LE

CALCUL SIMPLIFIÉ

PAR LES PROCÉDÉS MÉCANIQUES ET GRAPHIQUES.

CONFÉRENCES

FAITES AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS, LES 6 FÉVRIER, 5 ET 19 MARS 1893,

Par M. Maurice d'OCAGNE,

Ingénieur des Ponts et Chaussées.

PREMIÈRE CONFÉRENCE :

LES INSTRUMENTS ET LES MACHINES ARITHMÉTIQUES.

MESSIEURS,

Les conférences que M. le colonel Laussedat m'a confié l'honneur de faire devant vous ont pour sujet l'historique rapide et la description sommaire, faits surtout à un point de vue général, des divers procédés qui ont été imaginés en vue de simplifier le calcul numérique.

A ceux d'entre vous que leurs occupations journalières n'ont pas suffisamment édifiés sur ce point, je dois tout d'abord faire pressentir l'utilité, je devrais plutôt dire la nécessité, qui s'attache à une telle simplification.

L'importance du calcul s'affirme tout aussi bien dans le domaine théorique que dans le domaine pratique. Les progrès

matériels réalisés par notre civilisation dérivent tous, plus ou moins directement, de la Science. Or, la Science ne saurait elle-même progresser sans le secours permanent du Calcul. Et je ne parle pas seulement ici des sciences dites exactes, comme la Mécanique et l'Astronomie, dont le Calcul constitue en quelque sorte l'essence même, mais encore des sciences expérimentales ou d'observation, en raison de la précision qu'une évolution contemporaine a fait pénétrer dans leurs méthodes.

En Physique, en Chimie, la formule mathématique joue un rôle capital. Il n'est pas jusqu'à la Physiologie qui n'y ait aussi recours, depuis qu'a été reconnue la nécessité de faire intervenir la notion de mesure dans l'étude des faits qui sont de son domaine.

Aussi peut-on, aujourd'hui plus que jamais, répéter avec Platon que *les nombres gouvernent le monde.*

Un savant mathématicien, bien connu à Paris pour y avoir, pendant plusieurs années, occupé le poste d'ambassadeur d'Italie, le général Menabrea, a écrit les lignes suivantes (1) :

« Combien d'observations précieuses restent inutiles aux progrès des sciences parce qu'il n'y a pas de forces suffisantes pour en calculer les résultats! Que de découragement la perspective d'un long et aride calcul ne jette-t-elle pas dans l'âme de l'homme de génie qui ne demande que du temps pour méditer et qui se le voit ravi par le matériel des opérations! Et pourtant c'est par la voie laborieuse de l'analyse qu'il doit arriver à la vérité ; mais il ne peut la suivre sans être guidé par des nombres, car, sans les nombres, il n'est pas donné de pouvoir soulever le voile qui cache les mystères de la nature. »

Mais si le calcul est l'auxiliaire indispensable de la recherche scientifique, il est l'outil même au moyen duquel les principes découverts grâce à cette recherche sont mis en œuvre en vue des applications pratiques. C'est ainsi que le navigateur, le géodésien, l'artilleur, le mécanicien, l'électricien, le financier, l'ingénieur, etc. sont astreints à y avoir sans cesse recours, surtout ces deux derniers, pour qui le calcul constitue une partie

(1) Notions sur la Machine analytique de Ch. Babbage (*Bibliothèque Universelle de Genève*, t. XLI, p. 352).

importante, non la moins pénible assurément, du labeur quotidien. La simplification du calcul apporte au travailleur une large part de soulagement; mais parfois elle fait mieux encore, en rendant possibles, voire même faciles, des opérations qui, sans cela, exigeraient un effort disproportionné avec le résultat à obtenir, ou peut-être même dépassant les forces humaines.

En avançant cette affirmation, je n'entends pas tenir compte d'exceptions célèbres, connues de tout le monde, qui pourraient par hasard la faire tomber en défaut. On sait, en effet, que la puissance calculatrice a atteint chez certains individus une intensité qui tient du prodige. L'histoire du calcul a conservé notamment les noms de Mondeux et de Vito Mangiamelli, et nous assistons maintenant aux merveilleux tours de force arithmétiques d'Inaudi. Rapprochement curieux, ces trois calculateurs extraordinaires ont passé leur première enfance à garder les troupeaux. Le calcul a d'abord été pour chacun d'eux un passe-temps destiné à tromper l'ennui des longues stations au milieu des champs.

Mais, outre qu'une puissance calculatrice pareille à la leur est extrêmement rare, elle ne s'allie généralement pas à un développement normal des autres facultés. Il semble que le cerveau, tout absorbé par une telle fonction, ne se prête point à diversifier ses exercices. On cite néanmoins quelques mathématiciens qui furent en même temps d'habiles calculateurs. Il y a, sans doute, dans cette allégation, de quoi surprendre certaines personnes partageant le préjugé commun qui confond le calculateur avec le mathématicien; de l'un à l'autre la différence est la même qu'entre un pianiste et un compositeur de musique. Les deux facultés peuvent cependant se rencontrer à un degré élevé chez le même individu. C'est ainsi, pour en revenir aux mathématiciens auxquels je viens de faire allusion, que Wallis, Euler, Gauss et Ampère ont laissé le renom d'habiles calculateurs. Mais il ne faut pas compter avec les exceptions, et l'on peut hardiment avancer que toute simplification apportée dans les procédés du calcul numérique constitue un progrès d'une utilité vraiment générale, en affranchissant les travailleurs de l'ennui et de la fatigue qui accompagnent

le calcul, en leur évitant la perte de temps qu'il entraîne, en écartant enfin les chances d'erreurs qu'il comporte.

Les divers modes de simplification imaginés pour le calcul numérique peuvent se ranger dans les cinq groupes suivants :

1° *Les instruments et les machines arithmétiques ;*
2° *Les instruments logarithmiques ;*
3° *Les tracés graphiques ;*
4° *Les tables numériques ou barèmes ;*
5° *Les tables graphiques ou abaques.*

Dans cette première conférence, je ne m'occuperai que du premier groupe, mais je dois dire tout de suite que le peu de temps dont je dispose ne me permettra pas de donner au sujet tous les développements qu'il comporterait. J'ai dû me borner à choisir, dans les galeries du Conservatoire, quelques types particulièrement caractéristiques, et encore ce que j'en pourrai dire sera-t-il limité à des généralités. Je m'excuse donc d'avance auprès de ceux de mes auditeurs qui sont particulièrement versés dans la question des lacunes que va nécessairement présenter mon exposé.

A. — Les instruments arithmétiques.

J'appelle *instruments arithmétiques* les appareils qui permettent d'opérer manuellement les opérations de l'arithmétique, sans le secours d'aucun mécanisme : ressorts, cames, engrenages, etc.

De tels instruments ont été imaginés dès la plus haute antiquité et chez tous les peuples. On doit, en effet, y rattacher les anciens abaques, les bouliers (souan-pan) des Chinois, etc. Il y aurait là matière à une curieuse digression historique dans laquelle, faute de temps, je ne saurais m'engager.

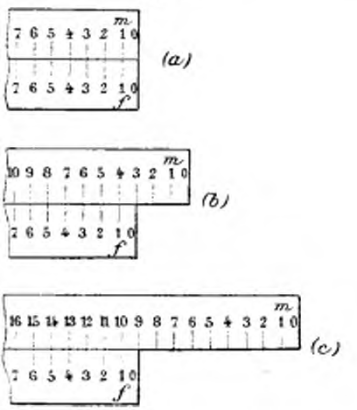
LES ADDITIONNEURS. — ARITHMOGRAPHE TRONCET.

La plus simple des opérations est l'addition. Le principe sur lequel reposent les instruments destinés à l'effectuer est le suivant :

Supposons une réglette graduée mobile devant un index fixe; si l'on fait franchir successivement cet index à n divisions de la réglette, puis aux n' suivantes, puis aux n'' suivantes, etc., le nombre total des divisions qui auront finalement franchi l'index sera égal à la somme $n + n' + n'' + \ldots$ (1).

Pour appliquer ce principe, il suffit de prendre pour index le o d'une réglette fixe portant la même graduation que la réglette mobile et de faire glisser celle-ci le long de la première,

Fig. 1.



en amenant chaque fois en face de l'index le trait de division de la réglette mobile placé en face du trait de la réglette fixe correspondant au nombre qu'on veut faire entrer dans l'addition.

Voici, par exemple, pour l'addition $3 + 6$, quelles seront les dispositions successives de la réglette mobile par rapport à la réglette fixe (*fig.* 1).

Dans la position (*a*), je pique le trait de la réglette mobile m, prolongeant le trait 3 de la réglette fixe f et je l'amène en face

(1) Ce principe est, au fond, identique à celui que l'on applique en cumulant les points faits au billard au moyen de boules enfilées sur une tringle, ou, plus simplement, en comptant sur ses doigts.

du o de celle-ci; j'obtiens ainsi la position (b). Je pique alors le trait de m, prolongeant le trait 6 de f, et je l'amène en face du o. J'ai bien ainsi fait sortir $9 = 3 + 6$ divisions de la réglette m et je lis le total 9 de l'addition en face de l'index de la réglette f.

Ce principe très simple peut s'appliquer aussi bien au moyen d'un disque circulaire tournant à l'intérieur d'un cercle gradué qu'au moyen de deux réglettes.

En l'employant à additionner des nombres un peu plus grands, on serait conduit à avoir des réglettes de dimensions incommodes. Mais on peut se contenter de donner à celles-ci dix divisions graduées de o à 9, en plaçant plusieurs systèmes semblables les uns à côté des autres et faisant correspondre le premier à droite aux unités, le second aux dizaines, le troisième aux centaines, etc. Cette disposition se trouve déjà dans l'appareil que je mets sous vos yeux et qui a été construit en 1720 par un inventeur du nom de Caze.

Le point délicat consiste, lorsqu'il s'en présente, à faire passer les retenues d'une colonne à la suivante. Une remarque ingénieuse permet d'opérer ce report sans que le maniement de l'appareil se complique le moins du monde (1). Cette remarque se trouve appliquée dans l'arithmographe de M. Troncet. Voici cet appareil (*fig.* 2) :

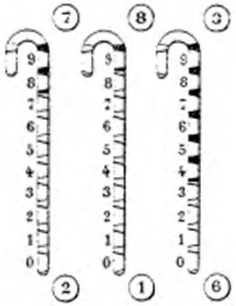
Pour écrire un chiffre dans une des colonnes, on introduit la pointe du stylet dans le creux qui se trouve en face de ce chiffre inscrit sur le bord de la fente correspondant à cette colonne. Si les dents qui comprennent ce creux sont blanches, on parcourt la fente avec le stylet de haut en bas jusqu'à ce qu'on heurte le buttoir inférieur. Si, au contraire, les dents sont

(1) Voici quelle est cette remarque : supposons qu'après avoir fait avancer la réglette m de a divisions, on ait à la faire avancer de b divisions et que $a + b$ soit supérieur à 10. Le chiffre des unités de la somme sera $a + b - 10$. Or, si l'on ramène le trait de m qui prolonge le trait b de f en face du trait 10 de la réglette f, c'est-à-dire si l'on repousse m de $10 - b$ divisions en arrière, le trait de m qui vient en face du o de f est celui qui a pour cote $a - (10 - b)$ ou $a + b - 10$, c'est-à-dire le chiffre des unités cherché; on n'a plus, après cela, pour la retenue, qu'à faire avancer la réglette m des dizaines d'une unité. C'est là ce qu'on obtient avec le dispositif ci-dessus décrit.

noires, on parcourt la fente de bas en haut en poussant jusqu'à l'extrémité de la partie recourbée en forme de crosse.

Cela posé, on n'a qu'à prendre successivement chacun des nombres à additionner et à écrire, par le procédé qui vient d'être indiqué, le chiffre de ses unités dans la première colonne de droite, celui des dizaines dans la seconde, celui des centaines

Fig. 2.



dans la troisième, etc. ; le total s'inscrit dans les lucarnes inférieures. Pour la soustraction, on opère de même, après avoir fait paraître le plus grand nombre dans les lucarnes supérieures où, d'ailleurs, s'inscrira aussi le reste.

La multiplication a donné lieu, de son côté, à une grande diversité d'instruments qui dérivent tous des réglettes népériennes dont je vais d'abord parler.

LES MULTIPLICATEURS. — BATONS DE NEPER ET DÉRIVÉS.

Jean Neper, baron de Markinston, en Écosse, l'illustre inventeur des logarithmes, eut l'idée de rendre mobiles les diverses colonnes dont se compose la table de Pythagore, de façon à pouvoir les juxtaposer dans l'ordre des chiffres du multiplicande, et, en outre, de diviser chaque case en deux par une diagonale, de façon à séparer le chiffre des dizaines du chiffre des unités. Voici dès lors comment on opère pour avoir le

produit d'un nombre par un chiffre, soit par exemple de 365 par 7. On juxtapose, à côté de la colonne o, qui reste fixe, les colonnes 3, 6 et 5 (*fig.* 3). En face du chiffre 7 de la colonne o, on a alors les produits par 7 des chiffres correspon-

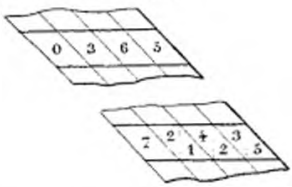
Fig. 3.



dants du multiplicande; il suffit donc d'ajouter le chiffre des dizaines de chaque case au chiffre des unités de la case voisine de gauche, c'est-à-dire d'additionner *parallèlement aux diagonales*, pour avoir le produit cherché 2555.

C'est en 1617 que Neper indiqua ce procédé dans sa *Rabdologie*, publiée à Édimbourg. Il ne le tenait bien certainement

Fig. 4.



de personne. Toutefois il est curieux de noter que des recherches modernes ont permis de reconnaître que la méthode indiquée, dès le XV^e^ siècle, par le mathématicien arabe Alkalçadi, pour effectuer la multiplication repose sur le même principe que les réglettes de Neper.

On peut, pour se conformer à l'habitude admise, adopter une disposition telle que les additions à effectuer se fassent dans le sens vertical. Il suffit, pour cela, de remplacer les bandes verticales par des bandes inclinées à 45° (*fig.* 4). Il faut remarquer aussi que, par simple découpage en neuf bandes mobiles

de la table de Pythagore, on n'a le moyen de représenter que des nombres dans lesquels n'existent pas deux chiffres pareils.

Pour obvier à cet inconvénient, dès 1668, le jésuite Gaspard Schott proposait, dans son *Organum mathematicum*, de substituer aux bandes de Neper des cylindres dont la périphérie divisée en dix bandes numérotées de 0 à 9 reproduirait les diverses colonnes de la table de Pythagore, plus une colonne de 0.

Le nombre des variantes proposées depuis cette époque pour les bâtons népériens est très grand. Il est même possible que quelques-uns de leurs auteurs les aient imaginées sans avoir connaissance de ce qu'avaient fait Neper et ses continuateurs. Il n'y aurait aucun intérêt à les passer ici en revue.

Un progrès restait toutefois à réaliser, à savoir d'arriver à supprimer complètement l'addition de deux nombres, exigée pour l'obtention du produit.

Le Dr Roth, dont j'aurai occasion de vous reparler tout à l'heure, avait conçu un dispositif qui réalisait à peu près ce desideratum. Son appareil, muni de coulisses, faisait apparaître les chiffres du produit dans de petites lucarnes pratiquées *ad hoc;* ces chiffres étaient les uns noirs, les autres rouges, chacun des premiers était exactement pris pour sa valeur, chacun des derniers devait être augmenté d'une unité. Cela constituait assurément un progrès sur le pur procédé népérien; ce n'était pourtant pas encore le dernier mot de la question.

LES RÉGLETTES DE GENAILLE. — L'APPAREIL BOLLÉE.

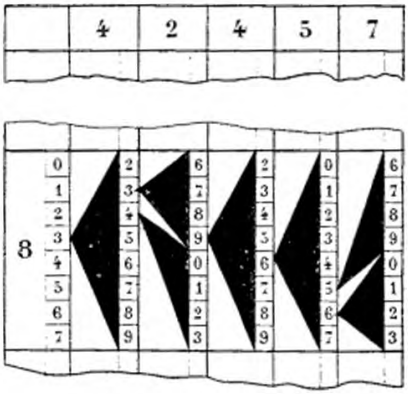
C'est à M. Genaille (1), employé à l'administration des chemins de fer de l'État, que devait revenir l'honneur de donner une solution complète du problème. Grâce à une étude attentive du mode de formation des produits dans les bâtons de Neper, il parvint à reconnaître que ceux-ci pouvaient être

(1) M. Genaille est l'auteur d'un grand nombre d'autres appareils arithmétiques très curieux, notamment d'une règle à vérifier si les nombres de la forme $2^n + 1$ sont premiers. Il a dressé aussi le projet d'une machine à calculer électrique que l'on doit souhaiter de lui voir réaliser un jour.

obtenus au moyen d'échelles chiffrées placées sur chacune des dix réglettes 0, 1, 2, ..., 9 entre lesquelles l'œil se trouverait guidé par certains tracés obtenus par la juxtaposition d'indices imprimés d'une manière invariable sur les réglettes. Ces indices sont les triangles noirs que vous apercevez sur chaque face des réglettes. Remarquez en outre que celles-ci sont à quatre faces, chacune des faces portant la bande relative à un chiffre différent, de sorte qu'avec les dix réglettes on peut écrire un multiplicande de dix chiffres sur lesquels quatre seraient identiques.

Voici la manière d'opérer avec les réglettes de Genaille :

Fig. 5.



soit, par exemple, à multiplier 42457 par 8 (*fig.* 5). A la droite de la réglette fixe contenue dans la boîte, je dispose les réglettes 4, 2, 4, 5, 7 en ayant soin de placer exactement dans le prolongement les uns des autres les traits divisant les bandes successives en tranches horizontales.

Je me porte alors dans la tranche correspondant au chiffre 8 de la réglette mobile, et je prends le chiffre qui est dans l'angle supérieur de droite de cette tranche ; c'est un 6. A partir de là, j'obtiens les autres chiffres du produit par l'application de la règle très simple qui suit : dès qu'un chiffre a été obtenu,

passer dans le triangle noir à la base duquel ce chiffre est contigu et aller prendre le chiffre marqué par le sommet de ce triangle. Dans le cas présent, l'application de cette règle me donne sucessivement les chiffres 5, 6, 9, 3, 3. J'obtiens donc le produit 339656 par une simple lecture guidée par les triangles noirs. Il est beaucoup plus expéditif de faire cette opération que de l'expliquer, et sa simplicité est telle qu'un tout jeune enfant ne sachant pas encore la table de Pythagore peut, en quelques minutes, — j'en ai fait l'expérience — être mis à même de l'exécuter et d'effectuer ainsi, sans erreur possible, la multiplication d'un nombre de dix chiffres par un multiplicateur d'un chiffre.

Afin de pouvoir écrire un nombre quelconque, quel que soit le nombre de ses figures semblables, M. Genaille a eu aussi recours à des rouleaux analogues à ceux de Schott dont je vous ai parlé tout à l'heure. Supposons que nous ayons monté, les uns à côté des autres, vingt de ces rouleaux. Nous aurons ainsi un appareil qui nous donnera tous les produits par 1, 2, 3, ..., 9, de tous les nombres jusqu'au

$$100\,000\,000\,000\,000\,000\,000^{\text{ième}}$$

c'est-à-dire jusqu'au *cent quintillionième!* Ce nombre dès le premier abord paraît fort grand; mais, afin de mieux faire ressortir son immensité aux yeux de ceux d'entre vous qui n'ont pas l'habitude des chiffres, je vais emprunter à Édouard Lucas une comparaison tout à fait frappante.

Supposons que l'on catalogue tous les résultats donnés par cet appareil en inscrivant sur une même ligne les 9 produits relatifs à chaque nombre; il faudra pour cela cent quintillions de lignes. Si on prend l'espacement de ces lignes égal à 1 centimètre, la bande de papier nécessaire pour l'inscription de ces cent quintillions de lignes aurait une longueur égale à vingt-cinq milliards de fois le tour du monde, c'est-à-dire que, si elle s'enroulait autour de l'équateur de la terre par suite du mouvement de rotation diurne de celle-ci, il faudrait plus de 68 millions d'années pour que cet enroulement fût achevé.

Supposons maintenant ce catalogue débité en pages de

100 lignes, réunies à raison de 1000 pages par volume; le catalogue complet contiendra donc

1 000 000 000 000 000

ou un quatrillion de volumes! Admettons que la Bibliothèque nationale puisse contenir dix millions de ces gros volumes, ce qui est un nombre respectable. Il faudrait alors

100 000 000

c'est-à-dire *cent millions de fois la Bibliothèque Nationale* pour contenir notre catalogue! De tels nombres, qui confondent l'imagination, font ressortir l'extraordinaire puissance calculatrice de ce petit appareil qui tient dans un cadre de quelques décimètres de pourtour.

M. Genaille a conçu des réglettes du même genre, que je mets sous vos yeux, pour la division et pour le calcul de l'intérêt par jour, avec les millimes, d'un capital quelconque placé à l'un des taux usuels.

Tous les appareils à multiplication que je vous ai fait voir jusqu'ici ne fournissent que les produits d'un multiplicande d'un nombre de chiffres égal à celui des réglettes dont on dispose par un multiplicateur *d'un seul chiffre*.

Si l'on a affaire à un multiplicateur de plusieurs chiffres, on peut obtenir de cette façon les produits partiels successifs, dont on n'a plus qu'à effectuer l'addition; on peut, à cet effet, se servir d'un additionneur tel que celui de M. Troncet, dont je vous ai parlé tout à l'heure. Mais il y aurait évidemment intérêt à éviter cette addition, tout en conservant à l'appareil la disposition générale qui vient d'être décrite. Ce problème a également été résolu par M. Genaille, dont l'esprit inventif parvient à surmonter toutes les difficultés. Je mets sous vos yeux une ébauche de cet appareil plus complet. Divers détails seraient encore à étudier pour rendre son emploi tout à fait commode, mais le principe en est acquis.

Ici les réglettes peuvent recevoir un déplacement dans le sens de leur longueur, et chacune d'elles porte à sa partie in-

férieure une échelle spéciale qu'on peut appeler *échelle de glissement* et un *index*.

Le multiplicande étant écrit avec les réglettes, on opère avec le chiffre des unités du multiplicateur comme précédemment, mais au fur et à mesure qu'on lit un chiffre au sommet d'un triangle porté par une de ces réglettes, on fait glisser celle-ci de façon que son index vienne prolonger le trait qui correspond à ce chiffre dans l'échelle de glissement de la réglette précédente. Avec cette nouvelle disposition des réglettes, on opère encore de même au moyen du chiffre des dizaines du multiplicateur, etc....; et, à chaque fois, le premier chiffre à droite du résultat donne un chiffre du produit. Lorsqu'on opère avec le chiffre des unités de l'ordre le plus élevé du multiplicateur, on ne fait plus aucun glissement et l'on relève les chiffres donnés par toutes les réglettes ; ils complètent le produit dont les chiffres précédents ont été obtenus un à un.

Avec un peu d'habitude, cette opération se fait très rapidement. M. Genaille l'a rendue encore plus aisée en remplaçant les positions successives prises par chaque réglette dans son mouvement longitudinal par des feuillets superposés débordant les uns sur les autres et numérotés au moyen des chiffres placés à côté des traits correspondants de l'échelle de glissement du cas précédent.

Indépendamment des recherches de M. Genaille, M. Léon Bollée, dont les belles machines seront mentionnées plus loin, a construit un instrument des plus remarquables pour effectuer le produit l'un par l'autre de deux nombres de plusieurs chiffres.

Cet instrument est composé d'une variété de bâtons néperiens, différents de ceux qui se rencontrent dans les appareils de M. Genaille, mais également disposés en feuillets superposés, et d'un additionneur pareil à celui qui se trouve dans l'arithmographe de M. Troncet, à cette différence près qu'on y a supprimé les teintes noires et blanches appliquées sur les dents des crémaillères et destinées à avertir d'avance si l'on doit déplacer la languette mobile dans un sens ou dans un autre; faute de cette indication, on pousse *toujours* de bas en haut comme si l'on voulait amener la pointe dont on se sert à

l'extrémité de la crosse; si, avant d'avoir achevé ce mouvement, on sent un buttoir y faire obstacle, on ramène la pointe jusqu'au bas de la rainure.

Cet appareil est d'ailleurs apte à effectuer toutes les opérations fondamentales de l'Arithmétique, y compris l'extraction de la racine carrée.

Le modèle que nous avons eu sous les yeux permet d'obtenir le produit d'un nombre de 14 chiffres par un nombre de 6 chiffres.

On peut, en dehors des appareils destinés à faire les opérations fondamentales de l'Arithmétique, en imaginer d'autres capables d'effectuer certaines opérations spéciales, telles, par exemple, que la recherche du jour de la semaine correspondant à une date donnée. C'est ainsi notamment qu'Édouard Lucas a imaginé divers calendriers perpétuels rentrant dans la catégorie des instruments arithmétiques, l'un, entre autres, le plus récent à la fois et le plus simple, fondé sur un principe analogue à celui des réglettes de Genaille. Il se compose de réglettes portant simplement des traits noirs et correspondant respectivement au siècle, à l'année dans le siècle, au mois, à la date dans le mois, enfin au jour de la semaine. Ces réglettes étant juxtaposées dans l'ordre convenable, les traits noirs correspondant sur chacune d'elles aux données forment une ligne brisée continue à l'extrémité de laquelle on n'a qu'à lire le résultat cherché (1).

B. — Les machines arithmétiques.

Je passe maintenant aux machines arithmétiques, dans lesquelles on confie à un mécanisme le soin d'effectuer les opérations sur les nombres.

C'était une idée hardie que de concevoir *a priori* la possibilité d'un tel appareil. A Blaise Pascal appartient la gloire non seulement de l'avoir eue le premier, mais encore de l'avoir réalisée. Ce puissant génie, dont la trace lumineuse est marquée

(1) Ce calendrier se trouve dans le n° du 4 janvier 1890 de la *Revue Scientifique*.

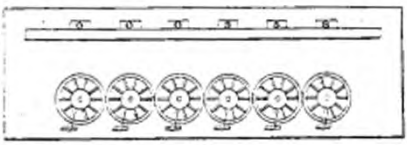
à la fois dans les Lettres et dans les Sciences, ne dédaignait point, le cas échéant, de s'appliquer à la solution des problèmes les plus pratiques. Il l'a prouvé en nous dotant du haquet; mais nulle part son esprit d'invention ne s'est affirmé d'une façon plus éclatante que dans la conception de sa machine à calculer.

LA MACHINE DE PASCAL ET LES MACHINES ANCIENNES.

C'est en 1642, avant d'avoir accompli sa dix-neuvième année, que Pascal inventa cette machine destinée à simplifier les comptes qui incombaient à son père comme surintendant de la Haute-Normandie, et dont il fit hommage au chancelier Pierre Séguier.

Voici cette machine (*fig.* 6). Le très grand intérêt historique

Fig. 6.



qui s'y attache, puisque c'est le premier exemple connu d'un appareil de ce genre, m'engage à vous en donner une description sommaire.

Prenons un cylindre dont, par des génératrices régulièrement espacées, nous divisons la surface en dix bandes. Numérotons ces bandes de 0 à 9 et supposons que le cylindre tourne derrière un écran opaque percé d'une lucarne qui ne laisse voir qu'un chiffre à la fois. Supposons que ce soit le chiffre 2 qui se trouve en ce moment en face de la lucarne. Si nous imprimons au cylindre, dans le sens convenable, une rotation de $\frac{1}{10}$ de tour, nous amènerons devant la lucarne le chiffre 3 au lieu du chiffre 2; une nouvelle rotation de $\frac{1}{10}$ de tour fera apparaître le chiffre 4, et ainsi de suite. En un mot, le chiffre qui apparaît après $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$, $\frac{3}{10}$, ... de tour est égal au chiffre

qui se trouvait primitivement à la lucarne augmenté de 1, 2, 3, ... unités.

Supposons dès lors que, sous le même écran opaque, plusieurs cylindres pareils au précédent soient disposés les uns à côté des autres, chacun d'eux correspondant à une lucarne percée dans l'écran.

Faisons apparaître à la première lucarne de droite le chiffre 2, par exemple, à la seconde, le chiffre 4, à la troisième, le chiffre 1. Nous aurons inscrit de cette façon le nombre 142. Supposons que nous voulions ajouter à ce nombre le nombre 216. Nous ferons tourner, d'après ce qui vient d'être dit, le premier cylindre à droite de $\frac{6}{10}$ de tour, le second de $\frac{1}{10}$, le troisième de $\frac{2}{10}$. Dès lors apparaîtront respectivement dans les trois lucarnes les chiffres 8, 5, 3, formant la somme 358 des nombres donnés.

Jusque-là, point d'intervention de mécanisme. Mais la raison d'être de celui-ci va ressortir de la double nécessité : 1° d'imprimer par un moyen sûr à chaque cylindre la rotation partielle voulue; 2° de faire passer d'un cylindre à l'autre les retenues lorsqu'il y en a.

Pour la commande de la rotation, chaque cylindre est relié par un engrenage à angle droit à une roue, apparente sur la face supérieure de la boîte qui fait un tour complet en même temps que le cylindre. Cette roue (*fig.* 7) rappelle, par son aspect, une roue de voiture, mais les rais seuls en sont mobiles; la jante est fixe; elle est divisée en dix parties égales numérotées de 0 à 9. Un buttoir est fixé sur cette jante entre les divisions 0 et 9. On voit que si l'on introduit une pointe dans l'intervalle des rais en face de la division 1, ou 2, ou 3, ... et qu'avec cette pointe on pousse le rai qui se trouve à l'origine de cette division jusqu'à ce que la pointe vienne heurter le buttoir, l'axe qui porte les rais aura pivoté de $\frac{1}{10}$, ou $\frac{2}{10}$, ou $\frac{3}{10}$, ... de tour. Il en sera, par suite, de même du cylindre, grâce à l'intermédiaire de l'engrenage.

Si donc on veut augmenter de 6 le chiffre des unités, de 1 celui des dizaines et de 2 celui des centaines, on n'a qu'à faire la petite opération qui vient d'être décrite en introduisant successivement la pointe que l'on tient à la main dans la case 6

de la première roue de droite, dans la case 1 de la deuxième et dans la case 2 de la troisième.

Tout cela est fort simple, comme vous voyez; mais l'organe délicat, celui pour lequel Pascal a dû dépenser le plus grand effort d'imagination, est celui qui a pour rôle d'effectuer les retenues, c'est-à-dire, chaque fois que la génératrice qui

Fig. 7.

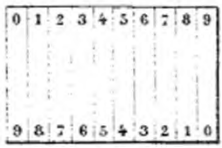


sépare le 9 du 0 sur un cylindre passe devant la lucarne correspondante, de faire avancer le cylindre suivant de $\frac{1}{10}$ de tour. Ce problème de mécanique a été résolu par Pascal d'une façon qui nous semblerait aujourd'hui assez imparfaite, mais qui est tout à fait remarquable pour le temps où elle a été conçue. Je ne saurais, vu le cadre restreint de cette conférence, entrer dans aucun détail à ce sujet. Je dois me borner à des notions générales et laisser, par conséquent, de côté, malgré leur très haut intérêt, les détails de construction mécanique relatifs aux machines que je vous présente. Peut-être aurai-je un jour l'occasion de développer ce côté du sujet.

Mais je dois, pour terminer cette description sommaire, indiquer comment la machine permet d'effectuer la soustraction. Il semble au premier abord qu'il suffise de renverser le sens du mouvement de la machine, mais le dispositif des retenues

ne se prêterait point à cette réversibilité. Si le sens de la marche doit rester le même, il devient donc nécessaire de renverser l'ordre d'inscription des chiffres sur les cylindres de façon que chaque dixième de tour, au lieu de produire une augmentation, produise une diminution d'une unité. Ce résultat a été pratiquement obtenu par Pascal de la manière bien simple que voici : le pourtour de chaque cylindre porte une seconde chiffraison de 0 à 9 inverse de la première et telle que la somme des deux chiffres placés sur une même génératrice soit égale à 9, ainsi qu'on le voit sur la *fig.* 8 qui représente

Fig. 8.



le développement de la surface latérale d'un des cylindres. Il suffit dès lors, au moyen d'un écran mobile, de découvrir ou de fermer la partie des lucarnes correspondant à l'une ou à l'autre chiffraison pour que la machine fournisse le résultat d'une addition ou d'une soustraction.

La belle invention de Pascal ayant ouvert une voie nouvelle de recherches, nombre d'auteurs s'y lancèrent à sa suite, mais avec des fortunes très inégales, les uns réalisant divers perfectionnements dans le mécanisme, les autres, au contraire, n'aboutissant qu'à des conceptions pratiquement inférieures à celle de Pascal.

C'est ainsi que le grand Leibnitz, malgré tout son génie, dépensa en pure perte une centaine de mille francs à des essais entrepris en 1673 et qui n'aboutirent qu'à un résultat fort imparfait.

Le Vénitien Poleni construisit en 1709 une machine analogue à celle de Pascal, qu'il ne connaissait d'ailleurs que par ouï-dire, mais où le mécanisme fonctionnait au moyen de contrepoids au lieu de ressorts. Poleni, lorsqu'il se fut rendu compte de l'infériorité de sa machine, la brisa de ses propres mains.

La conception première de Pascal fut successivement reprise et modifiée en 1725 par Lépine, et en 1730 par Hillerin de Boitissandau. Les frottements qui se développaient dans la machine de ce dernier atteignaient dans certains cas une telle intensité que le jeu de la machine devenait à peu près impossible.

Certains auteurs, comme Leupold (*Theatrum arithmetico-geometricum*, 1727), se sont contentés d'esquisser des projets de machines, mais sans les réaliser.

Gersten, en 1735, imagina un mécanisme nouveau reposant sur l'emploi de crics mus par des étoiles. Pour les retenues, chaque cric, dans son mouvement ascendant, poussait l'étoile voisine de $\frac{1}{10}$ de tour; dans ce cas encore, il arrivait parfois qu'il était nécessaire de dépenser un effort considérable.

En 1750, Jacob-Isaac Pereire construisit une machine dont les dispositions différaient sensiblement de celle des précédentes. Ici, c'étaient des roues enfilées sur un même axe et placées dans un coffret muni de rainures correspondant à chaque roue. Une aiguille introduite dans ces rainures permettait de faire tourner les roues.

D'autres machines furent encore imaginées par lord Mahon, comte de Stanhope (1776), par Matthieu Hahn (1777), par Müller (1784), par Abraham Stern (1814).

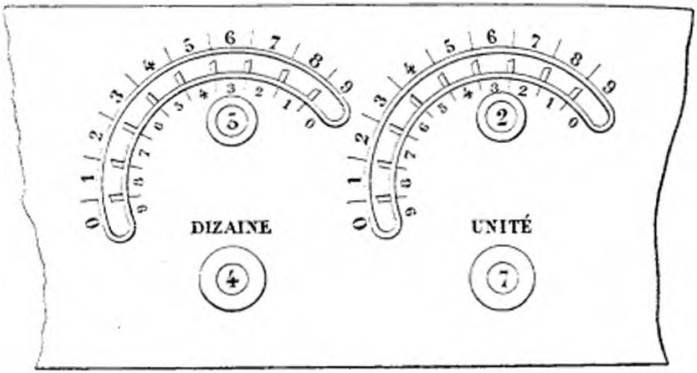
L'ADDITIONNEUR ROTH.

L'ordre chronologique voudrait que j'abordasse maintenant l'arithmomètre de Thomas, de Colmar, qui marque une étape décisive dans l'histoire des machines à calculer, mais je tiens auparavant à vous dire quelques mots d'une machine qui, bien que postérieure à celle de Thomas, se rattache plus étroitement à celle de Pascal; je veux parler de l'additionneur du Dr Roth.

Cette machine (*fig.* 9) ne diffère de celle de Pascal que par sa disposition générale, qui permet de lui donner des dimensions moins encombrantes, et par le détail de son mécanisme, qui réduit de beaucoup l'effort à dépenser; le principe est le même.

Dans l'additionneur Roth, la chiffraison, au lieu d'être inscrite sur la surface latérale d'un cylindre, l'est le long d'un cercle décrit sur un disque qu'on fait tourner directement au moyen d'une pointe introduite entre des dents fixées à sa tranche. La chiffraison de sens contraire correspondant à la soustraction est marquée en rouge sur un cercle concentrique

Fig. 9.



au premier, chacune de ces chiffraisons paraissant à une lucarne distincte.

Le perfectionnement mécanique réalisé par rapport à la machine de Pascal et à toutes celles qui en sont dérivées tient à ce que les appareils de retenue, d'un système d'ailleurs entièrement nouveau, sont disposés de façon à n'avoir jamais à fonctionner simultanément.

Dans les machines précédentes, lorsqu'on ajoutait 1 unité à 99 999, cinq appareils de retenue fonctionnaient simultanément. Dans l'additionneur Roth, ces cinq appareils fonctionnent successivement, quoique à très court intervalle, de sorte que l'effort à dépenser, qui précédemment atteignait une notable intensité, reste ici toujours le même. Suivant la pittoresque expression de l'inventeur lui-même, sa machine fait un feu de file, alors que celle de Pascal faisait un feu de peloton.

En outre, un ingénieux dispositif permet de remettre très rapidement la machine à zéro. En tirant sur un bouton placé sur le côté de la boîte, on fait apparaître des 9 à toutes les lucarnes. Il suffit alors d'ajouter une unité, c'est-à-dire de faire avancer d'une dent la première roue de droite, pour ramener partout des 0.

Toutes les machines qui viennent d'être sommairement décrites ou mentionnées sont à la fois des additionneurs et des soustracteurs. Elles permettraient évidemment d'opérer par répétition des multiplications et des divisions, mais le temps et la peine qu'il y faudrait, pour peu que le multiplicateur ou le diviseur fût un peu grand, feraient renoncer à ce procédé.

Il y avait là un pas important à franchir. C'est à Thomas, de Colmar, que revient le très grand mérite de l'avoir fait, en 1820 (1). On est même en droit de dire que c'est de sa belle invention que date le véritable essor pris par les machines à calculer qui n'avaient guère été jusque-là que de simples objets de curiosité.

L'ARITHMOMÈTRE THOMAS.

La machine à calculer ou *arithmomètre* de Thomas a fait l'objet d'une petite industrie qui, depuis une trentaine d'années, sous l'habile direction de M. Payen, n'a cessé de progresser jusqu'à nos jours. Certes, les arithmomètres livrés aujourd'hui au public diffèrent notablement, dans leurs détails, du modèle primitif établi par Thomas ; mais la partie essentielle, dont je vais vous indiquer le principe, est restée la même. Les perfectionnements successifs, dus pour la plupart à des collaborateurs anonymes, simples ouvriers parfois, qu'en-

(1) Il semble toutefois que divers essais en ce sens aient dû précéder ceux de Thomas. D'après un passage de la correspondance de Kratzenstein, celui-ci aurait, dès 1762, présenté à l'Académie des Sciences de Stockholm une machine à multiplier. Mais aucun renseignement ne nous est parvenu au sujet de cette invention. Elle ne saurait rien enlever au mérite de celle de Thomas, qui, d'ailleurs, fut la première, par sa simplicité, à s'imposer au public. Kratzenstein dit même que la machine de Leibnitz, qui, malheureusement, ne put atteindre à un fonctionnement convenable, aurait permis d'effectuer la multiplication.

courageaient les conseils éclairés et les intelligentes libéralités de Thomas, absorbé par d'autres soins que celui de reviser le type de sa machine, ont porté exclusivement sur les détails du mécanisme. Je ne saurais dire quelle somme de génie s'y est dépensée; et il me faudrait au moins une conférence tout entière pour vous signaler les petites merveilles de mécanique pratique qui se rencontrent là; mais je ne dois pas perdre de vue que le temps m'est strictement mesuré et que je ne puis m'écarter des aperçus généraux.

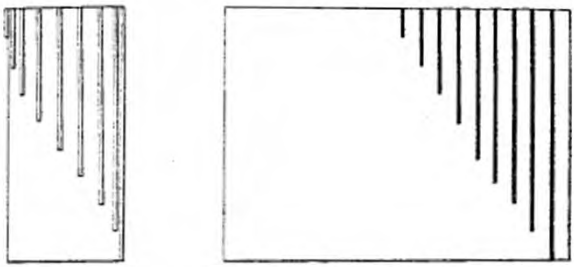
Je me bornerai donc à une description sommaire, mais je tiens tout d'abord à vous dire que, comme facilité et comme sûreté de fonctionnement, de même que comme solidité, l'arithmomètre Thomas ne laisse rien à désirer; c'est ce qu'atteste une expérience journalière, poursuivie depuis plus d'un demi-siècle, dans les bureaux de calculs de tous les grands établissements scientifiques et financiers.

Le trait de génie de Thomas, de Colmar, a consisté, au lieu d'écrire directement sur la machine le nombre à introduire dans l'addition, à l'écrire sur une partie annexe d'où, par un simple tour de manivelle, on le fait passer sous les lucarnes où se lit le résultat. A procéder ainsi, on n'a rien à gagner au point de vue de l'addition, attendu qu'en outre de l'inscription de chaque nombre, qui suffisait précédemment, il y aura encore un tour de manivelle à donner, mais on voit tout de suite le bénéfice qui résultera de là au point de vue de la multiplication, puisque, une fois que le multiplicande aura été écrit, chaque tour de manivelle le fera entrer une fois de plus dans le résultat. Voici, réduit à ce qu'il a d'essentiel, le dispositif grâce auquel Thomas a pu réaliser son idée.

Chaque disque, portant une chiffraison de 0 à 9, qui se meut sous une lucarne de la machine, reçoit son mouvement, par l'intermédiaire d'engrenages convenablement disposés, d'un arbre à section carrée le long duquel peut glisser une roue dentée qui l'entraîne dans son mouvement de rotation; or, cette roue dentée engrène elle-même avec un tambour denté dont la surface latérale développée offre l'aspect représenté par la *fig.* 10, où les traits noirs figurent les dents en relief. On voit que suivant que la roue dentée, qui est mobile

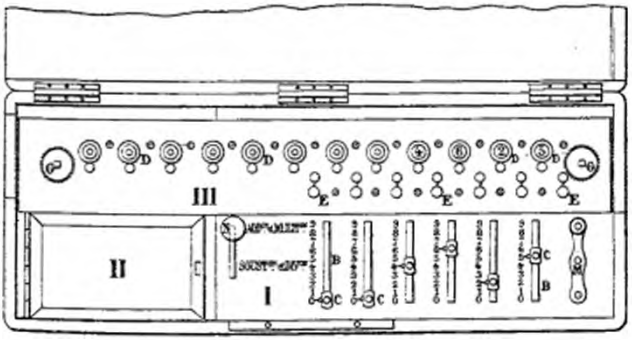
le long de l'arbre à section carrée, se trouve aux différents points de la longueur du tambour denté, elle engrène avec 0, 1, 2, ... ou 9 dents de ce tambour. Lors donc que celui-ci fera un tour

Fig. 10.



entier, la roue, suivant sa position, avancera de 0, 1, 2, ... ou 9 dents. Par suite, le disque gradué tournera de 0, $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$, ...

Fig. 11.



ou $\frac{9}{10}$ de tour, ainsi qu'on l'amenait à le faire directement dans les machines précédentes.

Les tambours correspondant aux divers ordres décimaux sont placés sous une platine fixe I, percée de rainures B (*fig.* 11). Des boutons C engagés dans ces rainures permettent de déplacer les petites roues dentées le long de ces

tambours. Chacun de ces boutons est muni d'un index, et le bord de la rainure porte une graduation de 0 à 9, telle que, lorsque l'index est en face du chiffre 0, 1, 2, ... ou 9, la petite roue dentée est au point de sa course où elle engrène avec 0, 1, 2, ... ou 9 dents du tambour.

Enfin, tous les tambours reçoivent leur mouvement d'un même arbre de couche que l'on manœuvre au moyen d'une manivelle M.

Si donc, toutes les lucarnes D étant à 0, on amène l'index du premier bouton de droite en face du chiffre 3, celui du second en face du chiffre 4, celui du troisième en face du chiffre 2, tous les autres étant à 0, et qu'on donne un tour de manivelle, le premier disque à droite tournera de $\frac{3}{10}$ de tour, le second de $\frac{4}{10}$, le troisième de $\frac{2}{10}$, et on lira dans les lucarnes, en commençant par la droite, les chiffres 3, 4 et 2; on aura donc ainsi fait passer dans la machine le nombre 243. Donnons maintenant un second tour de manivelle. Le premier disque à droite tournera encore de $\frac{3}{10}$ de tour et le chiffre 6 apparaîtra à la place du 3; le deuxième tournera de $\frac{4}{10}$ de tour et montrera le chiffre 8; le troisième tournera de $\frac{2}{10}$ de tour et montrera le chiffre 4. Donc, après 2 tours de manivelle, on lira, dans les lucarnes, le nombre 486, double de 243; après 3 tours, on lirait le triple; après 4 tours, le quadruple, et ainsi de suite.

Il faut toutefois, pour cela, que les retenues s'inscrivent, c'est-à-dire que, lorsque l'intervalle de 9 à 0 d'un des disques gradués passe sous la lucarne correspondante, le disque placé immédiatement à la gauche de celui-ci avance de $\frac{1}{10}$ de tour. Ce résultat est obtenu dans l'arithmomètre Thomas au moyen d'un mécanisme des plus ingénieux au sujet duquel je ne puis malheureusement entrer, faute de temps, dans aucun détail. Je tiens toutefois à dire qu'afin d'éviter toute dépense d'effort anormale l'inscription successive des retenues (le feu de file du Dr Roth) est ici obtenue grâce à la disposition suivante : les neuf dents d'inégale longueur de chaque tambour ne sont pas disposées sur la périphérie entière de ce tambour; elles en occupent à peu près la moitié. De cette façon, on peut, par une différence de calage des tambours successifs, faire en sorte que chacun d'eux ne commence son effet qu'avec un

petit retard sur le voisin et l'on conçoit que l'on puisse profiter de cette circonstance pour ne faire agir sur chaque arbre l'appareil de retenue voisin que lorsque cet arbre ne reçoit aucun mouvement du tambour qui lui est propre.

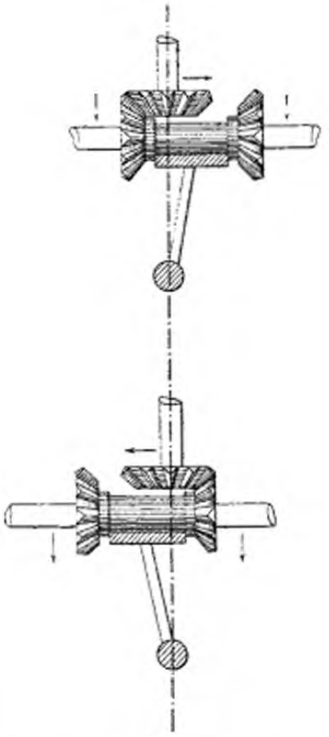
Quelque grand que soit le bénéfice qu'il y a à effectuer la répétition d'un même nombre par le jeu de la manivelle, il n'eût pas suffi, sans le complément dont je vais parler maintenant, à rendre la multiplication assez rapide pour les besoins de la pratique. Supposons, par exemple, qu'il s'agisse de multiplier un nombre par 4625. S'il fallait donner 4625 tours de manivelle, le temps employé à cette opération dépasserait certainement celui qu'exigerait l'application pure et simple de la règle donnée en Arithmétique. C'est alors qu'intervient un nouvel artifice imaginé par Thomas. La platine III, dans laquelle sont percées les lucarnes D et qui porte les disques gradués, est mobile dans le sens de sa longueur. Chaque fois qu'elle avance d'un cran vers la droite, chaque tambour moteur vient agir sur le disque gradué correspondant à l'ordre décimal immédiatement supérieur à celui du disque qu'il mettait précédemment en mouvement. Si donc on veut multiplier par 4625 le nombre inscrit au moyen des index, on donnera 5 tours de manivelle; puis on fera avancer la platine mobile d'un cran vers la droite et l'on donnera 2 tours de manivelle, et de même après l'avoir fait avancer successivement de deux nouveaux crans, on donnera 6 et 4 tours de manivelle. On aura donc eu à donner en tout 17 au lieu de 4625 tours de manivelle.

Vous remarquerez, en outre, que la platine mobile porte un second rang de lucarnes, E, plus petites que les premières, où, pour chaque ordre décimal, un compteur enregistre le nombre de tours de manivelle. De cette façon, le multiplicateur s'inscrit aussi sur l'appareil, ce qui permet de vérifier, à la fin de l'opération, que celle-ci a bien été celle qu'on désirait effectuer, c'est-à-dire qu'on n'a pas, par inadvertance, donné pour l'un des ordres décimaux un tour de manivelle de plus ou de moins.

Quant au renversement de la marche de la machine, destiné à lui faire effectuer les opérations soustractives au lieu des opérations additives, il s'obtient par le moyen très simple que voici :

La transmission du mouvement de chaque arbre carré à la roue dentée qui entraîne le disque gradué correspondant se fait par l'intermédiaire d'un chariot tel que celui qui est re-

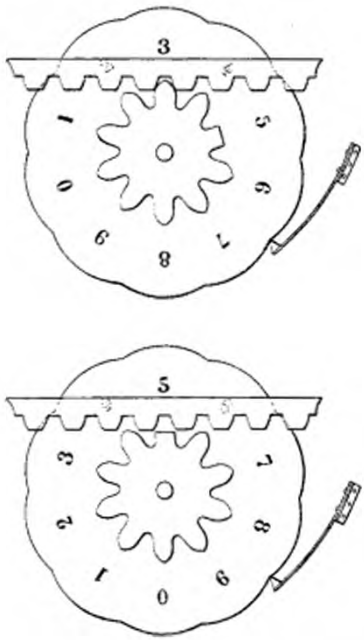
Fig. 12.



présenté sur la *fig.* 12. Un levier, poussé de l'extérieur au moyen d'un bouton N (*fig.* 11), permet de donner simultanément à tous les chariots un petit déplacement en vertu duquel c'est tantôt l'une et tantôt l'autre de leurs roues dentées qui engrène avec la roue du disque. La figure montre clairement que de l'un à l'autre cas le sens de la rotation de cette dernière est changé, par suite aussi celui de la rotation du disque.

L'arithmomètre est muni d'un effaceur qui repose sur un principe à la fois si simple et si ingénieux que je ne puis me dispenser d'en dire un mot. En agissant sur un bouton G (*fig.* 11) fixé extérieurement à la platine mobile et qui ne peut fonctionner que lorsque celle-ci est soulevée, on fait mouvoir

Fig. 13.



une crémaillère qui engrène avec une roue dentée spéciale portée sur le pivot de chaque disque gradué (*fig.* 13). L'écartement des dents de cette roue est de $\frac{1}{10}$ de circonférence, mais une de ces dents manque, celle qui viendrait en prise avec la crémaillère lorsque le o du disque apparaît à la lucarne. Lors donc qu'on a poussé la crémaillère jusqu'à ce que le o ait réapparu dans une des lucarnes, elle cesse d'agir sur le disque correspondant, faute de rencontrer une nouvelle dent

à pousser en avant. Une fois que tout a été ainsi ramené à o, on lâche le bouton; un ressort rappelle alors la crémaillère dans sa position de repos où elle cesse d'engrener avec les roues dont il vient d'être question.

Mais le détail mécanique le plus intéressant de cette machine, qui rend son jeu absolument sûr et lui donne une supériorité marquée sur plusieurs de ses congénères, est celui dont je vais parler maintenant. Il s'agit d'un dispositif propre à empêcher que l'inertie des pièces du mécanisme ne les entraîne, en vertu de la vitesse acquise, au delà de la position dans laquelle elles doivent s'arrêter. Ce dispositif, auquel le constructeur a donné le nom de *croix de Malte*, et qui fonctionne aussi bien pour les appareils de retenue que pour les tambours, est combiné de telle sorte qu'au moment précis où ces divers organes ont effectué le mouvement exigé par l'opération qu'on a à faire, une pièce rigide pressée contre eux vient les immobiliser complètement.

Tel est, dans ses grands traits, l'arithmomètre Thomas. Il y aurait encore, je le répète, nombre de particularités intéressantes au point de vue mécanique à signaler dans cette machine, mais il ne m'est pas possible d'entrer ici dans plus de détail.

J'ajouterai toutefois que l'usage de l'arithmomètre n'est pas limité aux seules multiplication et division. En particulier, grâce à un théorème sur la suite des nombres impairs qui permet de ramener l'extraction de la racine carrée à une série de soustractions, il se prête très aisément aussi à cette opération. Le savant physicien alsacien Hirn a publié, en 1863, dans les *Annales du Génie civil*, une notice curieuse où il signale divers usages auxquels peut se prêter l'arithmomètre.

Si, tout en me bornant d'ailleurs à des généralités, je me suis autant étendu sur l'arithmomètre Thomas, c'est, d'une part, que cette machine est la première en date de celles qui ont vraiment pénétré dans la pratique, de l'autre, qu'elle continue à être la plus répandue; mais les principes qui ont présidé à sa construction ont reçu depuis lors d'autres applications, nombreuses et variées, dont quelques-unes marquées au coin de l'esprit le plus inventif. Et si l'on doit constater que ces machines ne sont pas parvenues à détrôner l'arithmomètre

Thomas, en partie sans doute parce qu'une plus grande complication de mécanisme donnait à quelques-unes d'entre elles au moins une plus grande fragilité, il serait en revanche profondément injuste de méconnaître les perfectionnements théoriques qui s'y trouvent réalisés.

L'ARITHMAUREL. — LA MACHINE ROTH.

Au premier rang de ces machines, il convient de placer celle de Maurel, perfectionnée ensuite par l'inventeur et par Jayet, et qui, par contraction du nom d'arithmomètre Maurel, s'est appelée l'*arithmaurel*.

La construction très soignée de cette machine permet d'imprimer à ses divers organes une rotation très rapide grâce à un effort minime. C'est ainsi que, pour faire passer un nombre dans les lucarnes où se lit le résultat, il suffit, au lieu de donner un tour de manivelle, de faire parcourir une seule division à une aiguille sur un cadran portant neuf divisions. Lors donc qu'un multiplicande est inscrit, au moyen de tiges graduées dont le maniement est analogue à celui des boutons de l'arithmomètre Thomas, on n'a qu'à inscrire le multiplicateur, au moyen des aiguilles dont il vient d'être parlé, sur les cadrans gradués correspondant aux divers ordres décimaux, pour que le résultat apparaisse immédiatement dans les lucarnes disposées à cet effet.

Cette extraordinaire rapidité de fonctionnement est obtenue grâce à certaines particularités du mécanisme dont les principales sont les suivantes :

1° Au lieu d'avoir autant de cylindres dentés qu'il y a de disques gradués pour l'inscription du résultat, *un seul cylindre* agit sur tous ces disques qui sont disposés circulairement sur sa périphérie ;

2° Grâce à un engrenage différentiel convenablement disposé, chaque disque gradué peut être actionné *à la fois* par le cylindre central et par l'appareil à retenues correspondant au disque précédent.

Cette machine était assurément voisine de la perfection théorique, mais la complication de son mécanisme, jointe

à sa grande fragilité, ne lui a pas permis de se prêter à une fabrication courante.

Je ne ferai que citer, comme se rattachant au même genre, la machine du Dr Roth (l'inventeur de l'additionneur signalé plus haut), dont les dispositions sont ingénieuses, mais qui exige une assez grande dépense d'effort, et qui est restée à l'état de curiosité théorique.

LA MACHINE TCHEBICHEF.

Voici maintenant la machine de M. Tchebichef (1), dont, grâce à la libéralité du grand mathématicien russe, le Conservatoire possède l'unique exemplaire qui existe au monde. Le trait saillant de cette curieuse machine, dans les moindres dispositions de laquelle se révèle le génie mécanique de son illustre auteur, consiste dans la continuité du mouvement. Alors, en effet, que dans les autres machines le report des retenues donne lieu à des changements brusques qui ne sont obtenus qu'au prix d'une grande complication dans la construction, ce report, dans la machine que nous examinons maintenant, s'opère graduellement. Dans ces conditions, le résultat ne saurait plus se lire suivant une ligne droite, mais suivant une ligne ondulée. Cela n'entraîne d'ailleurs aucune difficulté dans l'usage de la machine, grâce à la bande blanche que vous apercevez dans les lucarnes et par laquelle la lecture est guidée.

Un grand avantage de la machine de M. Tchebichef consiste en ce que sa partie essentielle, l'additionneur, peut être isolée du reste de la machine et fournir, par simple *inscription directe*, sans le secours d'aucune manivelle, le résultat de la totalisation d'une suite de nombres pris d'ailleurs, les uns avec le signe +, les autres avec le signe —, alors que, dans tous les autres additionneurs, l'addition, d'une part, la soustraction, de l'autre, ne peuvent se faire que séparément. La seconde partie de la machine, s'adaptant à la première par simple juxtaposi-

(1) On trouvera dans une Note annexe la description complète de cette machine.

tion, permet, en agissant par répétition sur l'additionneur, d'effectuer la multiplication et la division.

On peut très justement assimiler l'additionneur à un piano et l'appareil qui le transforme en multiplicateur, au mélotrope qui, adapté à ce piano, permet de le faire fonctionner mécaniquement par simple rotation d'une manivelle.

Le mode d'emploi de la machine pour la multiplication est d'ailleurs remarquablement simple.

Le multiplicande et le multiplicateur étant inscrits sur deux parties différentes de la machine, au moyen de boutons mobiles dans des rainures graduées, on tourne la manivelle d'un mouvement continu jusqu'à ce que les boutons du multiplicateur soient tous revenus dans leur situation initiale. Le produit se lit alors dans les lucarnes du résultat.

Il existe à l'étranger d'autres types de machines à calculer ne figurant point dans la collection du Conservatoire. Je me bornerai à mentionner les machines Grant (États-Unis), Odhner (Russie), Selling (Allemagne).

LA MACHINE BOLLÉE.

Dans toutes ces machines, la multiplication est toujours effectuée par additions successives.

Un jeune inventeur français, M. Léon Bollée, a construit pour la première fois une machine effectuant *directement* la multiplication.

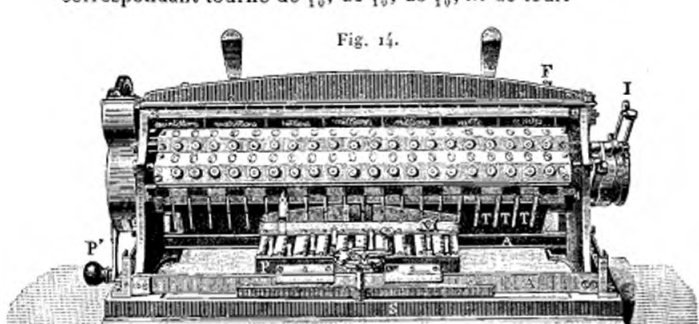
Fait bien remarquable et bien digne d'être noté, c'est, ainsi que Pascal, à l'âge de dix-huit ans que M. Bollée a conçu son invention, présentée pour la première fois au public à l'Exposition universelle de 1889. Mais ce n'était pas là le coup d'essai de ce précoce inventeur qui, dès l'âge de onze ans, s'était appliqué à construire de petits appareils destinés à la simplification du calcul.

Dans cette machine (*fig.* 14), les cylindres chiffrés, tournant sous les lucarnes, reçoivent leur mouvement de tiges verticales T (¹) munies de crémaillères. Suivant qu'on fait avan-

(¹) C'est par erreur que, sur la *fig.* 14, ces tiges ont été représentées inclinées.

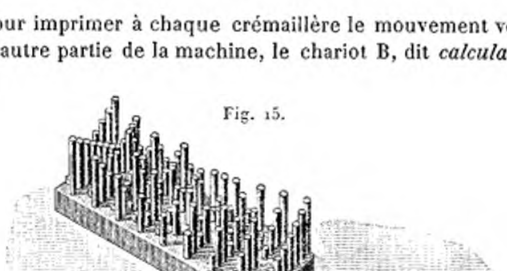
cer chaque tige d'une, de deux, de trois dents, ..., le cylindre correspondant tourne de $\frac{1}{10}$, de $\frac{2}{10}$, de $\frac{3}{10}$, ... de tour.

Fig. 14.



Pour imprimer à chaque crémaillère le mouvement voulu, une autre partie de la machine, le chariot B, dit *calculateur*,

Fig. 15.



renferme une série de plaques hérissées de petites tiges d'acier qui constituent des sortes de bâtons népériens en relief. Une de ces plaques calculatrices est représentée par la *fig.* 15. J'appellerai *ligne* l'ensemble des pointes placées sur une droite parallèle aux petits côtés de la plaque, et *colonne* l'en-

semble des pointes placées sur une droite parallèle aux grands côtés. Une telle plaque est solidaire de chaque bouton du calculateur, mobile dans une rainure graduée ainsi que dans l'arithmomètre Thomas.

Lorsque le bouton d'une des rainures se trouve en face du chiffre 6, par exemple, de la graduation de cette rainure, la plaque calculatrice correspondante est placée de telle sorte que c'est la *ligne* des pointes d'acier figurant en relief les multiples de 6 qui se trouve dans le plan vertical contenant les tiges à crémaillère dont il a été question plus haut.

Le calculateur B peut être déplacé latéralement au moyen d'un pignon engrenant avec une crémaillère fixée au châssis A et qui est mis en mouvement à l'aide de la manivelle M. Chaque tour complet de cette manivelle fait franchir au calculateur l'espace, limité par les tiges T, correspondant à un ordre décimal complet, et lorsque, au cours d'un tour, on arrête la manivelle M dans l'encoche portant un certain numéro, 4 par exemple, ce sont, dans chaque plaque calculatrice, les *colonnes* des pointes figurant les produits partiels par 4 qui se trouvent dans les plans de profil des tiges T.

On voit donc, le multiplicande étant écrit au moyen des boutons du calculateur, qu'en amenant la manivelle M sur un chiffre du multiplicateur, on aura disposé les plaques calculatrices de façon à faire apparaître, par l'intermédiaire des tiges à crémaillère, le produit correspondant. Le mouvement voulu est d'ailleurs obtenu au moyen d'un tour de la manivelle P qui, en soulevant verticalement le châssis A qui porte le calculateur B, fait pousser par les pointes d'acier de ce calculateur les tiges à crémaillère avec lesquelles engrènent les cylindres gradués.

Ici encore, bien entendu, doit intervenir un appareil pour les retenues d'addition. Celui qu'a adopté M. Bollée, d'un type tout nouveau, serait fort intéressant à étudier. Je ne puis malheureusement, en raison du cadre restreint de mes conférences, entrer dans aucun détail à son sujet.

Pour un multiplicateur de plusieurs chiffres, il n'y a qu'à effectuer l'opération qui vient d'être décrite successivement pour ces divers chiffres en déplaçant chaque fois le calculateur d'une case, de manière à passer à l'ordre décimal suivant.

Il suffit pour cela de faire franchir à la manivelle M une étoile qui est figurée entre le 0 et le 9 du manipulateur.

On voit que la manœuvre de cette machine est remarquablement simple, puisqu'elle n'exige qu'un nombre de tours de manivelle égal à celui des chiffres du multiplicateur. Supposons par exemple, comme précédemment, qu'on veuille multiplier un nombre par 4625. Après avoir inscrit le multiplicande au moyen des boutons du calculateur, on amènera, à l'aide de la main droite, la manivelle M (tournant dans le sens inverse de celui des aiguilles d'une montre) successivement sur les chiffres 4, 6, 2 et 5 du manipulateur, en ayant soin, dans chaque intervalle compris entre ces arrêts, de lui faire franchir l'étoile. En outre, à chacun de ces arrêts, on donnera un tour de la manivelle P tenue de la main gauche et tirée, dans sa position inférieure, d'arrière en avant. Cette manœuvre se fait avec une extrême rapidité, et, tandis que le produit s'inscrit dans les lucarnes supérieures, le multiplicateur apparaît aux lucarnes inférieures.

Lorsque la manivelle M est fixée dans le cran 1 du manipulateur, la machine fonctionne comme un additionneur.

Pour changer le sens de la marche de la machine, de façon à effectuer les opérations soustractives, on n'a qu'à agir sur le levier I qui peut être à volonté fixé dans l'un ou l'autre de deux crans affectés des signes $+$ et $-$.

Le mécanisme de ce changement de marche, celui aussi des effaceurs, que l'on fait fonctionner au moyen de poignées qui apparaissent à la partie supérieure de la machine, mériteraient une description détaillée qui ne saurait malheureusement trouver sa place ici (1).

---

(1) Depuis que ces lignes ont été écrites, j'ai eu connaissance d'un nouveau modèle que M. Bollée a construit de sa machine. Dans ce modèle se trouvent réalisés des perfectionnements du plus haut intérêt. C'est ainsi qu'un système général d'enclenchement est disposé de façon que la machine refuse non seulement d'opérer un calcul impossible ou faux, mais même de faire toute fausse manœuvre, contre le gré même de l'opérateur. L'avantage de cette disposition n'apparaît pas pour la multiplication, mais il s'affirme d'une manière éclatante pour l'extraction de la racine carrée qui, dans le premier modèle de la machine Bollée, comme dans les machines précédentes, exigeait une attention assez soutenue de la part de l'opéra-

A côté de la machine Bollée, figurait, à l'Exposition de 1889, l'ébauche d'une machine, inventée par M. Huetz, qui présentait une disposition mécanique toute spéciale. Dans cette machine, au lieu d'agir sur des roues dentées, l'opérateur agit sur des parallélogrammes qu'il ouvre plus ou moins, suivant le chiffre par lequel il veut multiplier. Mais cet appareil n'avait pas encore à cette époque, au dire même de son inventeur, atteint son type définitif. J'ignore si, depuis lors, il s'en est rapproché.

LES MACHINES DIFFÉRENTIELLES (BABBAGE, SCHEUTZ, BOLLÉE).

Toutes les machines dont je vous ai entretenus jusqu'ici ne permettent d'effectuer, *à la fois*, qu'une opération portant sur deux nombres. Est-il possible d'imaginer des machines donnant d'un seul coup le résultat de la combinaison d'un certain nombre de ces opérations partielles effectuées sur toute une série de nombres? Pour prendre un des exemples les plus fréquents dans la pratique, supposons que l'on forme les puissances successives d'un certain nombre, qu'on les multiplie par des coefficients donnés et qu'on fasse la somme de tous ces produits partiels, conçoit-on que l'on puisse mécaniquement obtenir en bloc le résultat de cette combinaison d'opérations arithmétiques?

Au premier abord, l'esprit est effrayé par les termes mêmes d'un tel problème et n'ose entrevoir la possibilité de sa solution. Eh bien, cette impression *a priori* est démentie par les faits, et je vais maintenant vous faire connaître une dernière catégorie de machines où le problème est complètement résolu.

Le seul fait d'avoir tenté de réaliser de telles inventions décèle, il faut l'avouer, une singulière audace intellectuelle. On doit faire honneur de cette audace à un savant anglais, Charles Babbage, qui, dès 1838, jetait les bases de cette magnifique découverte.

---

teur, et qui, dans ce nouveau modèle, s'effectue tout à fait *automatiquement*, ce que l'on serait tenté de considérer *a priori* comme à peu près impossible à réaliser.

Babbage imagina successivement plusieurs types de machines. La première d'entre elles reposait sur l'emploi des différences successives d'une fonction algébrique et entière. Mais la plus étonnante est celle dont il fixa le type en dernier lieu; il n'eut malheureusement pas le temps d'en terminer l'exécution avant sa mort, malgré les subsides très considérables que le gouvernement anglais mit à sa disposition et qu'il grossit encore au moyen d'une partie de sa fortune personnelle. Toutes les pièces de la machine ont été fabriquées; c'est leur montage qui est resté inachevé à la mort de l'inventeur: le fils de celui-ci, général dans l'armée anglaise, possède et la partie déjà faite et les pièces restant à monter. Peut-être se trouvera-t-il un jour quelqu'un pour reprendre et mener à terme l'œuvre de Babbage.

Cette machine tient réellement du prodige. Je ne puis songer à en donner ici une description détaillée, mais je tiens à vous indiquer en quelques mots son mode de fonctionnement (1). Vous serez ainsi convaincus que ce n'est pas sans raison qu'on a pu dire qu'elle constituait une véritable manufacture de chiffres.

Elle se compose de deux parties essentielles, appelées par Babbage lui-même, l'une le *magasin*, l'autre le *moulin*. Vous allez voir comment ces noms sont justifiés.

Le *magasin* se compose d'une série de colonnes verticales formées par l'empilement de rondelles portant sur leur tranche une chiffraison de 0 à 9. C'est sur ces colonnes, en alignant les chiffres de chaque nombre sur une même génératrice par la

(1) Cette description a été donnée par le général Menabrea, alors capitaine du génie dans l'armée piémontaise, en 1842, dans la *Bibliothèque Universelle de Genève* (t. XLI, p. 352). Il y a lieu, à ce propos, de mentionner un fait curieux que le général Menabrea porta à la connaissance de l'Académie des Sciences de Paris, lorsqu'en 1884 il entretint la docte compagnie de la machine de Babbage. Son Mémoire avait été traduit en anglais par un anonyme qui y avait ajouté des notes indiquant une remarquable pénétration d'esprit en même temps qu'une pleine intelligence du sujet. Intrigué par cet anonymat, le capitaine Menabrea pria Babbage de lui en dévoiler le secret. Quelle ne fut pas sa surprise lorsque celui-ci lui livra le nom de lady Ada Lovelace, la fille unique de lord Byron? On ne saurait guère imaginer de plus singulier contraste que celui offert par cette fille de poète s'appliquant à l'étude si exacte et si ardue des machines à calculer.

rotation individuelle des diverses rondelles, que l'on inscrit les nombres entrant dans la formule dont il s'agit de calculer le résultat.

Le jeu de la machine a pour effet de venir, en quelque sorte, puiser les nombres inscrits dans le magasin pour les transporter, suivant l'ordre voulu, dans le *moulin* où s'effectue mécaniquement l'opération demandée.

On voit dès lors que, suivant le genre d'opération à effectuer, doit intervenir un dispositif spécial propre à déterminer dans le mécanisme permanent de l'appareil les mouvements voulus. Le dispositif est réalisé tout simplement au moyen d'une feuille de carton ajourée, du genre de celles qui interviennent dans le métier de Jacquart ainsi que dans cet ingénieux appareil appelé mélotrope qui, adapté au clavier d'un piano, permet de faire fonctionner celui-ci mécaniquement ainsi qu'un orgue de Barbarie, en tournant une manivelle.

De même que, dans ce dernier cas, les trous percés dans le carton constituent une notation musicale spéciale, de même, dans la machine de Babbage, ces trous constituent une sorte de notation algébrique, et l'on conçoit que l'on puisse déterminer *a priori* la forme et la disposition de ceux-ci en vue d'une certaine opération à effectuer.

Mais ce n'est pas tout encore, et il semble qu'ici l'imagination s'égare : la machine est combinée de telle sorte qu'elle puisse fournir *tout imprimés*, non seulement le résultat de l'opération effectuée, mais encore l'indication de cette opération écrite au moyen des signes de l'algèbre ordinaire, de façon qu'on soit à même de vérifier qu'on n'a point commis d'inadvertance en *posant* le calcul.

La machine de Babbage, je l'ai déjà dit, est restée inachevée, mais telle qu'elle existe, elle peut, si mes renseignements sont exacts, opérer, suivant le mode que je viens d'indiquer sommairement, sur trois nombres à la fois.

Deux Suédois, MM. Scheutz père et fils, aiguillonnés par l'exemple de Babbage, entreprirent, sans connaître d'ailleurs le mécanisme imaginé par celui-ci, de construire une machine analogue. Leurs efforts, encouragés par le Roi de Suède et par l'Académie des Sciences de Stockholm, furent couronnés

d'un plein succès. Leur machine, qui figurait à l'Exposition universelle de 1855, est devenue, grâce à la libéralité d'un riche négociant américain, la propriété de l'observatoire Dudley, d'Albany, aux États-Unis. Cette machine, qui fonctionne par la simple rotation d'une manivelle, se compose de quatre étages à chacun desquels apparaît la somme des nombres successivement inscrits à l'étage inférieur. Elle peut ainsi opérer sur les différences quatrièmes, et permet conséquemment de calculer les tables d'une fonction donnée par son développement en série, lorsqu'on s'arrête à la quatrième puissance de la variable. Mais cette machine ne se contente pas de calculer: elle stéréotype, c'est-à-dire qu'elle fournit le résultat calculé imprimé en creux dans une lame de plomb. On lui a ainsi, paraît-il, fait calculer et composer des Tables de logarithmes, de sinus et de logarithmes-sinus ! Il y a véritablement là de quoi confondre la pensée!

Et pourtant cette merveilleuse invention ne doit pas mettre un terme à nos étonnements. M. Léon Bollée m'a, en effet, avisé — et ce que je vous ai fait connaître de ses inventions antérieures prouve qu'on peut le croire sur parole — qu'il est en train de mettre la dernière main à une machine procédant, comme celle de Scheutz, par différences successives, mais pouvant opérer sur des différences du vingt-septième ordre!

Aussi, ne puis-je, en terminant cette conférence, faire autrement que de m'approprier cette belle citation empruntée à Bossuet (1) par Édouard Lucas dans une occurrence analogue: « Après six mille ans d'observations, l'esprit humain n'est pas épuisé; il cherche et il trouve encore, afin qu'il connaisse qu'il peut trouver jusques à l'infini, et que la seule paresse peut donner des bornes à ses connaissances et à ses inventions. »

(1) *Traité de la connaissance de Dieu et de soi-même.*