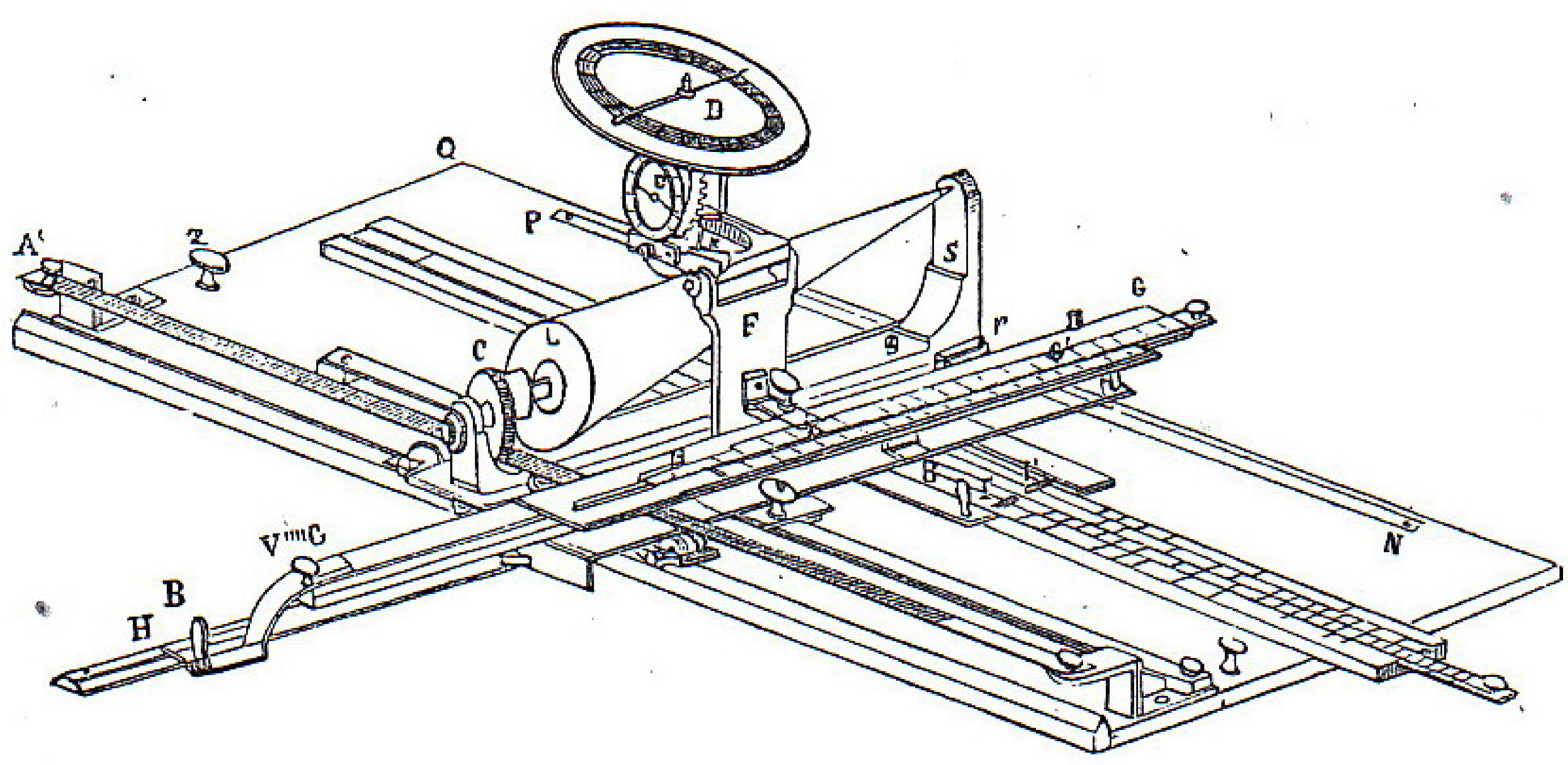
C'est à M. Lalanne, ingénieur des ponts et chaussées, qu'est due l'idée de combiner le planimètre avec la règle logarithmique, et d'en faire une machine à calcul à laquelle il a donné le nom d'arithmoplanimètre.

Du planimètre. Le principe fondamental du planimètre, repose sur l'emploi d'un cône, tournant sur son axe sur lequel repose une roue qui tourne avec lui, ce qui constitue une série d'engrenages croissant *d'une manière continue*, entre les limites marquées par la longueur du cône. Cette machine nous semble si intéressante, qu'on nous saura gré d'en emprunter la description à l'intéressant mémoire publié par M. Lalanne dans les Annales des Ponts et Chaussées.

La fig. 351 représente la perspective du planimètre

et solidaire avec cet axe, pose contre une règle métallique A' tendue parallèlement à l'arête et au-dessus de celle-ci. La règle A' est toujours pressée contre la roue C par une roulette qui agit au moyen d'un ressort contre la face inférieure de cette règle. Par suite de ces dispositions, lorsque l'on pousse le bouton B en avant ou en arrière, le cône tourne en même temps que la roue C, dans un sens ou dans l'autre, d'une quantité proportionnelle au mouvement du bouton. D'ailleurs, pour empêcher tout glissement, la roue C et la règle A' sont rayées sur toute l'étendue des surfaces de contact, de manière à agir l'une sur l'autre comme une roue dentée sur une crémaillère.

2° Une règle transversale G, pouvant glisser parallèlement à elle-même et à la génératrice horizontale du cône, entre trois roulettes *r*, *r*, *r*, qui maintiennent ce parallélisme. A la règle est fixé un montant vertical F, qui porte un *compteur*, au moyen duquel on lit des indications proportionnelles au mouvement de rotation du cône; car la roue inférieure K du compteur pose sur la génératrice horizontale L du cône; et le mouvement



351.

(en faisant abstraction des règles à calcul, addition qui constitue l'arithmo-planimètre dont nous parlerons plus loin).

MNPQ est un plateau en bois d'environ 0^{m},59 de longueur sur 0^{m},27 de largeur, que l'on doit poser sur une table plane et horizontale autant que possible. Sur ce plateau est monté un chariot que supportent trois roulettes verticales en cuivre rouge, savoir deux du côté droit et une du côté gauche.

Les deux roulettes de droite sont à rebords saillants, et maintenues sur un rail en cuivre jaune élevé le long de l'arête du plateau. La roulette de gauche est sans rebords, et pose sur une bande métallique NP, noyée dans le bois du plateau MNPQ. Le bouton B sert à faire avancer ou reculer le chariot, qui se meut toujours ainsi parallèlement à lui-même et à l'arête du plateau, sur une longueur d'environ 0^{m},425 égale à la différence entre la longueur et l'intervallé de l'arête compris par les deux roulettes de droite. Dans ce mouvement, le chariot entraîne avec lui une série de pièces, savoir :

1° Un tronc de cône en métal de cloches, dont l'axe est incliné de telle sorte qu'une génératrice L soit toujours horizontale et perpendiculaire au mouvement du chariot, lorsque le cône tourne autour de cet axe. Les boîtes des tourillons, dont celle de droite est mobile, sont dans les deux supports S, S, fixés sur le plan de base du chariot. Une roue C perpendiculaire à l'axe du cône

est renvoyé de cette roue à un pignon dont la vitesse de rotation est indiquée par une aiguille sur le cadran D, tandis que par un autre renvoi de mouvement du pignon à une seconde roue, l'aiguille du cadran E avance d'une division, lorsque l'aiguille du cadran D a fait un tour entier. Comme on peut amener la roue inférieure K du compteur, en un point quelconque du tronc de cône, en faisant glisser la règle G parallèlement à elle-même, au moyen du bouton B', il est clair que, pour un même mouvement de progression du chariot, les indications du compteur seront différentes, selon sa position sur le cône, ces indications étant d'autant plus faibles que la roue K se rapproche plus du sommet. A peu de distance du bouton B', est une pointe métallique H, affleurant à la fois le plan de la table sur laquelle est posé l'instrument, et le bord de la règle, dont il va être question tout à l'heure.

3° Une autre règle transversale IH, que l'on peut désigner, sous le nom de *directrice*, terminée contre les lettres I, H par une partie en corne transparente taillée en biseau, et parallèle à l'arête horizontale du cône. La directrice est fixée invariablement au corps du chariot.

Il résulte de la description précédente que le compteur, la pièce la plus importante de l'appareil, peut se mouvoir successivement dans le sens de la longueur et dans le sens de la largeur du plateau. Il prend le premier mouvement, lorsque l'on pousse en avant ou en arrière le bouton B; il prend le second, lorsque l'on fait glisser à gauche ou à droite la règle G, au moyen du bouton B'. Le premier ne saurait avoir lieu sans que le chariot avance, et sans que les aiguilles tournent sur leurs cadrans. Dans le second mouvement, le même point de la roue K étant toujours au contact avec la même génératrice horizontale du cône, les aiguilles restent en place.

A l'avant-corps du compteur est fixée une vis de pression qui peut servir à l'arrêter en un point quelconque de son mouvement transversal. De même, à l'avant de la base du chariot, est attachée une autre vis de pression V', qui agit sur la triugle *aa'*, de manière à fixer le chariot en un point déterminé de son mouvement longitudinal.

On remarquera que le compteur est mobile autour d'un axe horizontal terminé par les deux tourillons fixés dans le montant F; de sorte qu'on peut soulever légèrement le compteur d'une main et l'empêcher de marcher, pendant que l'on pousse le chariot dans un sens ou dans l'autre. On peut aussi, en soulevant légèrement le compteur, faire tourner à la main l'une des deux roues K ou K', de manière à amener les aiguilles sur les zéros des cadrans.

Le zéro du cadran horizontal D est en avant, sur le rayon dirigé dans le sens de la longueur de l'instrument. Ce cadran est divisé en 50 parties égales, chiffrées de gauche à droite et de droite à gauche, et subdivisées elles-mêmes chacune en 10 parties. Le zéro du cadran vertical E est aussi en avant, sur le rayon horizontal. Ce cadran est divisé en 50 parties égales chiffrées aussi dans les deux sens, et partagées chacune en deux. L'aiguille du cadran E avançant d'une demi-division lorsque l'aiguille du cadran D a fait un tour entier, si l'on considère chacune des 50 parties égales de ce dernier comme représentant des ares, chacune des divisions de l'autre cadran indiquera un hectare. Plus généralement, si les dernières subdivisions du cadran D, sont regardées comme valant n unités, chacune des demi-divisions du cadran E vaudra $500\,n$.

Si l'on soulève légèrement le compteur et que l'on fasse tourner avec la main l'une des deux roues K ou K', on verra que lorsque l'aiguille du cadran D marche *dextrorsùm* (de gauche à droite), l'aiguille du cadran E tourne de bas en haut dans la moitié de gauche du cadran E, et de haut en bas dans la moitié de droite. Il n'y aura donc jamais de doute sur la manière dont la lecture doit être faite simultanément sur les deux cadrans. Lorsque l'aiguille du cadran E sera éloignée du zéro après avoir suivi un arc ascendant (qui commence au-dessus d'un rayon horizontal passant par le zéro), la lecture devra être faite *dextrorsùm* sur le cadran D; lorsqu'au contraire le mouvement final de l'aiguille du cadran E sera un arc descendant, on lira *sinistrorsùm* l'indication du cadran D. Comme le cadran D porte, sur un grand nombre de circonférences concentriques, des divisions différentes, sur lesquelles on doit lire les indications de l'aiguille, celle-ci marque par un de ses bords qui est dirigé suivant un rayon, et non pas par sa pointe.

Usage du planimètre pour la mesure des aires planes. Pour montrer comment cet appareil peut servir à mesurer la superficie d'un polygone plan quelconque, considérons d'abord le cas où l'on aurait à évaluer l'aire d'un rectangle ABCD (fig 352), dont la base $AB = b$ est per-

352.

pendiculaire au mouvement longitudinal du cône et dont la hauteur $BC = h$, est parallèle à ce même mouvement.

On amènera le bord de la règle de corne sur la ligne AB, et la pointe H sur le point B, le plus éloigné du sommet du cône. Puis, après avoir placé les aiguilles du compteur à zéro, on poussera le bouton du mouvement longitudinal de manière à faire suivre à la pointe H le côté BC. Ensuite on fera glisser le bouton du mouvement transversal de droite à gauche jusqu'à ce que la pointe soit en D; et enfin on redescendra avec un mouvement longitudinal contraire au premier, jusqu'à ce que la pointe soit arrivée en A. Je dis que l'indication du compteur sera l'expression de l'aire du rectangle.

En effet, lorsque l'on pousse le bouton du mouvement longitudinal de manière à faire parcourir à la pointe la longueur BC, les aiguilles du compteur tournent évidemment d'une quantité proportionnelle à cette longueur h, et au rayon R de la section du cône sur laquelle le compteur est placé, de sorte que la première indication de l'aiguille a pour expression

$$KhR$$

K désignant un coefficient constant. Lorsque l'instrument revient en sens contraire, la pointe H suivant le côté DA, les aiguilles tournent en sens contraire de leur marche primitive d'une quantité représentée par

$$Khr$$

où K et h ont les mêmes valeurs que ci-dessus, et où le rayon de la circonférence sur laquelle pose le compteur est désigné par r. L'indication finale sera donc la différence des deux indications, c'est-à-dire

$$A = Kh\,(R - r).$$

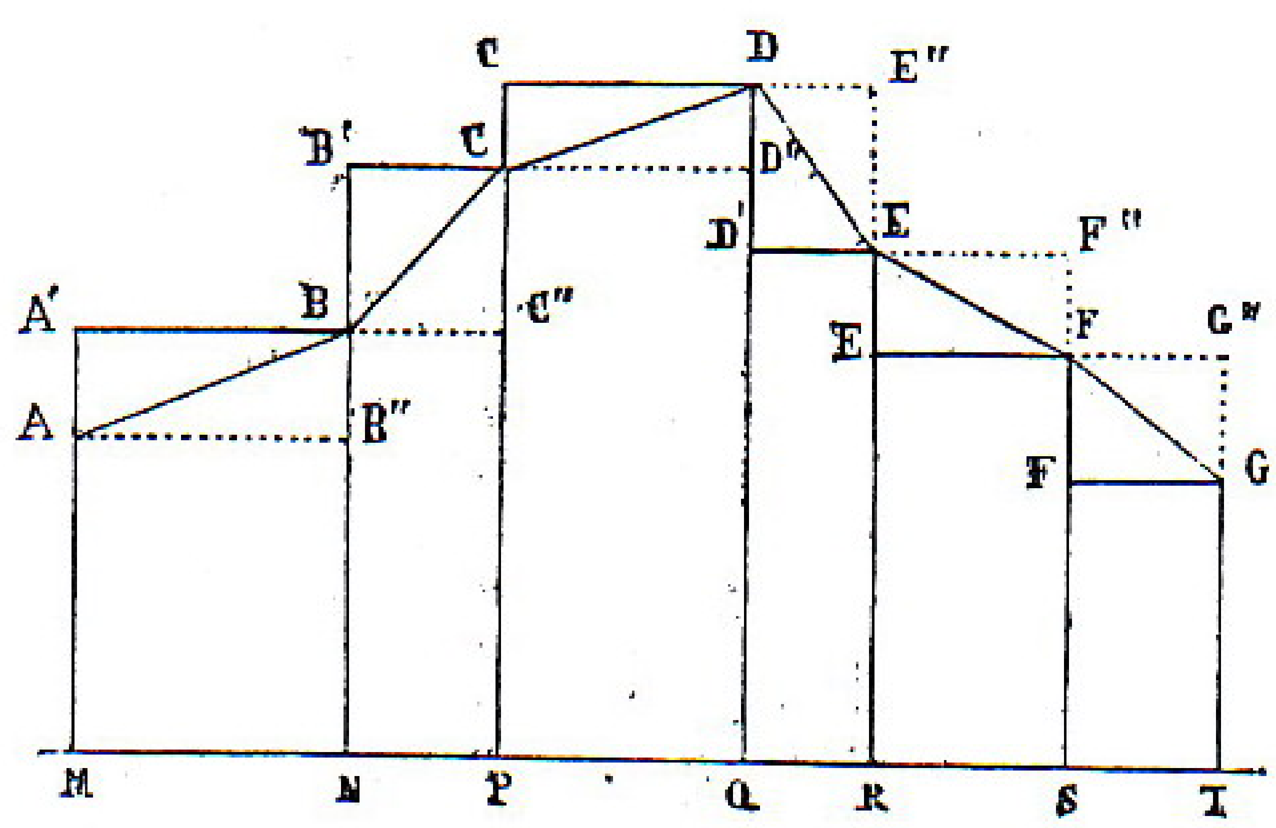
Or, α étant l'angle générateur du cône, B la distance au sommet du point de contact du compteur quand l'index est au point B, B' quand il est au point D, on a $B \sin.\alpha = R$, $B' \sin.\alpha = r$, d'ou : $A = Kh \sin.\alpha\,(B - B')$. Or, $B - B'$, ou la distance des points sur les quels a posé le compteur, n'est autre que la quantité dont la pointe s'est avancée transversalement, autrement dit la base b du rectangle, la relation précédente donne

$$A = K \sin.\alpha.\, b h.$$

Or, on peut toujours, dans la construction de l'instrument, disposer le compteur, le cylindre d'engrenage à la base du cône et l'angle au sommet, de telle sorte que le coefficient constant $K \sin.\alpha$ ait une valeur déterminée pour une certaine échelle, à laquelle sont rapportées les figures des aires à évaluer. Dans le modèle adopté, on suppose l'échelle de $\frac{1}{2000}$ et on a pris $K \sin.\alpha = \frac{1}{2}$, de sorte que l'indication A du compteur sera précisément en hectares, ares et centiares la moitié de l'aire du rectangle. Cette aire aura donc pour expression $2A$. On verra tout à l'heure pourquoi on a mieux aimé donner au coefficient $K \sin.\alpha$ la valeur $\frac{1}{2}$ que la valeur 1.

Avant de passer au cas général, observons que l'on peut commencer par suivre avec la pointe le côté AD au lieu du côté BC; l'indication du planimètre exprimera toujours l'aire du rectangle : seulement, elle sera marquée sur les cadrans du compteur, en sens contraires, selon que l'on suit les directions BCDA ou ADCB. On voit encore que l'on peut commencer indifféremment par l'un des quatre sommets A, B, C, D, pourvu que les chemins suivis par la pointe soient dirigés en sens contraires sur les côtés AD, BC. L'aire du rectangle sera toujours marquée par les aiguilles du compteur, d'un côté ou de l'autre des 0 des limbes des cadrans.

Considérons maintenant l'aire comprise au-dessous de la droite MT, fig. 353, entre un contour polygonal quelconque ABCDEFG, et deux ordonnées AM, GT perpendiculaires à MT, et parallèles au mouvement longitudinal du cône. Si par chacun des sommets du polygone on mène une parallèle à la base MT, comprise entre les deux ordonnées voisines ou entre leurs prolongements, on aura d'abord un premier contour polygonal rectangulaire MA'BB'CC'DD'EE'FF'GT déterminé par les portions de ces parallèles comprises entre chaque sommet et l'ordonnée la plus voisine à gauche; puis ensuite un autre contour MAB''BC''CD''DE''EF''FG''T déterminé par les portions des mêmes parallèles comprises entre chaque sommet et l'ordonnée la plus voisine à droite. Or, il est évident que l'aire limitée par le premier contour polygonal surpasse l'aire du polygone MABCDEFGT, des triangles AA'B, BB'C, CC'D, et qu'elle est surpassée par cette dernière d'une surface égale à la somme des triangles DD'E, EE'F, FF'G. Tout au contraire, l'aire que comprend le second contour polygonal est surpassée par l'aire cherchée, d'une quantité égale à la somme des triangles AB''D, BC''C, CD''D respectivement égaux aux triangles AA'B, BB'C, CC'D; et elle la surpasse de la somme des triangles DE''E, EF''F, FG'G respectivement égaux aux triangles



353.

DD'E, EE'F, FF'G. En un mot, tout triangle rectangle *excédant* par rapport à l'aire cherchée, dans le premier polygone, est remplacé par un triangle *déficient* égal dans le second, et réciproquement. La somme des superficies des deux polygones rectangulaires est donc le double de l'aire cherchée, et la détermination de celle-ci se réduit à la mesure des deux polygones rectangulaires.

Mais rien n'est plus facile que cette mesure, au moyen du planimètre, pour le polygone MA'BB'CC'DD'EE'FF'GT. Par exemple, après avoir placé la directrice sur MT et la pointe sur M, les aiguilles étant amenées sur zéro, on poussera le compteur en avant jusqu'à ce que la directrice rencontre le sommet B, sur lequel on amènera la pointe : on ira de nouveau en avant jusqu'à ce que la directrice rencontre le sommet C, et ainsi de suite; de sorte que le chemin parcouru par la pointe sera le contour polygonal dont il s'agit de déterminer la surface, et qui est marqué par un trait fort sur la figure. L'indication du compteur sera absolument la même que si l'on avait pris successivement les superficies des rectangles *MA'BN*, *NB'CP*, *PC'DQ*... et ainsi de suite...; car en opérant cette décomposition en rectangles, on descendrait et on remonterait successivement le long des lignes BN, CP, D'Q, E'R, F'S et ces deux mouvements contraires et égaux ne pourraient en rien changer l'indication dernière du compteur, laquelle est la moitié de l'aire limitée par le contour polygonal.

Cette première portion de la surface cherchée étant obtenue, on ramène les aiguilles du compteur à zéro, et en commençant par le point T, on parcourt le contour polygonal TG''FF''EE''DD''CC''BB''AM; la nouvelle indication du compteur est la seconde portion de la surface cherchée, et la somme de ces deux indications est l'aire du polygone MABCDEFGT. On voit maintenant pourquoi les cadrans du compteur sont gradués de manière à ne marquer que la moitié des surfaces mesurées; c'est afin de réduire à une simple addition de deux nombres la mesure de l'aire d'un polygone, sans que l'on soit obligé de prendre la moitié de la somme obtenue.

On remarquera que les décompositions de figures que nous avons opérées pour l'intelligence du procédé sont complétement inutiles pour la pratique de ce procédé, et que le planimètre donne l'aire du polygone MABCDEFGT sans exiger la moindre construction géométrique.

On démontre avec une extrême facilité que ce procédé est général et s'applique à un polygone quelconque (voir le mémoire déjà cité). Remarquons enfin qu'il peut résulter de la position de la figure à mesurer, que l'aire de celle-ci soit donnée par la différence des nombres indiqués, au lieu de l'être par leurs sommes; ce qu'indique alors le changement de sens des mouvement des aiguilles.

Il est évident qu'il faut que les échelles du planimètre et des plans dont on mesure la surface se correspondent. On prend habituellement celle de $\frac{1}{2000}$ adoptée par le cadastre. Si le plan était à une autre échelle, il faudrait faire supporter aux résultats obtenus une correction facile à calculer.

Nous terminerons cet article en indiquant la disposition qu'a adoptée M. Morin, pour relever au moyen du planimètre l'aire très allongée qui mesure le travail mécanique dans certaines expériences dyanométriques (voyez DYNANOMÈTRES).

Pour obtenir l'aire des courbes au moyen du planimètre, en opérant comme nous l'avons expliqué pour les polygones, par des mouvements rectangulaires, il faut décomposer la courbe en petits contours polygonaux sur lesquels on agira comme nous l'avons expliqué. La mesure sera d'autant moins inexacte qu'on aura agi sur de plus petits côtés, mais elle le sera évidemment toujours trop quand on aura besoin de précision.

Voici comment opère M. Morin :

Il remarque que, si l'on suppose la roulette placée sur le sommet du cône, l'index décrira une ligne droite, et le compteur restera à zéro, qu'on la place ensuite en un point quelconque, et qu'on fasse décrire à l'index une ligne parallèle à la première, le compteur marquera la surface du rectangle compris entre ces deux lignes droites.

Si l'on place un rectangle quelconque de manière qu'un côté soit parallèle à cette première ligne, et qu'on en suive les contours, il est évident que les deux indications du compteur (de l'allée sur un côté, et du retour sur le côté parallèle) qui auront lieu en sens contraire, ou la différence qu'indiquera le compteur indiquera la différence des deux rectangles formés par la base correspondant au sommet imaginaire et chacun des côtés parallèles du rectangle à mesurer, c'est-à-dire donnera précisément l'aire à mesurer.

Si une courbe est comprise tout entière du côté d'une ligne droite, on aura de même l'aire comprise entre la courbe et la ligne droite, placée parallèlement à la ligne telle que la roulette ne varie pas dans le sens de l'axe du cône quand l'index la parcourt. Cela fait, on place les aiguilles du compteur à zéro, on suit la ligne base rectiligne *ab* avec l'index, puis on revient en suivant le contour *bc* de la courbe jusqu'au point *a*. Le compteur indiquera l'aire cherchée qui peut être considérée comme composée d'une infinité de petits rectangles auxquels s'appliquerait le raisonnement fait précédemment.

S'il s'agissait d'évaluer une courbe fermée, il suffirait de la traverser par une ligne droite, et d'opérer successivement sur chaque partie comme nous venons de le dire, en opérant de manière à ce que les résultats s'ajoutent, la somme sera l'aire cherchée.

Une observation importante à faire, et à laquelle la pratique a conduit M. Morin, c'est que le mouvement oblique de l'index devenait une cause d'erreurs qui n'existent pas quand il n'est soumis qu'à des mouvements rectangulaires pour lesquels l'instrument est réellement disposé, et il arrive alors que dans de petits intervalles la roulette glisse sans rouler; la résistance du glissement étant très faible (le cône est en acier poli) et la résistance au roulement étant augmentée par les engrenages du compteur. Pour obvier à cet inconvénient, M. Morin a employé un cône en bois à surface non polie, qui lui a donné de bons résultats.

Arithmoplanimètre. La fig. 354 représente l'appareil muni des deux règles à calcul, longitudinales et transversales que M. Lalanne ajoute au planimètre, pour en faire une machine à calculs. Une réglette transversale G', mobile le long d'une rainure parallèle à la génératrice horizontale L et pratiquée dans l'épaisseur d'une plaque G'', laquelle est fixée au chariot, parallèlement au plan du plateau. Deux index i et i', fixés à l'avant-corps F du compteur, et dont le premier fait partie d'un vernier, servent à placer ce compteur sur un point déterminé de la réglette G' ou de sa coulisse G''. La partie antérieure de la règle G'' est recouverte par une plaque d'ardoise affleurant la réglette G', et sur laquelle on peut écrire des nombres à des distances déterminées, soit par les divisions égales que porte l'ardoise elle-même, soit par les divisions de la réglette mobile G'. Une deuxième règle g est mobile dans une coulisse g' parallèlement au mouvement du chariot. Différentes échelles sont gravées sur les deux bords de la règle et sur les côtés de sa coulisse; cinq index de saillies inégales, attachés à la base du chariot, dont deux à droite de la règle en I', et trois à gauche en I'', servent à lire sur chacune de ces échelles. Celui de ces index qui marque sur le bord à droite de la règle mobile, fait partie d'un vernier.

Il est clair qu'au moyen de ces règles on pourra obtenir les produits de la forme $Pp = P'p'$... en prenant des longueurs 2P' 2P''... $p'p''$ sur les règles. Mais si l'on imagine, dit M. Lalanne, que la distance p, soit comptée sur la règle transversale, non plus à partir d'un point quelconque de cette règle, mais bien à partir d'un point tel que l'index du mouvement transversal y étant placé, la roue inférieure du compteur porterait en son milieu sur le sommet réel du cône, une seule opération suffira pour obtenir le produit Pp. Car dans la première position du compteur, la roue inférieure étant placée sur une section circulaire qui se réduit à un point, le mouvement longitudinal donnerait une indication nulle; le mouvement longitudinal du cône, lorsque l'index transversal aura été placé à la distance p du front pris pour origine sur la règle transversale, indiquera, donc exactement le produit Pp. Réciproquement étant donnés, le produit Pp et l'un des facteurs p, il suffira de placer l'index transversal à la distance p du point pris pour origine et de chercher sur quelle longueur on doit faire marcher le cône pour que le compteur marque le produit Pp. Cette longueur sera le quotient cherché.

Une chose très remarquable dans cette machine, c'est que bien que le compteur n'enregistre que des multiplications, elle se prête pourtant avec la plus grande facilité à l'addition de ces mêmes quantités, c'est-à-dire au calcul des formules de la forme $Pp \pm P'p'$... Il suffit pour cela de soulever un peu le disque du compteur; l'espèce d'engrenage n'aura plus lieu, et l'index étant reporté de p en p', les secondes indications viendront s'ajouter aux premières.

Mais puisque la machine donne immédiatement le résultat d'expressions de la forme $Pp \pm P'p'$..., il en résulte qu'à l'aide d'échelles logarithmiques convenablement tracées sur les règles et sur le limbe circulaire, on obtiendra sans plus de difficultés les résultats compris dans la formule.

Log. $x = m \log. a \pm n \log. b \pm p \log. c \pm \ldots$ c'est-à-dire qu'on pourra calculer mécaniquement pour ainsi dire une expression de la forme :

$$x = \frac{a'^{m'}\, b'^{n'}\, c'^{d'} \ldots}{a^{m}\, b^{n}\, c^{d} \ldots}$$

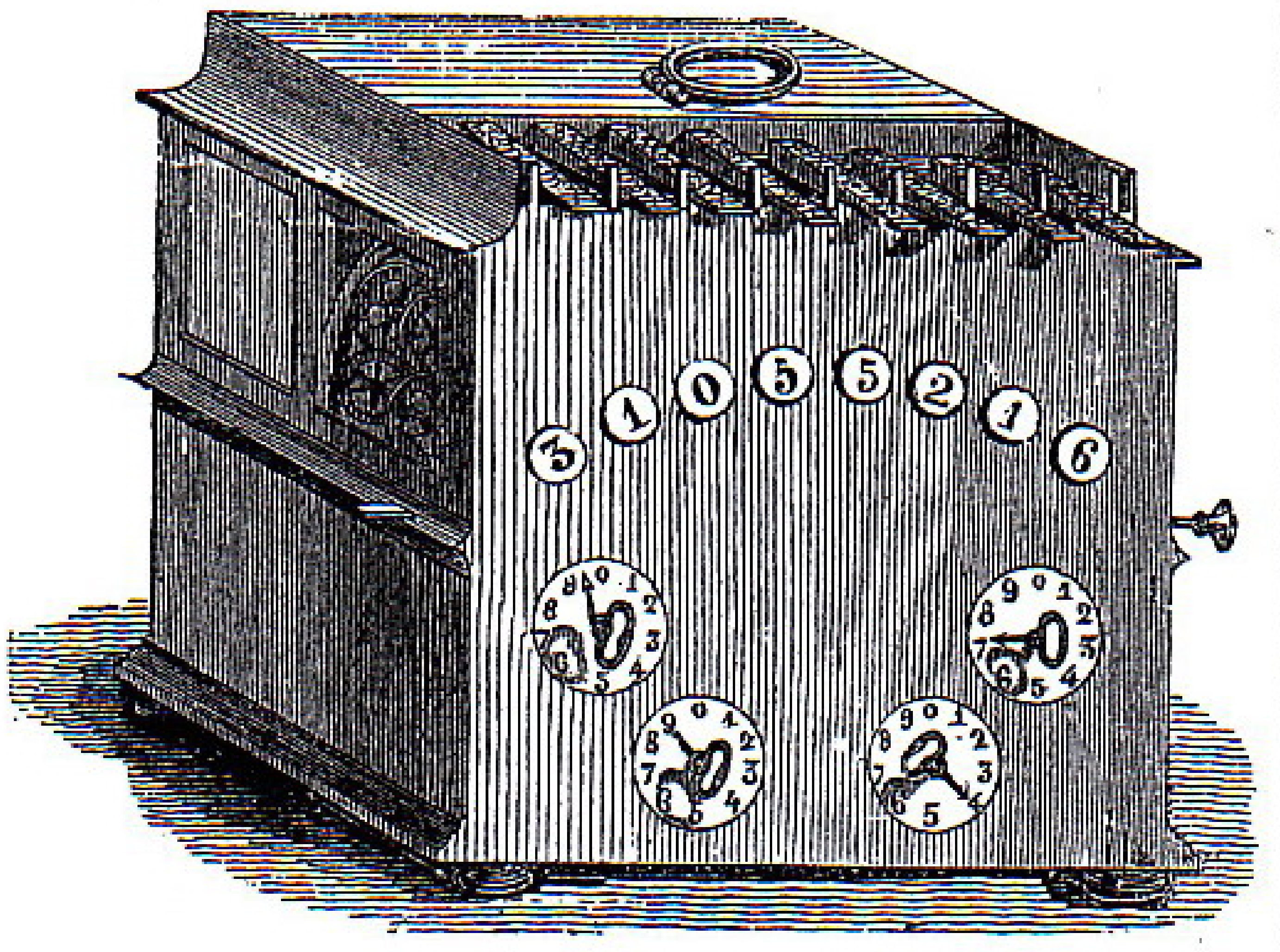
Nous avons cru devoir décrire avec quelques détails suffisants, pour la faire bien comprendre, la remarquable machine qui nous occupe et qui fait grand honneur à ses inventeurs. Nous renvoyons au Mémoire de M. Lalanne les personnes qui désireraient l'étudier plus complétement, prévoir les quelques difficultés de détail qui se rencontrent dans son emploi, et connaître les applications les plus avantageuses qu'on peut en faire, notamment pour obtenir avec la plus grande célérité et une exactitude bien suffisante les résultats qui ne se déduisent que par les calculs fort longs et fastidieux, du tableau du mouvement des terres, dans un projet de route, chemin de fer ou canal.

Machine à calculer de MM. Maurel et Jayet (appelée par les inventeurs ARITHMAUREL). Une nouvelle machine à calculer *numériquement*, présentée en 1849 à l'Académie des Sciences, a vivement impressionné l'opinion publique, en fournissant une solution très satisfaisante du problème pour les machines destinées à faire les quatre opérations fondamentales de l'arithmétique. Non pas que nous prétendions que ces machines ne pourront être modifiées, comme on a changé diverses pièces du mécanisme des montres depuis leur invention, en remplaçant celles qui, dans la pratique, remplissaient les fonctions auxquelles elles étaient destinées d'une manière imparfaite, par d'autres pièces d'un jeu plus certain; nous disons seulement que les organes employés par MM. Maurel et Jayet fournissent la solution complète du problème cherché, et il est probable que des dispositions secondaires seulement seront modifiées dans l'avenir. On peut espérer que ces machines vont être employées dans les usages civils, et par suite la construction en être fréquemment répétée. Nous emprunterons au rapport fait par M. Binet à l'Académie des Sciences, l'exposé, en quelque sorte officiel, des résultats que la machine dont nous traitons permet d'obtenir.

Le savant rapporteur rappelle d'abord la célèbre machine arithmétique de Pascal, déposée au Conservatoire de Paris, et qui ne se compose que d'une série de *compteurs*, qui ne la rendent propre en réalité qu'aux additions et aux soustractions. Plusieurs mécaniciens et géomètres, parmi lesquels on cite Leibnitz, s'étaient efforcés de perfectionner cette invention, et cependant, après un siècle, Bossut disait : « La machine de Pascal est aujourd'hui peu connue et nullement en usage. »

Il passe ensuite à la manière de se servir de la machine :

« Le volume de l'instrument (fig. 354) n'est pas très différent de celui de Pascal; sa structure, plus complexe, repose également sur la possibilité de représenter tous les nombres entiers à l'aide de disques circulaires portant chacun les dix chiffres : 0, 1, 2, 3, . . . , 9 : l'un de ces disques présente, à une première ouverture ou fenêtre, le chiffre des unités simples; un second disque, portant aussi les chiffres 0, 1, 2, 3, . . . , 9, amène, à une ouverture placée à gauche de la première, le chiffre des dizaines; à la troisième fenêtre se présente le chiffre des centaines, fourni par un troisième disque, et ainsi des autres. Dans la machine de Pascal,



354.

ce sont des cylindres convexes qui portent les chiffres des unités, des dizaines, etc. La plupart des machines à faire des additions ou soustractions, etc., ont emprunté ce dispositif; mais leurs différences essentielles résident dans la manière de faire mouvoir les disques ou les cylindres, dans la rapidité et la justesse des mouvements, et dans la simplicité des impulsions que le calculateur imprimera aux pièces de l'instrument, pour commander le déplacement de celles qui doivent écrire le résultat d'une opération.

« Le mérite et la célérité de l'instrument de MM. Maurel et Jayet se révèlent surtout dans la multiplication et dans la division de nombres d'une certaine grandeur. Ainsi, par exemple, les deux nombres 2749 et 3937 multipliés entre eux ont donné, en moins de vingt secondes, le produit 10,877,793. Pour former ce produit, il a fallu écrire avec les échelles, en tirant les règles placées à la partie supérieure de l'instrument, le multiplicande 2749 ; il a fallu mouvoir les quatre aiguilles des cadrans : la première a parcouru sept divisions d'un cadran, et ce mouvement est déterminé par le chiffre 7 des unités du multiplicateur; la deuxième se mouvra de cinq divisions, parce que 5 est le chiffre des dizaines; la troisième se mouvra de neuf divisions à cause du chiffre 9 des centaines, et enfin la quatrième sera mue de trois divisions d'un dernier cadran. Le nombre des aiguilles à mouvoir est toujours le nombre des chiffres du multiplicateur. L'instrument en expérience, exige que les deux facteurs n'admettent pas à la fois plus de quatre chiffres, c'est-à-dire que ces nombres soient au-dessous de dix mille ; ou bien que l'un étant de cinq chiffres, l'autre n'en ait que trois, ou moins; et en général que le nombre des chiffres des deux facteurs réunis n'excède pas huit, pour que la machine vous donne sur-le-champ le produit qui sera au-dessous de cent millions. On voit, au reste, quel parti on pourrait tirer de l'instrument pour obtenir des produits de nombres supérieurs : on formerait alors des produits partiels, qui seraient à ajouter l'un à l'autre par les procédés ordinaires, en ayant égard à l'ordre des unités décimales de ces produits partiels; l'instrument fournirait très brièvement les produits partiels à ajouter. Il dispenserait toujours le calculateur de ce qu'il y a de fatigant lorsqu'il s'agit de multiplier de grands nombres.

« Dans la règle la plus compliquée de l'arithmétique, dans la division, la machine de MM. Maurel et Jayet exécute rapidement la soustraction répétée du diviseur placé sur les échelles, du dividende placé dans les lucarnes (ce qui s'opère en l'écrivant sur les échelles et le multipliant par 1, ce qui le fait immédiatement paraître aux lucarnes); elle opère immédiatement sur tout dividende moindre que cent millions, qui serait à diviser par un entier au-dessus de dix mille, en sorte que le quotient n'ait pas plus de quatre chiffres. Chaque cadran donne (nous y revenons plus loin) le chiffre du quotient par une simple rotation en arrière. Ainsi le diviseur, moindre que le dividende, pourra être de plus de dix millions; le quotient ne comportera alors qu'un seul chiffre et s'obtiendra dans un instant, ainsi que le résidu de la division; si le diviseur est au-dessous de dix millions, le quotient aura ou deux, ou trois, ou quatre chiffres qui seront fournis dans un temps fort court, ainsi que le reste de la division : la machine aura encore épargné au calculateur le travail de mémoire, et l'aura dispensé de toute écriture à la plume. Si le diviseur était un nombre au-dessous de dix mille, et que le dividende eût huit chiffres, la machine ne donnerait pas le quotient complet; elle fournirait d'abord les quatre premières figures à gauche du quotient; par une seconde division, plus simple que la précédente, on obtiendrait le chiffre des unités.

« La rapidité des opérations de la multiplication et de la division s'étend nécessairement au calcul du quatrième terme d'une proportion : quelques secondes donnent le résultat si le produit des moyens est au-dessous de cent millions, et que le diviseur soit dans les limites prescrites. »

Composition de la machine. Donner une idée de la machine de MM. Maurel et Jayet sans avoir sous les yeux le mémoire descriptif, sans une multitude de planches, n'est pas chose facile. Nous nous contenterons d'en indiquer les principes fondamentaux :

Supposons que nous ayons à faire une multiplication, l'opération principale en vue de laquelle la machine a été construite, et dont toutes les autres se déduisent.

On commencera, comme nous l'avons dit plus haut, par écrire un facteur sur les règles placées à la partie supérieure de la machine, c'est-à-dire qu'on les tirera jusqu'à ce que le chiffre tracé sur l'échelle et à indiquer affleure la partie verticale voisine. Cette opération de traction fait avancer, par l'intermédiaire de griffes, quatre petits pignons, un pour chaque chiffre, quatre pour une machine permettant quatre chiffres au multiplicande. Chaque pignon glisse sur l'axe sur lequel il est enfilé suivant un carré d'un nombre d'épaisseurs égal au nombre de divisions égales dont on a fait avancer les règles, égal au nombre d'unités de chaque ordre. Or, ces épaisseurs sont précisément celles de roues dentées, solidaires avec des cylindres qui font tourner les chiffres des multiplicateurs.

Ces roues dentées sont d'un nombre de dents tel qu'elles forment une série dans le rapport des nombres 1, 2, 3, 4 . . . . , 9 (ou n'ont que ce nombre de dents et ne garnissent que partie de la circonférence, et alors le mécanisme est disposé pour faire effectuer un tour entier aux cylindres pour chaque avancement d'une division d'aiguille), de telle sorte que pouvant engrener avec les petits pignons de quatre dents dont nous venons de parler, et qui marchent toujours d'une dent pour une dent de la roue si l'échelle est sur la division 1, de deux dents pour la division 2, de trois dents pour la division 3, et ainsi de suite; c'est-à-dire qu'à l'aide de ce curieux organe le produit du chiffre du multiplicande par le chiffre du multiplicateur, la somme des produits du chiffre du premier par les unités successives du second est immédiatement obtenue.

Si l'on a bien compris ce que nous venons d'indiquer, on pourra saisir la disposition fondamentale de la machine de MM. Maurel et Jayet.

En effet, en tournant une aiguille d'un des cadrans qui correspondent à l'un des chiffres du multiplicateur, on tourne l'axe des cylindres montés sur le même axe que cette aiguille en nombre égal au nombre de chiffres du multiplicateur, c'est-à-dire s'il a trois ou quatre chiffres, trois ou quatre cylindres. Les pignons différents qui engrènent avec chaque cylindre, et dont nous venons de parler, tournent donc d'un nombre de dents proportionnel au nombre d'unités, de dizaines, de centaines, etc., du produit.

Le problème se réduit à ajouter ces différents produits enregistrés sur chaque axe des pignons des dizaines, des centaines. Cette opération se fait à l'aide d'un appareil, analogue à ceux dont nous parlons, à mouvement *différentiel*, qui permettent de faire des sommes. Seulement le dernier rouage qui montre le chiffre du produit à la partie supérieure agit comme dans les compteur, c'est-à-dire qu'un arrêt placé sur un point de la roue (qui marque zéro quand on commence une opération) fait avancer d'une dent la roue de l'unité supérieure lorsque le nombre d'unités qu'elle doit marquer atteint 10, lorsqu'elle a fait un tour complet.

Reprenons maintenant la multiplication, et voyons comment les choses se passent :

Soit à multiplier 3650 par 324. 3650 étant écrit sur les règles, et les cadrans multiplicateurs étant encore tous au 0, la galerie des produits marque 0 également; puis, quand on met la main à l'aiguille des unités pour la reporter sur le 4, on la fait nécessairement passer devant les chiffres 1, 2 et 3; or, si on opère lentement, et que l'on porte les yeux sur la galerie, on voit successivement apparaître d'abord 3650, puis son produit par 2, puis par 3, puis par 4. De même si l'on agit sur le cadran des dizaines, on voit que le passage de son aiguille sur les unités de seconde espèce détermine dans la galerie les apparitions successives de nouveaux produits, lesquels se composent du premier produit partiel obtenu par le jeu du premier cadran, plus le multiplicande multiplié successivement par 10, par 20 et ainsi de suite pour les cadrans des centaines et des mille, s'il y en a.

En réalité la machine arithmétique de MM. Maurel et Jayet procède, pour faire une multiplication par une voie moins directe encore que la nôtre, car elle forme successivement autant de produits partiels qu'il y a d'unités comprises dans la somme des valeurs absolues de tous les chiffres du multiplicateur, et elle additionne tous ces produits au fur et à mesure qu'ils se forment. Mais comme la génération de ces produits s'accomplit à cause de la légèreté des organes, avec une vitesse excessive, il en résulte que l'opération mécanique plus compliquée dans son ensemble, s'effectue en réalité plus rapidement que celle à laquelle le temps nécessaire à la succession de nos idées assigne une durée plus longue.

L'analyse du procédé arithmétique adopté par les auteurs de la machine en question va nous servir à comprendre comment cette même machine, fondée sur ces principes, est immédiatement propre à opérer la division, l'addition et la soustraction. Il nous suffira d'ajouter que la multiplication, une fois faite, on peut la défaire en faisant rétrograder les aiguilles du multiplicateur vers le zéro. Il arrive alors que le produit obtenu se réduit peu à peu par la soustraction successive de tous les produits partiels dont il s'était formé, et qu'il s'annule en même temps que le nombre indiqué aux cadrans multiplicateurs. Or, un produit était donné et inscrit à la galerie, et l'un de ses facteurs aussi inscrit aux échelles du multiplicande, l'autre facteur étant inconnu, et les aiguilles au zéro sur tous les cadrans multiplicateurs, on peut utiliser la propriété qu'a la machine de marcher en arrière; on sollicite les aiguilles à rétrograder sur leurs cadrans, on voit en même temps s'évanouir le nombre proposé comme dividende, et l'on est averti de la fin de l'opération par une résistance opposée par la machine elle-même. Les aiguilles, ayant ainsi rétrogradé jusqu'à la manifestation d'un obstacle intérieur, s'arrêtent à des numéros dont l'ensemble compose précisément le quotient cherché. Si la division n'est pas possible exactement, le reste demeure en évidence à la galerie des produits. Il va sans dire que le mouvement rétrograde indicateur du quotient doit s'évaluer sur des chiffres disposés dans le sens où s'opère ce mouvement lui-même.

Quant à l'addition et à la soustraction, rien de plus simple. Comme nous avons dit, la multiplication est ramenée à une série d'additions et de multiplications par 10, par 100, par 1,000, que de même la division n'est qu'une série de soustractions et de divisions par 10, par 100, par 1,000. Si donc on veut additionner plusieurs nombres ensemble, il suffira de les inscrire successivement aux échelles du multiplicande et de les faire passer et s'accumuler à la galerie des produits en les multipliant par 1. Pour la soustraction on inscrit le plus fort des deux nombres à la galerie des produits, le nombre à soustraire aux échelles du multiplicande, et on le soustrait une fois en faisant rétrograder d'un cran l'aiguille du cadran affectée aux unités du multiplicateur; le reste apparaît à la galerie des produits.

Observations sur les machines numériques. Si l'on réfléchit un instant comment il se fait que la machine précédente résolve le problème de la construction des machines propres à effectuer les quatre règles de l'arithmétique, on reconnaîtra facilement que cela résulte de ce que les rapports des vitesses des pièces, qui se conduisent par engrènement et par suite d'une manière certaine, sont exprimées par des fonctions de la nature de celles qu'il s'agit d'obtenir, spécialement la fonction produit. L'organe spécial et bien intéressant pour la cinématique dont il s'agit se réduit à un système de pignons et de roues dentées. On comprend par cela même combien il serait impossible de représenter d'autres fonctions, d'autres séries de nombres par machines, du genre de celles dont nous parlons, que celles qui expriment les relations de vitesse des pièces qui engrènent.

On peut se demander si la machine dont nous venons de parler épuise tous les résultats possibles en ce genre. Il le paraît à première vue, puisqu'elle réussit parce qu'elle peut réaliser la fonction *produit*, et surtout par l'emploi de la fonction *somme*, qui résulte des systèmes différentiels, le dernier progrès obtenu dans la théorie des engrenages et des mouvements de rotation.

Cependant il est une fonction complexe qui n'a pas été encore utilisée, c'est la fonction *puissance*. On sait en effet qu'un système de k, roues dentées égales de w dents engrenant avec k pignons égaux entre eux, fournit la relation entre les vitesses du premier et du dernier axe $\left(\frac{w}{p}\right)^k$. (Voir notre *Cinématique*.) Si donc on disposait un système de roues et de pignons tel que le rapport $\frac{w}{p}$ pût varier en en faisant varier l'engrènement d'un système de roues, le nombre k restant toujours le même, on obtiendrait une machine très curieuse. En un mot, il ne paraît pas complétement impossible de tirer parti de cette fonction, soit pour obtenir des puissances, soit pour extraire les racines des nombres, soit pour construire rapidement les valeurs successives d'une équation pour une valeur de x (voir *Introduction*), et construire ainsi par suite la courbe qui permettrait d'obtenir les racines de l'équation.

Toutefois, en cherchant à indiquer les conditions auxquelles il faudrait satisfaire dans la construction de semblables machines, on reconnaît qu'il faudrait une complication très grande pour embrasser une étendue de nombres un peu considérables, et par suite pour obtenir des avantages assez minimes, bien moindres certainement que ceux de la machine dont nous venons de parler, surtout au point de vue de l'utilité pratique.

Arithmomètre de M. Thomas, de Colmar. Il est juste de dire que l'organe mécanique si remarquable de la machine de MM. Maurel et Jayet, celui qui permet de faire les multiplications, se trouvait déjà dans une ingénieuse machine à calculer inventée vers 1820 par M. Thomas. « On retrouve dans la machine de MM. Maurel et Jayet, dit avec raison M. Mathieu dans son rapport à l'Institut, le principal organe de l'arithmomètre de M. Thomas, à savoir, des cylindres cannelés et des arbres parallèles sur lesquels glissent des pignons destinés à représenter les nombres. »

Ce qui est différent dans l'arithmomètre, c'est le moyen de faire agir successivement les divers ordres d'unités du multiplicateur par le déplacement d'une partie de la machine ; et aussi, bien qu'encore équivalent au fond, le système de compteur à toc, qui sert pour passer d'un ordre d'unités à celles d'un ordre supérieur. D'abord imparfait, ce système a depuis été beaucoup perfectionné par son inventeur, et l'arithmomètre forme aujourd'hui une très bonne machine à calculer. (Voir un rapport fait à la Société d'Encouragement par M. Benoît, mars 1851.)

Il est heureux que les efforts faits par plusieurs inventeurs concourent ainsi à la solution de l'intéressante question de la construction des machines à calculer. Elles entreront, grâce à eux, plus facilement dans la pratique de chaque jour, et elles deviendront tout à fait usuelles. CH. LABOULAYE.

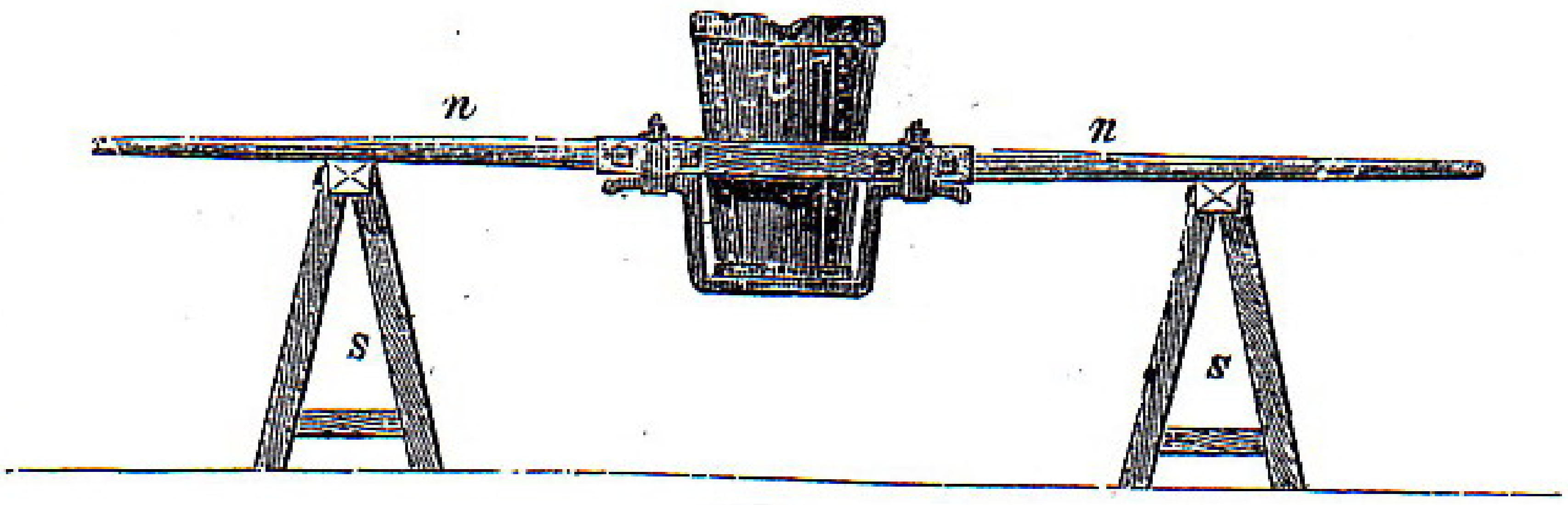
CALEBASSE. Dans les fonderies de peu d'importance, où le moulage constitue le travail le plus important de l'atelier, et lorsqu'on n'a besoin que de faibles quantités de fonte, et par intervalles irréguliers, on se sert, à Paris, pour refondre la fonte, de creusets en terre de Picardie ou en graphite, chauffés dans des fourneaux à vent ou des fourneaux à courant d'air forcé. Ce procédé est très coûteux, tant par suite du prix et de la casse des creusets que par l'énorme consommation relative de combustible, et en outre exige l'emploi de plusieurs creusets, si l'on a besoin d'une quantité de fonte qui dépasse 50 ou 75 kilog. Dans ce cas, il est bien préférable sous tous les rapports d'employer le système de fonderie dit à la calebasse, qui, d'après Réaumur, était déjà employé en France au commencement du dernier siècle, qui est encore actuellement très répandu en Belgique, et qui cependant paraît être tout à fait inconnu de nos fondeurs.

Les dimensions des calebasses sont très variables ; dans les unes, dont se servent les calebassiers ambulants, on ne fond que quelques kilogrammes de métal ; dans les autres, établies à demeure, on peut liquéfier à la fois jusqu'à 500 kilogr. de fonte. Nous ne décrirons que ces dernières, dont les autres sont un diminutif.

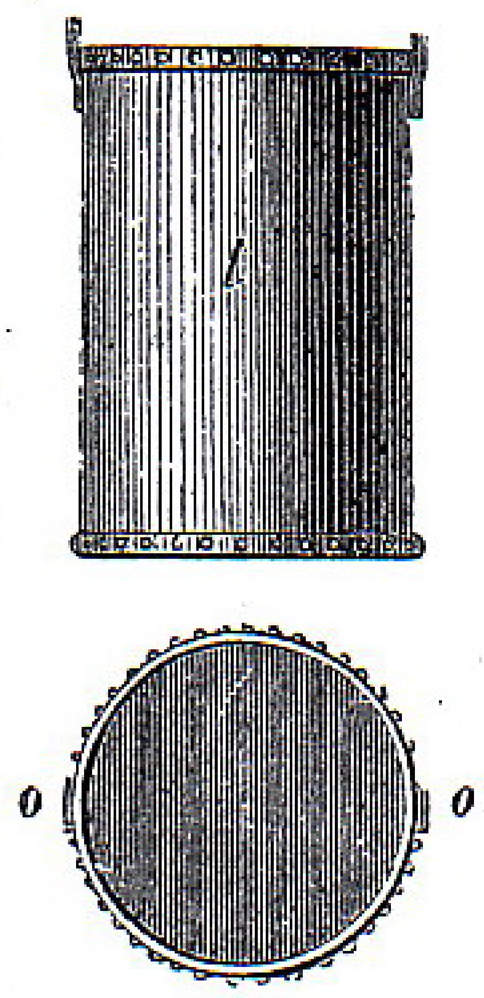
Dans une calebasse fixe, on distingue le fourneau, dont les parties essentielles sont le creuset ou *calebasse* et la cuve ou *tour du feu*, la soufflerie et la cheminée.

La calebasse *c* (fig. 355) est une sorte de poche en tôle forte intérieurement revêtue d'argile ; le tour du feu *t* (fig. 356) est une portion de cylindre en tôle forte également torchée avec de l'argile, et munie de deux oreilles, *o*, *o*, dans lesquelles on engage une barre de fer pour le manœuvrer.

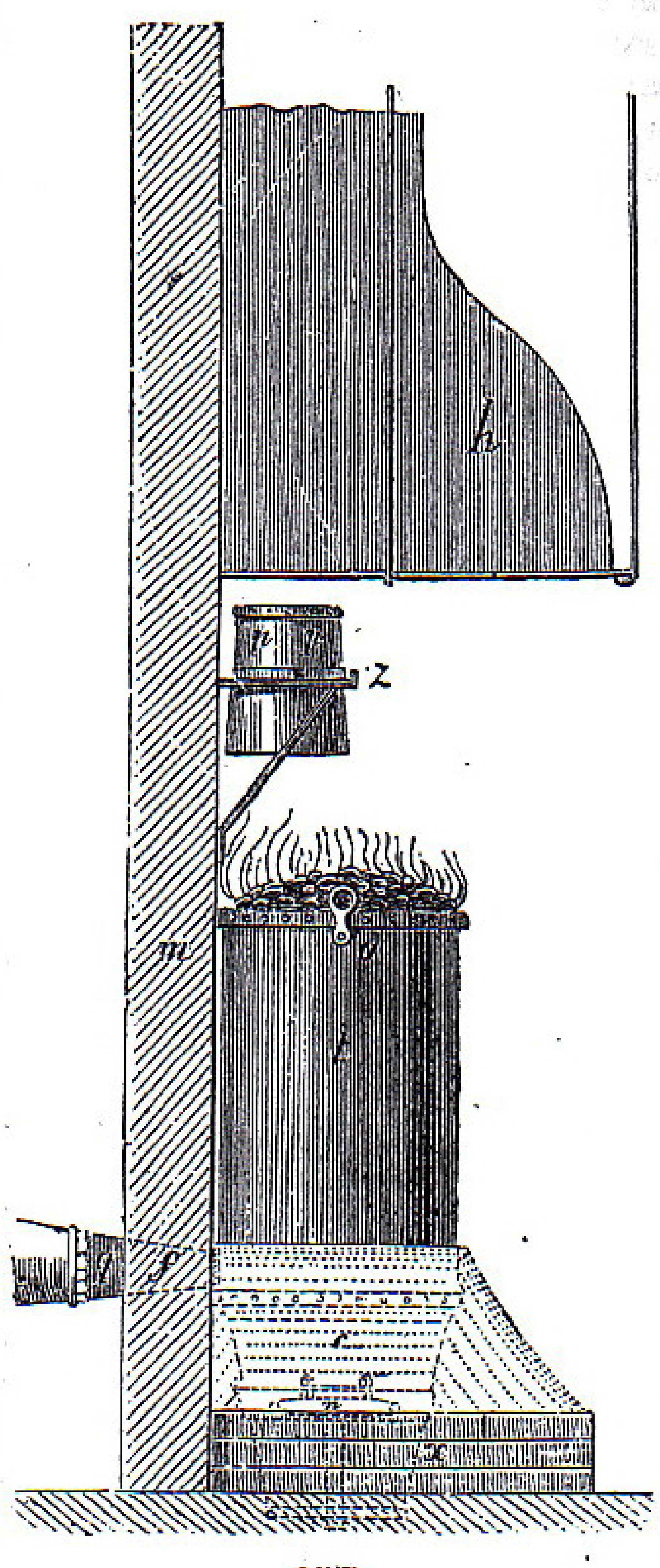
On élève le fourneau le long d'un mur *m*, sous une hotte *h*, en plaçant d'abord la calebasse *c* avec le support *nn* qui sert à l'enlever lorsque la fusion est terminée ; on la recouvre avec le tour du feu *t*, que l'on accole au mur *m* (fig. 357), de manière à fermer complétement le cylindre. L'assemblage de la calebasse et du tour du feu, ainsi que la jonction de ce dernier avec le mur, se font avec de la terre argileuse ; enfin on enduit d'argile tout l'intérieur du fourneau, de manière à lui donner une forme à peu près semblable à celle du vide d'un cubilot. Pour conserver la chaleur, on enterre la calebasse et la partie inférieure du tour du feu dans du sable maintenu ordinairement sur chaque côté par un petit mur en briques *x*. Des crochets *z*, *z*, fixés dans le mur *m*, servent à soutenir au-dessus du feu, afin de les chauffer, les pochettes *p*, *p*, au moyen desquelles la fonte est versée dans les moules.



355.



356.



357.

La tuyère *f* ne fait pas saillie, elle traverse le mur *m* et reçoit le vent soit d'un soufflet en cuir *q*, soit d'un ventilateur à bras. Lorsque l'on fond au coke ou au charbon de bois, la tuyère est presque horizontale et rase le bord supérieur de la calebasse ; lorsqu'au contraire on fond avec de la houille point trop collante, on lui donne une inclinaison assez forte, afin d'avoir une chaleur suffisante dans la calebasse.

La conduite du feu se fait à peu près comme pour un petit cubilot ; tantôt on charge en une seule fois par-dessus le combustible toute la fonte à refondre ; tantôt, et le plus souvent, on l'introduit à plusieurs reprises, en l'alternant