



Jean-Marie Souriau - mathématicien, physicien et cosmologiste, professeur émérite à l'Université de Provence.

Il est surprenant que l'informatique nous ait permis de mieux connaître nos propres processus de réflexion et d'apprentissage. Le dialogue homme-ordinateur augmente les possibilités de l'ordinateur et améliore l'analyse de nos facultés cognitives.

En informatique, l'inattendu est la règle, la prévision exacte, l'exception. D'abord pour ce qui est des possibilités. Les ingénieurs pensaient, dans les années 1960, que les circuits intégrés ne fonctionneraient jamais, car les transistors n'étaient pas assez fiables individuellement pour être groupés par milliers sans panne générale. Cette impossibilité a été balayée en quelques années par les progrès de la technique.

Ensuite pour ce qui est des besoins. Les industriels de l'informatique pensaient que deux ou trois calculateurs de l'époque, de la puissance d'un micro-ordinateur actuel, suffiraient à l'ensemble des scientifiques. Depuis on a multiplié par des milliards la puissance de calcul nécessaire à l'industrie et la recherche.

Enfin, pour ce qui concerne les utilisations. Nul prévisionniste n'a prévu l'expansion des micro-ordinateurs, comme machine à écrire intelligente et comme support de jeu. Parallèlement, aucun mathématicien ne pensait que l'ordinateur lui apporterait une aide importante : en 1976, apparaissait la première preuve par ordinateur, et l'informatique aide aujourd'hui le mathématicien pour les routines calculatoires et l'examen systématique et exhaustif des configurations.

Le nucléaire et l'informatique

En cette fin de siècle, propice aux bilans, une conclusion s'impose : l'industrie nucléaire et l'informatique sont les grandes industries du siècle. Le développement de la première était entièrement prévisible, l'expansion de la seconde totalement imprévue.

L'expérience de Becquerel et les travaux de ses continuateurs prouvaient l'existence d'une énergie inattendue à l'intérieur des atomes, énergie que les physiciens ont maîtrisée puis exploitée. La formule d'équivalence $E = mc^2$, les expériences de Rutherford et des Curie sur les atomes, la découverte par Frédéric Joliot-Curie de la radioactivité artificielle, ont placé les physiciens, puis les ingénieurs, sur les rails du développement de l'industrie nucléaire, militaire et civile : le projet Manhattan a été mené à bien dans les délais, et l'aboutissement était prévu. Cette prévisibilité est mesurée par la science-fiction, un excellent thermomètre de l'imagination. Parmi les ouvrages de science-fiction des années 1930, un livre s'appelait On va faire sauter Paris : il décrivait assez précisément la bombe atomique. Au contraire, dans les oeuvres de science-fiction des années d'après-guerre toutes les anticipations du calcul de l'ordinateur sont ridiculement timorées. La science-fiction fantasmait sur la robotique, sur des machines imitant l'homme ; aucune oeuvre ne décrivait l'ordinateur portable et ses fonctions.

Les balbutiements de l'informatique

Les travaux des pères fondateurs de l'informatique datent d'avant-guerre. Le mathématicien anglais Turing fut l'un des précurseurs. Dans les années 1936, il imagine une machine "virtuelle" qui lui permet d'établir des concepts importants et de poser les questions fondamentales, la notion de calculabilité par exemple : qu'est-ce qui est calculable, qu'est-ce qui ne l'est pas? Un autre mathématicien John von Neumann pense, dans les années 1940, l'architecture des ordinateurs modernes. L'informatique pratique naît pendant la guerre, imposée par des nécessités de calcul scientifique sur les réactions nucléaires.

Dans les années 1946-1948, j'étais ingénieur dans un grand organisme de recherche et le

centre de calcul scientifique était un bureau où travaillait une dizaine de personnes, chacune d'elles munie d'une machine à calculer à manivelle, genre machine de Pascal améliorée. Pour faire une multiplication par 748, il fallait donner sept coups de manivelle, déplacer le chariot, faire quatre tours, déplacer le chariot, et enfin donner huit tours de manivelle. Cela prenait 15 à 30 secondes. On se rendait bien compte qu'il fallait automatiser ce calcul, notamment la rotation de la manivelle. Aux États-Unis, les premiers ordinateurs incorporent ces automatismes, mais, pour réaliser un programme, il fallait relier les éléments avec des fils de câblage, comme dans les centraux téléphoniques de l'ancien temps. J'ai assisté à une démonstration qui se passait place Vendôme, au siège d'IBM. En un quart d'heure, le démonstrateur a déterminé les solutions d'une équation du troisième degré avec six décimales exactes. La fabrication avait demandé au programmeur une bonne semaine de travail de branchement.

On a réussi ensuite des programmations moins astreignantes à l'aide de cartes perforées où les trous symbolisaient les branchements : un programme était un paquet de cartes perforées semblable aux programmes musicaux des orgues de barbarie ou les cartes des métiers à tisser. Un progrès notable a été de s'affranchir du support papier pour transmettre les instructions. Parallèlement le microprocesseur a permis la miniaturisation et avec elle la puissance de calcul, la vitesse d'exécution et la diminution des coûts. Toutefois l'architecture d'un ordinateur actuel, à part quelques petits détails importants techniquement, mais secondaires conceptuellement, n'a pas évolué par rapport à l'Eniac, le premier ordinateur à tubes électroniques.

La puissance : un changement qualitatif

Ce que n'ont pas vu la plupart des décideurs, c'est que l'augmentation de la puissance de calcul permettait des actions spectaculaires. Les décideurs politiques français ont été particulièrement aveugles car ils ne connaissaient rien à la technique et se réfugiaient dans les idées générales. Quand les décisions concernant une nouvelle technique sont prises par des personnes incompetentes, il est clair qu'ils visent mal. Les décisions prises ont un semblant de logique, mais les prévisions passent à côté de toutes les cibles par méconnaissance des possibilités d'innovation. Quel énarque aurait pensé aux traitements des images par l'informatique?

Les machines actuelles multimédia fonctionnent parce qu'un ordinateur peut calculer 50 millions de cosinus par seconde et ainsi calculer une image avec tous les éclairages et la puissance du traitement est telle qu'on ne distingue plus les images virtuelles des images réelles. Actuellement, aux États-Unis, on vend autant d'ordinateurs que de téléviseurs, ce qui montre la concurrence du virtuel calculé et du réel.

Il y a eu d'autres effets inattendus de la révolution informatique. Ainsi l'horlogerie. Il y a 25 ans les professionnels pensaient : « Il n'est pas possible de réaliser des petites montres-bracelets autrement que par les dispositifs traditionnels, les montres en mécanique à échappement ». La disparition partielle du métier d'horloger était complètement inattendue dix ans avant qu'elle se produise. Des quantités de métiers disparaissent ou sont profondément modifiés par l'emploi d'un microprocesseur. Même la musique : le terme de musique techno est significatif. Il est assez ridicule de dire c'est bien ou c'est mal. Nous vivons une révolution : l'essentiel est de la comprendre.

Le mathématicien et l'informaticien

Les scientifiques étaient-ils armés pour prévoir ce qui allait se passer? Les mathématiciens, qui auraient dû être intéressés au premier chef, n'ont rien vu venir, à part quelques exceptions. Ils ne voulaient pas entendre parler de ces machines calculantes. J'ai des amis, mathématiciens de très haut niveau, qui n'ont jamais touché un ordinateur autrement que pour faire du traitement de texte. Pour eux, l'utilisation de l'informatique était une humiliation. Pourquoi? Peut-être parce que les mathématiciens se préoccupent essentiellement de l'infini et que l'ordinateur, pensaient-ils, ne fera jamais qu'un calcul fini. Il se trouve toutefois qu'entre les pratiques des mathématiciens concernant l'infini et les algorithmes des informaticiens, les liens sont plus profonds qu'on ne pouvait le croire.

Avec un calcul fini, un algorithme, Euclide a démontré qu'il y a un nombre infini de nombres premiers. Euclide suppose qu'il existe un plus grand nombre premier p . Il construit alors le produit des nombres premiers inférieurs à p auquel il ajoute 1. Ce nombre est soit premier, et alors plus grand que p , ou est divisible par un nombre premier supérieur à p . Donc pour tout nombre premier, il en existe un qui est plus grand et le mathématicien tout réjoui énonce : l'ensemble des nombres premiers est infini. Avec un raisonnement court, fini, il est parvenu à un résultat infini. Cette stratégie s'appelle la récurrence ou plutôt, chez les informaticiens, la

récurtivité.

Pour passer du fini à l'infini, l'informaticien transforme une donnée en variable. Prenons un exemple tout à fait différent, le jeu des chiffres et des lettres. On donne des chiffres et six plaques sur lesquelles est écrit 50, 9, 3, 100, 25 et 4 ; avec les quatre opérations, l'addition, la soustraction, la multiplication et la division quand elle tombe juste, il faut obtenir un certain résultat, ici 531. Peut-on écrire un programme informatique qui résolve ce problème? Nous souhaitons traiter ce problème par récursivité, mais récursivité sur quoi? Rien ne bouge! Alors là, il faut faire un acte de création, imaginer une règle infinie qui contiendra cette règle finie. On suppose tout simplement que le nombre des plaques est une variable dénommée p . Si nous savons résoudre le problème avec p plaques, nous saurons très bien résoudre le problème avec $p + 1$ plaques. Autrement dit, pour résoudre le problème à p plaques, il suffira de résoudre le problème à $p - 1$ plaques, pour résoudre le problème à $p - 1$ plaques, on examine le problème à $p - 2$ plaques, etc.

Autrement dit, dans le jeu des chiffres et des lettres, le programme prend deux plaques et il les remplace par une seule, mais cette plaque est une variable dont la valeur peut prendre tous les résultats des quatre opérations sur les couples de nombres des deux plaques. La démarche consiste ainsi à ramener le problème à p plaques à beaucoup de problèmes à $p - 1$ plaques. Et la machine continue ainsi en diminuant le nombre des plaques. Pour chaque opération, elle compare le résultat obtenu avec 531 et s'arrête quand elle a une coïncidence. Si elle n'a pas de coïncidence après avoir examiné toutes les possibilités, le problème est impossible.

Pour résoudre un problème fini d'informatique, la bonne méthode de programmation consiste à l'envisager comme un problème infini. Les mathématiciens ne se rendaient pas compte que les informaticiens adoptaient la même tactique qu'eux : transformer un nombre en une variable, ce qui revient à faire un détour vers l'infini. Quand on vous raconte la règle du jeu, vous entendez le nombre 6, mais vous savez que ce n'est pas très important. Vous savez déjà que ce nombre pourrait être variable et la récursivité fait ainsi partie de notre pensée. La démarche utilisée est proche de celle d'Euclide pour démontrer qu'il y a un nombre infini de nombres premiers.

Dans l'exemple que je vous ai donné, la solution relativement difficile à trouver est la suivante : on commence par multiplier 50 par 100, on trouve 5 000, on ajoute 4, on obtient 5 004. On divise par 9, ce qui donne 156, et, ô merveille, 556 moins 25, est égal à 531, le résultat cherché.

La machine dévoile notre pensée

Ce qui est inattendu, c'est que le dialogue homme-machine nous renseigne sur notre façon de penser. Et sur une nouvelle manière de concevoir certaines démonstrations de théorèmes. Ainsi, des mathématiciens ont utilisé l'informatique pour démontrer des théorèmes, le théorème des quatre couleurs par exemple. Alors l'aide de l'informatique est précieuse, si elle est bien employée. Il me semble que le mathématicien doit interroger lui-même la machine, c'est-à-dire programmer son problème, sans laisser ce soin à d'autres. S'il laisse la programmation à un programmeur, il se crée deux espèces d'individus, les uns qui savent une chose et les autres qui en savent une autre, et c'est très dangereux pour l'avenir de l'humanité. Il est infiniment préférable et plus efficace que les scientifiques connaissent les deux approches pour les faire progresser en synergie.

D'autres progrès décisifs dans l'utilisation de l'informatique ont été les icônes et les fenêtres. On croit trop souvent que c'est Apple qui a inventé ces possibilités de conversation, en fait ce sont des ingénieurs de la Société Rank Xerox qui désiraient classer des documents. Les relations homme-machine s'amélioreront encore avec les machines à reconnaissance vocale et à reconnaissance de caractère. Personne n'avait prévu ces moyens de conversation : ils cachent à l'utilisateur le fait qu'il y a un calcul derrière.

La reconnaissance des caractères introduit de nouvelles techniques de programmation utilisant des réseaux de neurones. Dans cette technique, le programme doit être éduqué. Il demande à Monsieur Dupont, son acquéreur, d'écrire quelques phrases. Le programme examine cette information, et au bout d'un certain temps la machine sait lire l'écriture de M. Dupont. Jamais le programmeur n'a dit : il y a des 0, des courbes fermées, des points sur les i. Il a dit à la machine, éduquez-vous vous-même et la façon dont elle s'éduque c'est son affaire, ce qui importe c'est qu'elle obtienne les résultats analogues aux nôtres. Nous réfléchissons sans savoir comment notre cerveau travaille, et ces programmes font de même. Nous ne savons pas, ni sous quelle forme, ni comment ils ont mémorisé l'information.

Des travaux de ce genre sont à l'origine de ce qu'on appelle les neurosciences, les sciences cognitives. Évidemment neurosciences, sciences cognitives, c'est un peu ronflant, et parfois le refuge des farfelus. Je pense néanmoins que c'est une discipline riche de promesses.

Les machines nous enseignent des aspects de notre propre pensée, et c'est cela qui était inattendu...

