ARITHMOMÈTRE ÉLECTROMÉCANIQUE (1)

La Société d'Encouragement a eu l'heureuse idée de célébrer le centenaire de l'invention du premier arithmomètre pratique, celui de Thomas de Colmar, par une exposition qui a mis en évidence son extraordinaire développement et la grande importance de ses applications industrielles.

MM. d'Ocagne et A.-P. Toulon, dans leurs conférences, qui sont encore dans la mémoire de tous ceux qui m'écoutent, ont exposé avec une grande exactitude (à part la bienveillance, vraiment trop exagérée qu'ils m'ont témoignée) le but, les résultats et les promesses de cette exposition. Je me garderai de rien y ajouter; mais, certaines personnes m'ayant demandé des renseignements sur un appareil de démonstration que j'y ai présenté, j'ai fait préparer les schémas que voici et je tâcherai de vous donner une idée générale de l'appareil, aussi brièvement que possible, pour ne pas trop fatiguer votre attention avec la description minutieuse des mécanismes, ni vos oreilles avec mon français peu euphonique.

Mon but est de mettre en évidence dans cet exemple les procédés de la méthode d'automatisation électromécanique que j'étudie depuis plusieurs années.

Cet arithmomètre n'a aucun rapport avec les machines algébriques, décrites dans une étude publiée par le Recueil des Savants étrangers (2). Une machine algébrique n'est en somme qu'un système mécanique qui peut être défini, comme l'a fait voir Lagrange dans sa Mécanique analytique, en formulant les équations de liaison. Chaque variable de la formule est représentée par le déplacement d'un organe de la machine; les valeurs simultanées de tous ces déplacements — qui peuvent se lire sur des échelles convenablement disposées — doivent satisfaire constamment les équations; il suffira de faire marcher certains d'entre eux, représentant les variables indépendantes, de manière à représenter certaines valeurs particulières, pour calculer toutes les autres variables : pour lire leurs valeurs dans les échelles correspondantes.

⁽¹⁾ Communication en séance publique faite par l'auteur le 26 juin 1920. Voir le compte rendu de cette séance dans le présent numéro, p. 652.

⁽²⁾ Machines à calculer, par L. Torres (Mémoires présentés par divers savants étrangers à l'Académie des Sciences de l'Institut de France, 2° série, t. XXXII, n° 9, 20 p., 5 pl. hors texte).

Les liaisons sont invariables, et les mouvements toujours continus.

Dans une machine arithmétique, c'est précisément le contraire qui arrive : elle est destinée à faire des opérations avec des nombres; les liaisons varient à chaque moment et ses mouvements sont saccadés; ce sont les mouvements des cliquets qui poussent les dents une à une.

L'étude de la machine algébrique appartient à la cinématique, telle qu'elle a été définie par Ampère.

L'étude de la machine arithmétique n'a pas de place marquée; elle devrait appartenir à un chapitre nouveau de la science des machines, qui pourrait s'appeler l'automatique et qui étudierait la manière d'automatiser les mouvements mécaniques.

C'est là, à vrai dire, un problème très étudié; mais on s'occupe plus volontiers d'utiliser les résultats obtenus, que de les grouper de manière à former un corps de doctrine. Je ne sais pas s'il me sera donné de le faire un jour; en attendant, je ferai preuve de bonne volonté, en présentant, pour entamer la question, des solutions susceptibles d'être généralisées.

On voit souvent, dans une usine, un ouvrier chargé de plusieurs appareils, qui observe leurs mouvements et qui, à un moment donné, intervient, pour changer brusquement les liaisons existantes par la manœuvre d'un levier d'embrayage, d'une soupape, ou de tout autre mécanisme analogue. On arrive parfois à supprimer l'ouvrier, en faisant que les machines produisent automatiquement le mouvement voulu, au moment où il doit se produire.

Pour y arriver, il faut que la machine se substitue à l'homme, qu'elle observe et agisse à sa place.

On pense généralement — ai-je dit ailleurs — (1) que c'est seulement dans les cas très simples qu'on pourra arriver à ce résultat; on croit qu'il est possible d'automatiser les opérations mécaniques, purement manuelles d'un ouvrier, et que, au contraire, celles qui exigent l'intervention des facultés mentales ne pourront jamais être exécutées mécaniquement.

« Cette distinction n'a aucune valeur car, en laissant de côté le cas des mouvements réflexes, dont je n'ai pas à m'occuper ici, les facultés mentales interviennent dans toutes les actions humaines. »

Je donnais dans cette note, que je viens de citer, la démonstration théorique de ce fait, qu'il est toujours possible de construire un automate, dont tous les actes dépendront de certaines circonstances plus ou moins nombreuses, et qui obéisse à des règles qu'on peut lui imposer arbitrairement au moment de sa construction.

⁽¹⁾ Essais sur l'automatique. Sa définition. Étendue théorique de ses applications, par M. LEONARDO TORRES y QUEVEDO (Revue Générale des Sciences, 15 novembre 1915, p. 601-611, 1 pl.).

Et c'est pour démontrer expérimentalement cette possibilité, que j'ai construit l'arithmomètre, comme j'avais construit auparavant le joueur d'échecs, qu'on a pu voir au Laboratoire de Mécanique de la Sorbonne en 1914 (1).

Les actes de cet automate dépendent de circonstances plus ou moins nombreuses (c'est-à-dire des touches tapées par le calculateur) et il obéit aux règles qui lui ont été imposées arbitrairement au moment de la construction, puisqu'il fait l'opération voulue et inscrit les résultats.

* * *

Mon appareil (fig. 17, p. 626) se compose d'une machine à écrire et de plusieurs mécanismes qui constituent un arithmomètre analogue, quant à ses principes, à l'arithmomètre Thomas de Colmar avec, en plus, des mécanismes automatisateurs nouveaux.

Pour utiliser cet ensemble, le calculateur écrit, en frappant sur la machine, comme à l'ordinaire, l'énoncé de l'opération qu'il veut faire exécuter. Ainsi, s'il veut multiplier 532 par 257, il appuie successivement sur les touches des chiffres 5, 3, 2, sur la barre du blanc, sur la touche du signe de la multiplication, de nouveau sur la barre du blanc, enfin les touches des chiffres 2, 5, 7; la machine écrit ainsi l'énoncé 532×257 .

Alors l'opérateur a terminé: il ne lui reste plus rien à faire. La machine se met en mouvement, et fait toute seule, sans que le calculateur ait à penser à elle, tout le calcul. Lorsque le calcul est fini, l'arithmomètre commande la machine à écrire, qui imprime à la suite des données, écrites par le calculateur, le signe d'égalité et le résultat de l'opération. Finalement, la machine à écrire a avancé d'un pas et son curseur est ramené à gauche, pour être prête à écrire et à exécuter une nouvelle opération.

L'arithmomètre et la machine sont liés l'une à l'autre par une ligne électrique d'un nombre considérable de conducteurs; mais il n'y a entre eux aucune autre connexion; on pourrait, en mettant une ligne suffisamment longue, placer la machine dans une chambre et l'arithmomètre dans une autre.

Il y a, sous la machine, un commutateur à trois positions :

Une pour couper le courant. L'arithmomètre est alors au repos; il ne peut recevoir aucun signal de la machine à écrire, et celle-ci peut servir, comme à l'ordinaire, à écrire quoi que ce soit;

⁽¹⁾ Voir sa description dans La Nature du 13 juin 1914, p. 56 à 61 : Les automates : Le joueur d'échecs automatique de M. Torres y Quevedo, par H. VIGNERON.

Une autre établit les connexions nécessaires pour que l'appareil fonctionne comme totalisateur. On peut alors écrire une colonne d'un nombre quelconque de quantités, de cinq chiffres chacune, dont on veut avoir le total. Il faut attendre chaque fois que la quantité écrite ait été incorporée au totalisateur, fait dont on est prévenu parce que l'automate ramène à zéro le courseur de la machine à écrire et allume une lampe. Finalement, on frappe sur la touche de la lettre T, pour avoir le total;

Une troisième position du commutateur établit les connexions électriques nécessaires pour transformer cet ensemble de mécanismes en un arithmomètre.

On voit que mon appareil, s'il est fondé sur les mêmes principes que celui de Thomas de Colmar, en diffère tout à fait dans son fonctionnement. Dans le premier, le calculateur est forcé de s'occuper tout le temps de l'appareil, soit en faisant tourner la manivelle pour ajouter le multiplicande au totalisateur ou pour en retrancher le diviseur, soit en faisant avancer le chariot d'un pas, soit en le ramenant à zéro, quand l'opération est terminée.

Dans le mien, tous ces mouvements sont automatiques, et c'est de la manière de les automatiser que j'ai à vous parler aujourd'hui. Mais, pour ne pas abuser de votre temps je limiterai mes explications autant qu'il est possible. L'inscription des données; la manière d'établir les connexions, qui correspondent à chacune des opérations; le calcul des unités retenues; le retour à zéro et beaucoup d'autres parties des arithmomètres sont certes très intéressantes; mais, somme toute, elles vous sont parfaitement connues et les modifications que j'y ai apportées n'ont pas, il me semble, un réel intérêt, au point de vue pratique.

La manière de faire la division est ce qu'il y a de plus caractéristique dans ma machine. Elle compare automatiquement le diviseur au reste et puis, si le diviseur est plus petit, elle le retranche du dividende et, dans le cas contraire, elle le divise par 10, en déplaçant d'un pas le chariot vers la droite.

J'exposerai dans le détail, quoique seulement d'un point de vue théorique, la manière de faire cette opération, et j'espère que sa description sera suffisante pour vous faire comprendre les principes de ma méthode et pour vous montrer la généralité dont elle est susceptible.

* *

Je suppose donc qu'on ait construit une machine à calculer dans le genre de l'arithmomètre Thomas qui peut diviser un nombre de cinq chiffres par un autre qui n'en ait que trois. Le nombre des chissres n'a aucune importance particulière. Il a été limité dans la machine d'essai que vous avez pu voir à l'exposition pour simplifier sa construction; mais nous allons voir tantôt que le procédé est tout à fait général.

Cette machine comportera (fig. 1):

- 1° Cinq disques D_1 , D_2 , D_3 , D_4 , D_5 , pour représenter le dividende qui vaut actuellement 94 617;
- 2° Trois manivelles M_1 , M_2 , M_3 , pour représenter le diviseur qui est égal à 208. Ces manivelles sont montées sur un chariot C qui peut avoir trois positions; dans la première (celle du dessin) les trois manivelles correspondent avec les trois disques D_1 , D_2 , D_3 , dans la seconde avec D_2 , D_3 , D_4 , et dans la troisième avec D_3 , D_4 , D_5 ;
- 3° Les trois aiguilles Q_1 , Q_2 , Q_3 , destinées à représenter le quotient, qui seront toutes trois à zéro au moment de commencer l'opération;
- 4° Une manivelle S qui, à chaque tour, retranche le diviseur de la quantité formée par les chiffres *correspondants* du dividende et fait avancer d'un pas une des aiguilles : Q_1 , dans la première position du chariot, Q_2 , dans la seconde, et Q_1 , dans la troisième;

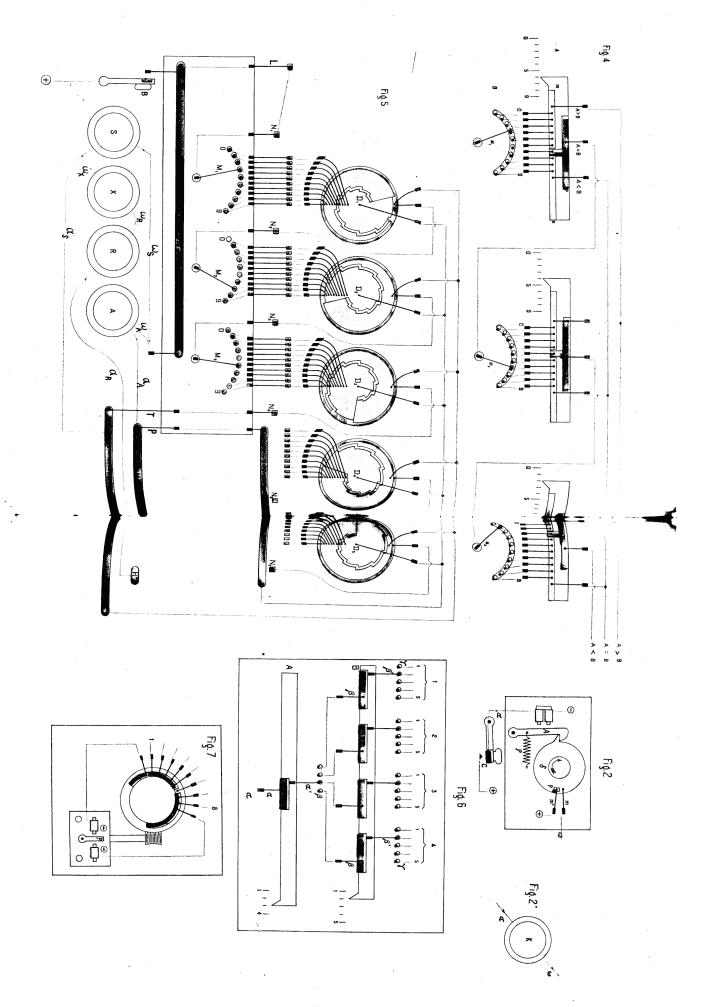
Je suppose qu'il y ait encore deux autres manivelles :

- 5° La manivelle A, qui, à chaque tour, fait avancer le chariot d'un pas à droite;
 - 6° La manivelle R, qui ramène tout à zéro.

Dans les arithmomètres ordinaires, ces manivelles n'existent pas, parce que les constructeurs croient, et je pense qu'ils ont raison de croire, qu'il est inutile de compliquer plus ou moins leurs appareils pour n'obtenir aucun avantage pratique, vu qu'il est presque aussi facile à celui qui emploie la machine de faire les mouvements nécessaires pour réaliser une de ces opérations que de faire faire un tour à une manivelle.

Mais, en automatique, il en va autrement. Toutes les opérations à réaliser doivent être prévues et préparées d'avance de manière qu'elles soient très faciles à déclencher. Dans la méthode électromécanique, on les déclenche à l'ordinaire par des commandes électriques et il est très facile de déclencher par ce procédé le mouvement d'une manivelle qui doit, de temps en temps, faire un tour complet.

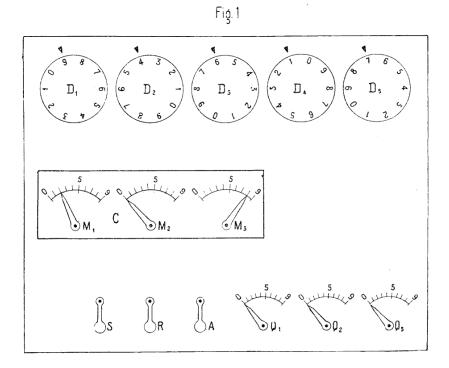
La figure 2 (planche) représente un disque à monté, à frottement doux, sur un arbre qui tourne dans le sens de la flèche. Le disque est ordinairement retenu par le cliquet A mais, si on établit momentanément le contact électrique au point C, le courant qui parcourra le conducteur α mettra en activité l'électro-aimant, qui attirera le cliquet et laissera partir le disque. Un moment après, dès que le contact en C sera rompu, le cliquet, par l'action



du ressort P, viendra s'appuyer sur le disque; mais il ne pourra s'y accrocher tant que le disque ne sera pas revenu à la position du dessin.

Il est à remarquer qu'un moment avant de s'arrêter, le plot P aura touché un moment les deux balais m, m' et produit ainsi un courant momentané ω dont nous verrons bientôt l'utilité.

Ce dispositif sera représenté d'une façon plus schématique par la figure 2'



dans laquelle on suppose un disque K faisant un tour chaque fois qu'on lui envoie le courant par α et qui, à la fin du tour, envoie un courant par ω .

Nous pouvons donc admettre que ce dispositif est appliqué à chacun des leviers A, S, R, de notre machine et que, pour faire faire un tour à chacun d'eux, il suffit d'appuyer sur l'un des boutons a, s, r.

Le travail du calculateur se trouvera ainsi simplifié. Il comparera le diviseur à la quantité formée par les trois premiers chiffres du dividende, s'il est plus petit, le calculateur appuyera sur le bouton s pour retrancher le diviseur du dividende et faire avancer d'un pas l'aiguille Q_i ; il comparera de nouveau et tant que le reste sera plus grand que le diviseur, il appuyera sur le bouton S, faisant ainsi avancer l'aiguille Q_i d'un nombre de pas égal au nombre d'unités du premier chiffre du quotient.

Au moment où il verra que le reste est plus petit que le diviseur, il appuiera sur le bouton A pour déplacer le chariot d'un pas, et il comparera de nouveau.

En somme, le calculateur sait qu'il doit : retrancher le diviseur (agir sur la manivelle S) s'il est plus petit que le reste; déplacer le chariot (agir sur la manivelle A) s'il est plus grand et il comparera les deux nombres après chaque opération pour décider quelle doit être l'opération suivante.

Quand l'opération est finie, il appuie sur le bouton r pour revenir à zéro. Son travail mécanique est insignifiant; mais il n'en reste pas moins le directeur et l'esclave de sa machine. Il doit être près d'elle constamment, observer ce qui se passe et décider l'opération à faire à chaque moment. Il faut, pour le libérer, que la machine compare et décide; nous allons voir comment elle peut réaliser ces opérations.

Il faut, en somme, que l'automate sache comparer deux quantités de plusieurs chiffres et cette opération n'a pas été encore réalisée (1). Elle n'était pourtant pas bien compliquée; le schème de la figure 4 indique en principe une solution de ce problème.

On y a représenté deux quantités de trois chiffres chacune :

la première A, égale à 642, par la position des trois règles qui peuvent glisser horizontalement;

la seconde B, égale à 361, par la position des trois balais, qui peuvent tourner.

Chaque règle porte trois pièces métalliques conjuguées avec un groupe de dix balais.

On a ainsi trois appareils dont chacun compare les deux chiffres d'un ordre déterminé : centaines, dizaines, unités.

Pour comparer, il suffit d'envoyer un courant au balai M_i . Dans notre cas, les deux chiffres des centaines n'étant pas égaux, le premier appareil fait tout seul la comparaison, le courant passe de M_i par le plot m au conducteur

⁽¹⁾ Il y a, à vrai dire, la très ingénieuse machine Madas, qui évite tout travail au calculateur, fequel se limite à faire tourner une manivelle. La machine retranche le diviseur du dividende jusqu'à ce que ce dernier devienne plus petit que zéro; au moment où cela arrive, elle change automatiquement les connexions, de façon que, pendant le prochain tour de manivelle, on ajoute au dividende le diviseur, qui avait été retranché une fois de trop, et ensuite on avance d'un pas le chariot. Ce procédé, qui avait été trouvé par Babbage, a été appliqué dans la Madas d'une laçon très pratique, mais il est évident qu'au point de vue purement théorique où je me suis placé, le problème qui consiste à comparer deux quantités de plusieurs chiffres est beaucoup plus général que celui de déterminer le passage par zéro d'une quantité.

A > B. Mais, si ces deux chiffres étaient égaux, si le chiffre des centaines de B était un 6, le balai M_1 serait déplacé trois pas vers la droite et le courant passerait par le balai A = B au balai M_2 .

Il en résulte que si les deux chiffres des dizaines ne sont pas égaux, la comparaison est faite et le courant passe, comme dans le cas antérieur du balai M_4 , à l'un des conducteurs A > B, A < B.

Si les deux chiffres des dizaines sont égaux, le courant passe au balai M_3 et de là, à l'un des trois conducteurs A > B, A = B, A < B.

Le procédé est tout à fait général; il pourrait être appliqué à n'importe quel nombre de chiffres.

Dans mon arithmomètre, il m'a fallu modifier cette solution, parce que chaque chiffre du dividende n'est pas représenté par une règle à course limitée, mais par un disque qui tourne indéfiniment.

Aussi, a-t-on modifié les trois pièces de contact. La barre P de la règle m est devenue un cercle (fig. 5) qui porte à l'intérieur, au lieu de la dent de la figure antérieure, une pièce échelonnée en forme de spirale d'Archimède. m et n sont deux pièces séparées, l'une à l'intérieur et l'autre à l'extérieur de la spirale. Les dix balais conjugués avec ces pièces ont été déformés de manière à faire que leurs dix têtes soient appuyées sur un même rayon du disque (1).

Mais la figure fait voir clairement que la communication entre le balai M_t et chacun des conducteurs A > B; A = B; A < B s'établit toujours dans les mêmes conditions expliquées à propos de la figure 4.

Il n'y a plus de difficulté à décrire la marche de l'automate.

Supposons que, sur les cinq arbres destinés à représenter le dividende, faisant corps avec eux, nous placions les cinq disques D_4 , D_2 , D_3 , D_4 , D_5 , qui doivent servir à faire les comparaisons et sur les trois arbres du chariot C les balais M_4 , M_2 , M_3 . Pour inscrire les données, on déplacera les disques et les balais de façon à représenter par les cinq premiers le dividende et par les trois derniers le diviseur.

Il y a, en outre, dans le schéma, quatre opérateurs représentés : S qui

(1) Correction de la figure 5 (planche en couleurs). — Il s'est glissé, dans cette figure, une erreur qu'on n'a pas eu le temps de corriger.

dans cette figure, une erreur qu'on n'a pas eu le temps de corriger. Le rayon des cinq disques D_1 , D_2 , D_3 , D_4 , D_5 , doit être un peu augmenté et les deux balais E, F retirés d'autant vers le haut, comme le montre la figure ci-jointe, qui indique la correction à faire dans le disque D_1 . Alors, au moment de faire la comparaison, le balai E sera toujours en contact avec la pièce I, ce qui est absolument nécessaire pour que la comparaison soit faite correctement.



retranche le diviseur du dividende; A qui fait avancer le chariot d'un pas; R qui ramène tout à zéro; et X qui inscrit les résultats.

Les choses étant ainsi préparées, il suffit, pour que l'opération se réalise, d'établir un contact bref en B.

Le courant passe de B par les balais L et N_1 à M_1 et fait la comparaison. Si le diviseur est plus petit que le dividende, le courant arrive par le conducteur A>B au plot K. Si le diviseur est égal au dividende, le courant arrive également au plot K, mais alors il passe par les balais N_4 et T. En tout cas, il passe de K à l'opérateur S, qu'il déclenche; la manivelle se met en mouvement, retranche le diviseur du dividende, fait faire un pas à l'aiguille Q_1 (fig. 4) et, en terminant son tour, provoque le courant ω_s qui va directement au plot F pour recommencer la même opération, qui se répétera autant de fois que la soustraction sera possible.

Quand elle ne le sera plus, nous aurons déjà inscrit en Q_i le premier chiffre du quotient, et alors comme résultat de la comparaison, le courant qui part de M_i passe par les plots G et H à l'opérateur A, qui déplace le chariot, pour en calculer le second, et provoque, en terminant, le courant ω_A .

Le chariot s'est ainsi avancé d'un pas, dont la longueur est égale à la distance entre les centres de deux disques consécutifs. Les balais M_1 , M_2 , M_3 , seront maintenant en rapport avec les disques D_2 , D_3 , D_4 ; L viendra remplacer le balai zéro de M_1 ; et chacun des balais N_i remplacera le balai N_{i+1} placé à sa droite.

Dans cette position du chariot, le courant qui part de ω_{A} commande une comparaison, mais il faut remarquer que la tête du balai L sera alors en contact avec le conducteur zéro du groupe des balais conjugués avec le disque D_{A} . La comparaison va se faire maintenant entre le diviseur qui a trois chiffres et les quatre premiers chiffres du reste, représentés dans les quatre premiers disques, et, pour qu'il soit possible à l'automate de la réaliser correctement, par le procédé indiqué tantôt, nous écrivons un zéro à gauche de ses trois chiffres significatifs.

Si le diviseur est plus petit que le dividende, l'opérateur S l'en retranchera et fera faire un pas à Q_2 et, dans le cas contraire, l'opérateur Λ fera avancer d'un pas le chariot.

Lorsque ce déplacement se produira, l'automate continuera son calcul pour obtenir le troisième chiffre du quotient, mais, quand il aura fini, il ne pourra plus déplacer le chariot vers la droite; aussi, dans cette position du chariot C, le balai P entre en contact non plus avec H, mais avec H' et va de là à l'opérateur R qui, la division terminée, ramène le chariot à zéro et envoie un courant qui déclenche X chargé d'inscrire les résultats.

L'opération est tout à fait finie et remarquons qu'il n'y a aucun temps

perdu dans la comparaison. Celle-ci est, au contraire, une opération instantanée; en faisant faire un tour à une manivelle, quelle que soit l'opération exécutée, elle se traduit par un déplacement des commutateurs. Ceux-ci se trouvent donc à leur place au moment où se produit le courant ω qui va directement à l'appareil qui doit commander l'opération suivante.

. * .

En somme, cet automate agit comme une personne circonspecte et réfléchie : il examine les circonstances où il se trouve pour décider ce qu'il doit faire, et il le fait.

Les circonstances à considérer, c'est-à-dire les valeurs du reste et du diviseur et la position de ce dernier, sont représentées dans la machine par la position de certaines pièces que nous avons munies de balais et de plots convenablement disposés. L'automate, à la fin de chaque opération, provoque un courant ω , qui passe par ces différentes pièces, suit un chemin déterminé par leur position et aboutit à l'opérateur qui doit réaliser l'opération suivante. Celle-ci est donc déterminée par la position des pièces, c'est-à-dire par les circonstances à considérer.

Ces mêmes principes pourraient être appliqués à d'autres machines à calculer et même à des machines industrielles. Permettez-moi d'ajouter deux mots à ce sujet quand même je devrais répéter ce que j'ai dit ailleurs (1).

J'ai parlé en commençant d'un ouvrier qui dirige dans une usine la marche de certains appareils au moyen de leviers de manœuvre et qu'on parvient parfois à supprimer, en automatisant son travail.

Pour supprimer cet ouvrier, pour automatiser son travail, il faudra:

- 1° Déterminer automatiquement quand et comment une intervention doit se produire;
 - 2° Commander automatiquement les leviers de manœuvre.

Ce problème est beaucoup plus difficile, parce que, d'ordinaire, les circonstances dont l'ouvrier doit tenir compte, de même que les positions des leviers, varient d'une façon continue, suivant des lois que — pour rendre possible l'automatisation — nous supposerons parfaitement connues.

Nous arrivons ainsi à considérer un système mécanique ordinaire.

Le gouvernail horizontal d'une torpille sous-marine est manœuvré par un système mécanique, qui lie trois mobiles : le couvercle d'une chambre à air dont la position dépend de la profondeur de la torpille; un pendule qui mesure son inclinaison; et le gouvernail lui-même.

⁽¹⁾ Essais sur l'automatique. Sa définition. Étendue théorique de ses applications, par M. Leonardo Torres y Quevedo (Revue Générale des Sciences, 15 novembre 1915, p. 681-611, 1 pl.).

C'est là une solution purement cinématique appliquée à des variables continues.

Pour avoir une solution automatique, il faudra transformer ces variables continues en quantités discontinues; admettre que chaque circonstance, et de même chaque position de la manivelle, a un nombre fini (1) de valeurs, ce qui, en théorie, peut toujours se faire. Je citerai comme exemple un canot que j'ai eu l'occasion de faire marcher avec le télékine à Bilbao, il y a quatorze ans : son gouvernail était manœuvré au moyen de sept commandes et le moteur au moyen de cinq seulement, pourtant il évoluait passablement.

Je supposerai donc que cette transformation a été faite pour rendre abordable l'étude de ce problème à la méthode électro-mécanique que j'étudie ici.

Les circonstances dont la machine devra tenir compte ne dépendront plus seulement de son travail. Il lui faudra se préoccuper aussi de certaines circonstances extérieures, la température, l'humidité..., de certains faits qui ont pu avoir lieu, ou de certaines opérations qui ont pu être exécutées par la machine elle-même. Mais toutes ces choses sont observées par l'ouvrier qu'il s'agit de supprimer, il sera donc toujours possible — en pure théorie — de munir l'automate d'appareils capables de les enregistrer.

L'automate disposera donc pour déterminer ses actes, de plusieurs appareils enregistreurs et nous admettons, pour simplifier la question, que chacun d'eux donne ses indications en déplaçant une règle telle que A ou B (fig. 6) qui peut prendre plusieurs positions.

L'automate, pour décider ce qu'il doit faire, provoquera, au moment voulu, un courant dans le conducteur α qui passera au balai α' et, de là, au conducteur 3,2 situé à la partie supérieure, parce que, dans notre figure, A est à la troisième position et B à la seconde; en déplaçant ces deux règles, on fera passer le courant de α à n'importe lequel des conducteurs γ dont le nombre est égal à 4×5 , 4 et 5 étant respectivement, comme cela est indiqué sur le dessin, le nombre des positions possibles de chacune des règles. On pourra évidemment, sauf à compliquer la construction, augmenter tant qu'on voudra le nombre de règles et celui des cas possibles pour chacune d'elles.

Nous avons admis que le travail de l'automate se réduira à la manœuvre de certains leviers; mais, chacun de ceux-ci peut occuper plusieurs positions. Il ne s'agit donc pas ici d'une opération toujours identique, comme dans le cas de la machine où la manivelle faisait toujours un tour complet, et la commande ne peut plus être faite toujours par le même conducteur : il en faudra un pour chaque position que peut prendre le levier.

⁽¹⁾ Aussi grand qu'on voudra, mais fini parce qu'on devra le représenter réellement dans la machine.

On arrivera à faire facilement cette manœuvre au moyen d'un appareil analogue à celui de la figure 7. On y voit un disque qui porte deux pièces métalliques A, A' conjuguées avec les huit balais qu'on voit tout autour et qui sont chargés d'apporter les ordres de manœuvre; et un moteur électrique — avec son contrôleur P, placé entre deux électro-aimants — dont l'arbre porte à son extrémité une vis sans fin, qui engrène avec le disque.

Quand le contrôleur est dans la position du dessin — à laquelle il revient, par l'action d'un ressort quand il n'est sollicité par aucun électro-aimant — le moteur est en repos; lorsqu'il est attiré par l'électro-aimant de droite, il tourne de façon à entraîner le disque dans le sens des aiguilles d'une montre; quand il est attiré vers la gauche, le moteur et le disque tourneront en sens contraire. On comprend dès lors que, si le courant arrive par un des sept balais qui sont en contact avec A où A', il passera à l'un des électro-aimants et fera tourner le disque de façon à rapprocher de lui le petit espace libre qui est laissé entre les deux plots. Quand cet espace sera sous le balai, le courant sera interrompu, le contrôleur P reviendra à sa position normale et le moteur s'arrêtera.

En somme, l'automate peut tenir compte de toutes les circonstances qu'on voudra pour décider la manœuvre à faire et peut avoir aussi les moyens de manœuvrer les leviers de commande. Je me crois donc fondé à dire que nous pouvons automatiser une opération mécanique quelconque.

Il ne s'agit, bien entendu, que d'une possibilité purement théorique; mais, à part l'intérêt que peut présenter cette vérité en elle-même, elle peut être utile — je parle ici par expérience — pour encourager les mécaniciens qui cherchent à résoudre un problème compliqué d'automatique.

L. Torres y Quevedo,

Membre de l'Académie royale des Sciences de Madrid,

Membre correspondant de l'Institut de France.