

Calculs, algorithmes, machines universelles.

Extrait de "La machine universelle"

Pierre Lévy (Points-Sciences, Paris, 1987), pages 71 à 75.

Une machine n'est pas nécessairement le moteur d'un véhicule ou bien une chose lourde et bruyante qui transforme la matière en lui appliquant avec violence une force mécanique. Radios, télévisions, centraux téléphoniques montres à quartz et ordinateurs nous ont habitués à l'idée qu'une machine pouvait *traiter de l'information*, c'est-à-dire transformer suivant une loi déterminée un message d'entrée en message de sortie.

La différence entre un traitement industriel, par exemple, et un traitement informationnel réside dans la faible quantité d'énergie mise en jeu dans la sphère de l'information. Rigoureusement parlant, un traitement industriel est aussi informationnel, puisqu'il s'agit d'un processus par lequel des différences engendrent d'autres différences (ou par lequel une forme est donnée à une matière brute). Mais on réserve la notion de traitement de l'information aux processus mettant en oeuvre de petites énergies et qui servent souvent à connaître, surveiller, contrôler, commander, directement ou indirectement, des processus de niveau d'énergie supérieure.

Le traitement d'information par excellence est le calcul. Au sens mathématique restreint, un calcul est un ensemble d'opérations arithmétiques. Nous retrouvons ici la notion d'opération, c'est-à-dire d'action organisée, méthodique, en vue de la production d'un effet déterminé. L'opération mathématique est une combinaison effectuée suivant des règles données sur des êtres mathématiques (par exemple des nombres, des ensembles, etc.) et admettant comme résultat un être mathématique bien déterminé. Si les êtres mathématiques sont convenablement représentés par des éléments physiques, et les règles de combinaisons parfaitement précisées, nous apercevons immédiatement la possibilité de *mécaniser* et d'*automatiser* les calculs.

Nous pouvons donner au mot calcul une extension plus large que son sens mathématique strict. On appellera alors calcul des opérations de tri, de classement, de permutation, de combinaison, de comparaison, de substitution, de transcodification (traduction d'un code à l'autre). Cette extension du sens du mot calcul est parfaitement légitime puisque toutes les opérations précitées peuvent se ramener à la combinaison, plus ou moins complexe, de deux ou trois opérations mathématiques fondamentales. Cela ne nous est pas familier, car lorsque nous nous livrons à des classements, des tris, des traductions d'un code à l'autre, nous agissons, du moins consciemment, de façon directe ou globale. Mais il faut savoir qu'il est souvent possible de décomposer des actions globales en quelques opérations élémentaires répétées un très grand nombre de fois et appliquées dans un ordre déterminé aux objets sur lesquels on opère. C'est ainsi que calcule un ordinateur; ses circuits de base ne peuvent effectuer que quelques actions très simples, mais ces actions sont combinées entre elles et répétées de telle sorte que des calculs très complexes sont finalement réalisés.

Les objets sur lesquels agissent les circuits de l'ordinateur sont des impulsions électriques. La présence d'une charge électrique représente (pour nous) le chiffre 1, son absence le chiffre 0. Du fait qu'il est possible d'affecter un nombre à chaque lettre de l'alphabet et que tous les nombres peuvent s'exprimer en numération binaire, il est possible de représenter à l'intérieur d'un ordinateur tout ce qui peut s'écrire dans un alphabet ou se traduire par des chiffres. Ainsi, des circuits électriques simples jouant sur la présence ou l'absence de charge électrique, parce qu'ils représentent des opérateurs mathématiques fondamentaux agissant sur des nombres exprimés en base deux, effectuent des calculs extrêmement élaborés, traitent de l'information.

L'exécution d'un travail peut généralement se décomposer en une suite ordonnée d'actes élémentaires. La réalisation d'une multiplication, le classement de mots

par ordre alphabétique, tout ce que nous avons appelé calcul, et qui se réduit à des opérations d'arrangement, de combinaison et d'organisation d'un nombre fini d'éléments, peut être rangé dans la classe des travaux décomposables en sous-travaux plus simples.

Pour nous, l'instruction: «classez ces mots par ordre alphabétique», a un sens. L'être humain est un opérateur dont la compétence est extrêmement étendue. Mais imaginons un opérateur dont la compétence est si restreinte qu'il ne peut effectuer que deux ou trois opérations et seulement sur les chiffres 0 et 1 : c'est le cas du circuit de base d'un ordinateur. Pour que l'ordinateur puisse effectuer ce traitement, il faudra donc non seulement que tous les mots soient traduits en suites de 0 et de 1, mais que l'instruction globale: «classez ces mots par ordre alphabétique», soit décomposée en instructions élémentaires exécutables par l'ordinateur. Mais s'il fallait, à chaque fois qu'il y a un calcul à faire, le décomposer en opérations élémentaires convenablement disposées pour qu'il soit effectué par l'ordinateur, il serait plus simple de le faire à la main.

C'est pourquoi les opérations les plus courantes, addition arithmétique, multiplication, etc., sont la plupart du temps déjà câblées dans la machine, c'est-à-dire que les circuits de base sont disposés de telle façon qu'ils réalisent automatiquement l'opération voulue. C'est aussi pourquoi on établit des plans de calcul à l'usage de l'ordinateur non pour *un* traitement déterminé mais pour *un ensemble* de traitements similaires ou une classe de traitements. Ce sont donc les exigences du traitement automatique de l'information qui conduisent les informaticiens (ou les usagers de la micro-informatique) à élaborer des algorithmes.

Un algorithme est une suite finie (car il faut que le calcul ne soit pas infini, aboutisse à un résultat) et *ordonnée* (convenablement disposée de façon à aboutir au résultat voulu) de *règles* (ou d'instructions, ou d'opérations) en vue de résoudre une classe de problèmes (de réaliser un certain type de tâches et non pas *un* problème ni *une* tâche).

On dit qu'un problème à résoudre, une tâche à accomplir ont été *formalisés* lorsqu'on a établi la liste des opérations élémentaires, celle des objets sur lesquels s'effectuent ces opérations élémentaires, et qu'on a déterminé précisément dans quel ordre et sur quels objets doivent s'effectuer les opérations. La formalisation d'une tâche, d'un calcul, nécessite l'explicitation de tous ses aspects. Il y a plusieurs algorithmes ou plusieurs formalisations possibles d'un même calcul. Les algorithmes varient en fonction de la compétence de l'opérateur (les instructions « élémentaires » ne sont pas les mêmes) et du facteur optimisé dans l'exécution: plus ou moins grande rapidité, plus ou moins grand degré de généralité, etc.

Les algorithmes sont souvent déconcertants: une fois formalisées, les actions les plus familières perdent leur apparence habituelle. La perception globale disparaît au profit d'une extrême rigueur dans l'explicitation et la description; le découpage de la réalité n'y est pas fait autour de pôles de signification, mais suivant une logique purement opératoire.

Un programme informatique est donc un algorithme, ou un ensemble d'algorithmes, destiné à conduire entièrement l'exécution d'une tâche, souvent très complexe, à l'intérieur d'un ordinateur ou d'un système informatique. Chaque mot d'un programme ne doit pouvoir être interprété que d'une seule manière par la machine. La syntaxe (c'est-à-dire l'ordre dans lequel doivent se trouver les mots et les signes de ponctuation) d'un langage de programmation est extrêmement rigoureuse. Une virgule en moins ou mal placée, et le programme ne fonctionne pas comme il faut. Les programmes sont stockés dans la mémoire de la machine en même temps que les informations qui font l'objet du traitement. Le programme et les données ayant été introduits dans la machine, le traitement va se dérouler d'une façon entièrement automatique, sans intervention humaine, ce qui lui permet de s'exécuter à une très grande vitesse. En informatique, les mots «machine» ou «automate» désignent moins le dispositif physique qui effectue

la transformation d'un message d'entrée en message de sortie que la structure logique de ce dispositif. La même «machine» (à faire des additions, par exemple) peut s'incarner aussi bien dans une calculatrice à roues dentées, que dans un microprocesseur ou une liste d'instructions que devrait suivre à la lettre un esclave humain parfaitement obéissant. En fait, une «machine» est un algorithme, un programme.