

UN POINT DE VUE NOUVEAU  
DANS L'ÉTUDE DE LA MACHINE  
L'ANALYSE MÉCANIQUE

Les machines semblent, jusqu'à présent, n'avoir guère retenu l'attention que du point de vue technique et du point de vue social : la description des machines et des organes qui les constituent, la manière de les conduire et de les construire, et, pour quelques types, en particulier les machines thermiques et les machines-outils, la théorie de leur fonctionnement, tels sont les objets dont s'occupe généralement l'ingénieur ; le sociologue trouve matière à réflexion dans l'accroissement du nombre et de la diversité des machines, dans l'extension progressive de leur domaine d'emploi, et dans les répercussions, sur les relations des hommes entre eux, du développement de ce que l'on désigne généralement du terme de *machinisme* sans que le mot ait jamais été défini, semble-t-il, de façon précise.

Ces deux ordres de considérations n'épuisent pas l'étude des machines. Mais ils mettent en évidence que l'ensemble des machines peut être considéré comme un genre d'objets nettement défini, et de grande importance — que l'on peut appeler la *machine*, de même que l'on dit : l'homme, l'oiseau, ou même, déjà, l'automobile, l'avion. La machine, en tant que genre, se prête à une étude scientifique, c'est-à-dire une étude guidée par le souci d'établir une classification rationnelle des espèces et des individus qui composent ce genre, de dégager les

— / (10)

caractères morphologiques de chacune de ces espèces ou de ces individus, les raisons de ces caractères ainsi que les lois de leur évolution et — comme il apparaît dès que l'on s'engage dans une telle étude — de rechercher les relations des objets de ce genre avec ceux, de genre différent, que l'homme trouve autour de lui, et même avec sa propre manière d'être. Nous avons proposé d'appeler cette étude *l'analyse mécanique* : on peut, sans attendre qu'elle ait acquis une forme définitive, en préciser certains traits, énoncer quelques-uns des problèmes qui se posent à elle, et en exposer les premiers résultats.

••

Il est assez curieux de constater — comme on doit le faire tout d'abord — que savants et techniciens, qui ont concouru, surtout au cours du siècle dernier, à l'invention et au perfectionnement de machines de toute nature, ont toujours donné du genre qu'elles constituaient une définition trop étroite, lorsqu'ils ont voulu en faire une étude d'ensemble. Tous affirment, sous une forme et avec une terminologie en harmonie avec les conceptions scientifiques de leur époque, ce que Reuleaux énonce avec le plus de netteté : « Une machine est un assemblage de corps résistants, disposés de manière à obliger les forces mécaniques naturelles à agir en donnant lieu à des mouvements déterminés. » L'esprit de cette définition, ~~peut être le même~~ <sup>est le même</sup> ~~autour~~ <sup>autour</sup> ~~qui le détermine~~ <sup>qui le détermine</sup> ~~avec une exacte~~ <sup>avec une exacte</sup> ~~liberté~~ <sup>liberté</sup> ; « La science des machines, dit-il, doit être fondée sur la déduction. » Les termes primitifs d'où cette science doit être déduite, la mécanique rationnelle a charge de les fournir. C'est donc avec une idée préconçue qu'est abordée par les savants l'étude des machines ; cette idée, quelque peu métaphysique, est d'ailleurs celle qui domine la physique tout entière et que maint philosophe a érigée en une loi de la pensée scientifique : un fait d'observation n'est vraiment expliqué que s'il est inséré dans un schéma

*le laine*  
*entendre*  
*sans nulle*  
*maintenir*

mécanique, ou tout au moins spatial ; comment dès lors n'aurait-on pas considéré que les théories de la mécanique devaient donner de la machine une explication parfaite ?

Les Encyclopédistes ~~se~~ <sup>avaient</sup> une conception assez différente ~~de~~ <sup>de la</sup> machine ~~et~~ <sup>était</sup> pour eux / (article *« Elle »* <sup>All</sup> machine) : « ce qui sert à régler les forces mouvantes de quelque instrument destiné à produire du mouvement, de façon à épargner ou du temps dans l'exécution de son effet, ou de la force dans la cause ». Le rôle social de la machine est compris dans cette définition, et l'énumération des avantages des diverses machines décrites dans la suite de l'article ne laisse aucun doute à ce sujet. Pouvoir d'exécuter des travaux impossibles à la main, augmentation du rendement, réduction des frais de fabrication, ces grandes rubriques sous lesquelles on classe de nos jours les avantages que procure la machine figurent déjà dans l'*Encyclopédie*.

Néanmoins la définition précédente est encore trop étroite, et l'Académie l'a comprise, qui, dans son dictionnaire, ajoute à la définition de l'*Encyclopédie* : « Machine <sup>c/</sup> se dit aussi de tout assemblage de ressorts dont les mouvements et les effets se terminent à la machine elle-même » ; les automates sont cités à l'appui de cette définition. C'est ce sens du mot machine qui, de nos jours, tend à l'emporter : M. Luc Durtain, exprimant une pensée qui tend à devenir courante, entretenait tout récemment les lecteurs de cette revue des « Machines à connaître », c'est-à-dire des instruments de toute sorte grâce auxquels l'homme accroît l'acuité de ses sens, ou supplée à leur insuffisance ; et dans l'esprit de bien des gens la machine, de tout temps, a été un engin qui se substitue à l'homme ; voilà les sources d'une exacte et complète définition. ~~C'est~~ <sup>est</sup> dans l'observation empirique <sup>c/</sup> que cette dernière trouve ses fondements. Et, point important qui explique l'insuffisance des définitions ten-

4

tées jusqu'à présent, pour bien comprendre la machine, il faut adopter une attitude résolument finaliste : la machine est créée par l'homme en vue d'un but déterminé ; sa structure, son rôle, ses effets sont conséquences de ce but. Aussi, admettant pour le mot *opération* le sens le plus large, avons-nous proposé la définition que voici :

*Une machine est un ensemble d'êtres inanimés ou même, exceptionnellement, animés, capable de remplacer l'homme dans l'exécution d'un ensemble d'opérations proposées par l'homme lui-même.*

Cette définition est complétée par les deux suivantes :  
*Est appelée fonction mécanique, toute opération que peut exécuter une machine ou un organe de machine.*

*Sont dites de la même classe, toutes les machines conçues en vue d'un même but.*

\*\*\*

En conséquence d'une définition de la machine qui en exprime l'essence même, les énoncés des problèmes fondamentaux de l'analyse mécanique se présentent naturellement.

Il ressort de cette définition que c'est classe par classe que doit être entreprise une étude complète des machines.

On peut se proposer ainsi, tout d'abord, de rechercher : d'un part, quelles fonctions mécaniques possèdent les machines d'une même classe, et d'autre part, quels organes ont été imaginés pour remplir ces fonctions. Dans la monographie ainsi établie, l'utilisateur et le constructeur trouveront une comparaison et une classification détaillée des machines d'une classe donnée, en évitant les moyens dont est pourvu chaque type de machines et la manière plus ou moins parfaite dont ces machines atteignent le but qui leur a été assigné. Le rapprochement des monographies des diverses classes de machines fera apparaître ensuite des fonctions communes

5 21

à plusieurs classes/ et conduira à des considérations d'ensemble au sujet des fonctions mécaniques : par exemple, on peut prévoir des similitudes marquées entre les réalisations, dans les diverses classes, des fonctions concernant les rapports entre une machine et l'homme qui la conduit, par suite de la faible variabilité des caractéristiques métriques, mécaniques, physiologiques et psychologiques de l'homme lui-même. L'ensemble des recherches de cette nature, que nous avons appelé *l'analyse mécanique descriptive*, constituera en quelque sorte une anatomie et une physiologie comparées (1) des machines construites jusqu'à présent.

On peut se proposer encore, étant donné l'un des buts, bien déterminé, de l'activité humaine, de chercher s'il existe un ensemble de fonctions mécaniques, et lesquelles, dont la réalisation matérielle constituerait une machine capable d'atteindre ce but. Une telle étude étant, logiquement, préalable à la construction d'une machine, peut être appelée *analyse mécanique préfactive*. C'est dans cette étude qu'intervient la mécanique proprement dite, et de façon souvent prépondérante.

L'analyse mécanique peut conduire à des résultats tout à fait inattendus. C'est ainsi que l'analyse descriptive des machines à calculer montre que, parmi ces dernières, celles qui appliquent le plus strictement les règles d'opérations que suit l'esprit humain dans le calcul à la main sont aussi les moins avantageuses du point de vue de la construction mécanique : cette remarque, guidant une analyse préfactive approfondie des calculs savants, permet de mettre en évidence les raisons pour lesquelles les machines construites jusqu'à présent n'ont pu apporter à ces calculs qu'un secours très limité, et d'imaginer des mécanismes calculateurs capables d'exécuter auto-

(1) Le terme d'anatomie comparée des machines d'une classe a été proposé par M. M. d'Ossagnin, en 1893, et le terme de physiologie par Kosnig en 1906.



6  
matiquement, non plus seulement une opération/mais tous les calculs d'un même problème. Mais le véritable intérêt de cette remarque réside dans sa généralité, qui paraît absolue : les règles de l'exécution théorique d'un travail et la structure des machines destinées à l'exécuter ne sont pas indépendantes, et, par suite, on ne peut pas, sans préjudice, remplacer un matériel, même par un meilleur, sans changer en même temps les méthodes de travail elles-mêmes. L'analyse mécanique rejoint ici l'économie sociale. Que l'on n'en soit pas surpris ! C'est dans un domaine plus abstrait encore qu'elle peut et doit conduire le chercheur.

\* \*

Puisque la machine est faite pour remplacer l'homme, il est du domaine de l'analyse mécanique d'acquiescer une vue d'ensemble des diverses activités <sup>de</sup> l'homme a été ou pourra être remplacé par la machine, et d'établir ~~des~~ lois de cette substitution. Cette étude peut être appelée *l'analyse mécanique abstraite*.

De cette partie de l'analyse mécanique relève l'histoire de la machine. Plus particulièrement, l'histoire des inventions, conduite avec le souci d'analyser les conditions dans lesquelles ces dernières se sont produites et de retrouver les démarches de l'esprit des inventeurs, pourra donner une vue objective, scientifique, de certains modes de l'activité mentale.

Mais la recherche des fonctions mécaniques conduit à des résultats de tout autre nature, assez inattendus.

Il paraît inévitable d'admettre que l'exécution d'un ensemble d'opérations au moyen d'une machine et sans intervention de l'homme n'exige pas non plus l'intervention de l'intelligence ; dès lors, on doit admettre aussi que l'exécution par l'homme de ce même ensemble d'opérations *n'exige pas* davantage l'intervention de l'intelligence, ou, du moins, doit-on distinguer deux modes

7  
d'activité de l'intelligence, selon que cette dernière exécute des fonctions mécaniques, ou qu'elle exécute des fonctions spécifiquement intellectuelles. L'analyse mécanique peut donc contribuer à préciser la nature de l'intelligence pure — qui paraît être l'essence même de l'humain —, en limitant progressivement le domaine de cette dernière par la découverte de nouvelles fonctions mécaniques ; peut-être même, malgré le progrès constant des sciences et des techniques qui permet de combiner un nombre toujours croissant d'opérations, pourra-t-on quelque jour établir une définition générale d'une fonction mécanique — ou bien d'une fonction intellectuelle, ce qui paraît d'ailleurs plus malaisé.

L'analyse descriptive des automates, que nous écrivons sans doute un jour prochain, suffirait déjà à montrer que le domaine des fonctions mécaniques est beaucoup plus étendu qu'on ne le pense communément : la machine sait trier des objets d'après leur couleur, régler le niveau d'un bassin d'après une suite de sons accordés, copier un texte dactylographié, traduire en caractères Braille un texte écrit pour les voyants, jouer aux échecs et gagner à tous coups. Et elle vient de ravir une large part du domaine de l'intelligence pure : il est maintenant établi, en effet, que construire une théorie déductive, c'est-à-dire tirer d'un système de prémisses toutes leurs conséquences conformément aux règles de la logique, peut être réalisé par une machine, et par suite *n'exige pas* l'intervention de l'intelligence.

Nous allons essayer d'exposer, sans détails trop abstraits, le principe de la mécanisation de la logique déductive. Que le lecteur veuille nous excuser si nous ne pouvons lui épargner complètement cette amertume qui, suivant l'adage latin, est la saveur des racines de la science ; *fructus illarum sunt dulcissimi*, ajoutait-il : nous souhaitons ne pas le démentir.

Tout jugement que nous formulons s'exprime par une proposition, qui peut être soit vraie, soit fausse, mais qui est certainement ou vraie ou fausse — sinon, elle ne serait qu'un alignement de mots dépourvu de sens. Si une proposition est vraie, disons qu'elle a pour valeur logique 1, si elle est fausse, qu'elle a pour valeur logique 0.

Remarquons d'autre part que la logique déductive, dépouillée de toute considération métaphysique ou psychologique, peut être définie, tout au moins du point de vue où l'on se trouve en employant le langage courant, comme l'art de reconnaître si une proposition est ou n'est pas conséquence de propositions données, c'est-à-dire, de façon plus précise, comment la vérité ou la fausseté de cette proposition est déterminée par la vérité ou la fausseté des propositions données ; cette remarque justifie l'énoncé précis que voici : *si l'on dispose d'un moyen de faire correspondre une proposition à un ensemble (ou système) d'autres propositions, de telle manière que l'on sache déterminer la valeur logique de la première proposition connaissant les valeurs logiques des dernières, on dit que cette première proposition est une FONCTION LOGIQUE du système des dernières propositions, que ces propositions sont des VARIABLES, et que le moyen employé est une OPÉRATION LOGIQUE.* Par exemple, le syllogisme bien connu : *tous les hommes sont mortels ; Socrate est un homme ; donc, Socrate est mortel*, est une opération logique qui fait correspondre la proposition *Socrate est mortel*, au système des deux propositions : *Tous les hommes sont mortels* et *Socrate est un homme* ; la proposition *Socrate est mortel* est donc une fonction logique des deux autres propositions.

D'après l'énoncé précédent, une opération logique se réduit à décrire la correspondance établie entre la valeur logique de la fonction et chacune des combinaisons possibles des valeurs logiques des variables — combinaisons dites logiques.

renvoie  
les de  
comme au  
rapport la  
littés de  
prométe.  
les capitales  
renvoient  
à l'usage

trous  
trous  
trous  
trous

Or, si, après avoir numéroté les variables, on écrit à son rang la valeur logique de chacune d'elles, on forme une suite de 0 et de 1 qui définit complètement la combinaison logique considérée. Par exemple, donnons les numéros 1, 2, 3, aux propositions *il pleut, il neige, je me promène*. S'il ne pleut, ni ne neige, et que je ne me promène pas, le système des trois propositions précédentes a pour combinaison logique 000 ; s'il pleut, sans neiger, et que je ne me promène pas, le système a pour combinaison logique 100 ; s'il neige, sans pleuvoir, et que je me promène, le système a pour combinaison logique 011, et ainsi de suite.

Rangeons les combinaisons logiques d'un système dans un ordre bien déterminé ; un moyen particulièrement simple d'y parvenir est de considérer les symboles 0 et 1 comme les chiffres du système de numération de base 2 ; une combinaison logique représente alors un nombre, et l'on obtient un classement méthodique des combinaisons logiques en convenant de les ranger dans l'ordre des valeurs des nombres qu'elles représentent. Pour l'exemple précédent, l'ordre sera : 000, 100, 010, 110, 001, 101, 011, 111.

Pour définir une fonction logique, il suffit dès lors d'écrire au-dessous de chaque combinaison logique du système des variables la valeur logique de la fonction ; on forme ainsi une nouvelle suite de 0 et de 1, que l'on peut appeler l'indice logique de la fonction. Par exemple la proposition *je me promène lorsqu'il ne neige pas* n'est vraie que si la proposition *je me promène* est vraie, et la proposition *il neige, fausse*. La proposition *je me promène lorsqu'il ne neige pas*, considérée comme fonction logique de *il pleut, il neige et je me promène*, a donc pour indice 00001100.

L'indice logique d'une fonction exprimant intégralement, de façon parfaite, la structure de cette fonction, toutes les fonctions qui ont le même indice jouent le

Si /  
libel

même rôle, elles constituent différentes manières d'exprimer la même idée et, du point de vue logique, elles sont indiscernables : on dit qu'elles sont de la même classe, ou encore qu'elles sont équivalentes.

Ces définitions établies, on peut montrer que le nombre des classes de fonctions logiques, c'est-à-dire le nombre des conséquences distinctes d'un système donné, est limité et que l'on peut construire les indices de ces diverses classes en combinant les trois opérations élémentaires suivantes :

a) *Négation* d'une proposition, dont le résultat est une proposition vraie quand la proposition donnée est fautive et inversement, et qui consiste à permuter les 0 et les 1 dans l'indice de la proposition ; (ainsi, la proposition *il est faux que je me promène lorsqu'il ne neige pas* a pour indice 11110011) ;

b) *Multiplication logique* de deux propositions, dont le résultat est une proposition vraie dans le seul cas où ces deux propositions sont vraies, et qui consiste à faire correspondre le signe 1 à deux signes 1 et le signe 0 à toutes les autres combinaisons ; (ainsi, la proposition *il pleut* ayant pour indice 01010101, la proposition *je me promène lorsqu'il pleut mais qu'il ne neige pas* a pour indice 00000100) ;

c) *Équivalence* de deux propositions, dont le résultat est une proposition exprimant que les propositions données sont de la même classe, et qui consiste à faire correspondre le signe 1 à deux signes 0 ou 1 identiques, et le signe 0 à deux signes différents.

Trouver les conséquences d'un système de prémisses revient donc à construire une suite de chiffres 0 et 1 telle que chacun de ces chiffres corresponde suivant des règles déterminées aux chiffres 0 et 1 d'une ou de deux suites données ; ce sont là opérations du calcul numérique que l'on sait résoudre au moyen de machines : les opérations

de la logique déductive sont donc les fonctions mécaniques et non des fonctions intellectuelles.

Voici encore quelques résultats, plus théoriques, de la représentation des propositions par leur indice :

1° Tout d'abord, l'application indéfinie des trois opérations élémentaires conduit nécessairement à des absurdités (pétitions de principe et contradictions). Un principe nouveau, destiné à déceler et écarter ces absurdités est donc nécessaire ; on peut le formuler ainsi : parmi les propositions de même signification construites à partir de prémisses données, seules ne sont pas absurdes celles dont l'énoncé, exprimé au moyen des seules prémisses, contient le nombre de ces dernières le plus petit possible. Ce principe étant destiné à écarter les alignements verbaux qui ne constituent pas un raisonnement sensé, il peut être appelé *principe d'efficacité* ;

2° On peut construire, pour un système d'un nombre donné de prémisses, et *indépendamment de la signification de ces dernières*, un tableau des suites d'opérations logiques donnant toutes les conséquences de ces prémisses, tableau dans lequel viendront se mouler tous les raisonnements possibles portant sur des prémisses de signification particularisée, en nombre égal à celui des prémisses indéterminées considérées le terme de *forme universelle*, attribué à ce tableau, en rappelle la propriété essentielle ;

3° La définition que nous avons donnée de la logique déductive devient dès lors trop étroite. Il se pose à elle non seulement le problème que nous avons déjà énoncé, mais trois problèmes :

a) Trouver toutes les conséquences d'un système de prémisses (problème de la *dédution*) ;

b) Étant donné une proposition et un système de prémisses, reconnaître si cette proposition est conséquence des prémisses données (problème de la *démonstration*) ;



c) Etant donnée une proposition, trouver les systèmes de prémisses dont elle est conséquence (problème de l'axiomatique).

Nous avons exposé comment le premier problème se résout mécaniquement ; des méthodes mécaniques analogues résolvent aussi les deux autres problèmes ;

4° En résumé, le symbolisme nécessité par la mise en œuvre des méthodes mécaniques de raisonnement permet de poser avec précision et de résoudre complètement tous les problèmes de la logique déductive. Cette nouvelle forme de la logique, qui comprend les mathématiques pures comme cas particulier, peut s'appliquer directement à toutes les sciences et leur apporter une aide de même nature que celle que les mathématiques ont apportée jusqu'à présent à la physique, à la chimie, et à diverses techniques.

\* \*

Quelques remarques, en terminant.

C'est grâce à un mode particulier de représentation des opérations logiques que la mécanisation de la logique déductive a pu être réalisée, c'est-à-dire grâce à une transformation de la forme même des raisonnements, en harmonie avec les moyens nouveaux que l'on se proposait de mettre en œuvre : on reconnaît ici une application du principe d'analyse mécanique abstraite que nous avons déjà énoncé.

En outre, cette transformation des méthodes du raisonnement déductif a des répercussions théoriques profondes — qui vont même jusqu'à faire apparaître la nécessité d'un principe fondamental nouveau ; une fois de plus, des recherches techniques font progresser la science pure ; mais, et ceci est sans doute nouveau, ce principe (le principe d'efficacité) se dégage de l'étude des opérations de construction des conséquences sensées d'un

système donné, tandis que, jusqu'à présent, la logique a étudié les relations entre ce système et ses conséquences, supposées construites ; c'est en abordant l'étude de la logique du point de vue de l'ingénieur et non du pur théoricien que sont apparus ces résultats théoriques.

Il n'est pas dans notre esprit de vouloir en conclure une prééminence de l'un de ces points de vue sur l'autre ; théories et techniques se soutiennent mutuellement et progressent de conserve. Il n'est pas sans intérêt cependant, nous semble-t-il, de faire ressortir pour conclure que non seulement les problèmes qui se posent aux techniciens peuvent, comme ils l'ont fait jusqu'à présent, suggérer l'énoncé d'importants problèmes théoriques, mais que, même l'esprit constructif des techniciens, s'appliquant à des problèmes de nature spéculative, peut apporter à leur résolution de considérables progrès.

L. COUFFIGNAL.



EUROPE  
Revue scientifique

LES ÉDITIONS RIEDER  
108, BOUL. SAINT-GERMAIN — PARIS (6<sup>e</sup>)

Messieurs les auteurs sont instamment priés de retourner d'urgence aux ÉDITIONS RIEDER, les épreuves de leurs articles, accompagnées du manuscrit, après avoir signé le bon à tirer porté sur ces épreuves.