

# Les nouveaux ordinateurs seront des géants de génie



Le super-ordinateur américain Cray 1

*Le marché du mini-ordinateur se sature, cependant que les armées et les laboratoires scientifiques ont besoin d'ordinateurs capables de traiter des masses de données plus volumineuses que jamais. Ainsi se prépare la 5<sup>e</sup> génération d'ordinateurs, celle des géants. Le Japon mène, l'Amérique met les bouchées doubles, la France suit.*

■ "Small is beautiful", c'est-à-dire "le moins vaut le plus", fut la devise de l'industrie des ordinateurs pendant la décennie 70 et jusqu'au début de notre décennie (la traduction littérale de cette formule serait : "Ce qui est petit est beau"; mais en fait, il faut comprendre ici : "Mieux vaut des petites machines que des grandes"). Le "bœuf" informatique se fit aussi petit que la grenouille de la fable pour se glisser dans la poche ou sous le téléviseur, se tenir sur le bureau, se cacher dans les jeux, les montres, les appareils photo ou encore sous le capot de la voiture. Mais le principe inverse, "Big is wonderful", se profile à l'horizon. Les Japonais se lancent dans la course aux super-ordinateurs. Les Américains, qui détenaient jusqu'à présent le monopole de ce marché encore balbutiant, ont la ferme intention de riposter. Les Européens, ne voulant pas être en reste, mettent également sur pied des programmes de recherche et de développement de gros matériels.

Si les protagonistes tiennent leur pari, ces super-machines pourront effectuer jusqu'à la bagatelle de 10 milliards d'opérations arithmétiques par seconde. Actuellement les ordinateurs les plus puissants ne font guère — excusez du peu — que quelques centaines de millions d'opérations par seconde; et les micro-ordinateurs, véritables tortues dans ce monde de lièvres électroniques, ne peuvent en réaliser que quelques dizaines de milliers. Les très puissants ordinateurs de demain se rangent déjà dans deux catégories : les "scientifiques" et les "intelligents".

**Les scientifiques.** Ce sont des dévoreurs de chiffres, capables de calculer extrêmement vite, ce qui est indispensable lorsqu'il faut traiter une

quantité énorme de données. Un exemple : pour suivre, en aérodynamique, ce qui se passe autour de l'aile d'un avion en vol, il faut à chaque instant connaître la densité, la température, la vitesse de l'air, bref parfois jusqu'à 40 paramètres caractérisant chacun des points de l'espace entourant l'appareil. Il faut ensuite passer des caractéristiques d'un point à celles des autres points en résolvant des systèmes d'équations très complexes. Pour être le plus précis possible, il est nécessaire de définir les caractéristiques physiques de dizaines de millions de points et de résoudre des dizaines de millions d'équations.

A la DARPA (Defense Advanced Research Project Agency), aux États-Unis, les chercheurs ont tenté de suivre à la trace les mouvements de l'air autour d'un moteur de fusée. Pour venir à bout de ce problème de dynamique des fluides, il a fallu 18 heures de travail à l'une des plus grosses machines existantes. Les ordinateurs de demain devraient être capables d'exécuter la même tâche en 10 secondes. Les militaires sont demandeurs pour résoudre les problèmes de balistique, simuler les effets des explosions atomiques ou d'armes complexes, ou encore analyser les images, déchiffrer des codes secrets quand des millions de combinaisons doivent être essayées avant que ne soit trouvée la bonne.

Dans le domaine civil, ces ordinateurs sont indispensables en sismologie, ou encore en météorologie : par exemple, pour prévoir le climat à l'échelle d'un hémisphère, il faut calculer les variations de température, de pression, de vitesse et de direction des vents en un très grand nombre de points, répartis non seulement à la surface mais aussi à des altitudes différentes et en plusieurs instants de la journée. En calculant

## LES GÉNÉRATIONS SE SUIVENT ET

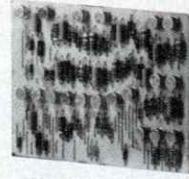
ainsi les caractéristiques du climat en des points espacés de 386 km, il ne faudrait pas moins de 100 milliards d'opérations pour couvrir l'hémisphère entier. Bref, chaque fois qu'une application nécessite des calculs intensifs à très grand nombre de variables (physique nucléaire, physique atomique, physique des plasmas par exemple), ces ordinateurs seront utilisés.

**Les intelligents.** Les ordinateurs sont déjà aujourd'hui de bons calculateurs, ils manipulent les chiffres avec dextérité, ils jonglent avec les formules mathématiques. En un rien de temps, ils établissent un bilan d'entreprise ou trouvent la solution d'une équation trigonométrique. Chaque fois qu'un problème peut être mis sous la forme d'un algorithme, c'est-à-dire ramené à une succession d'opérations arithmétiques élémentaires, les machines dont nous disposons actuellement font des merveilles ; elles économisent déjà des mois de labeur au chercheur, au gestionnaire, au documentaliste. Mais elles restent incapables, seules, de comparer ou d'inférer : elles n'effectuent pas de diagnostic médical, ne peuvent prendre une décision judiciaire ou de politique commerciale. Un malade a mal au foie, le teint jaune, de la fièvre, quelle maladie peut-il avoir ? La bourse baisse, quelles en sont les conséquences sur la balance des paiements ? Aucune machine ne saurait aujourd'hui répondre précisément à ce genre de questions.

En un mot, les machines ne sont pas encore "intelligentes", car leurs pères informaticiens n'ont pas su réaliser les programmes reproduisant avec une précision et une efficacité suffisantes les mécanismes du raisonnement humain. Ce n'est pas faute d'avoir essayé, car depuis le milieu des années cinquante, les spécialistes s'acharnent à faire effectuer par les ordinateurs des travaux réputés intelligents (1).

Après des années de tâtonnements et l'échec de programmes trop généraux, qui n'arrivaient pas à mettre en boîte l'ensemble des connaissances touchant à des domaines trop vastes (la simple traduction d'un ouvrage, par exemple, doit affronter l'infinie richesse sémantique d'une langue), les chercheurs en intelligence artificielle ont considérablement réduit leurs ambitions : ne pouvant reproduire dans son ensemble le mécanisme de la pensée, ils se sont attachés à copier les raisonnements de scientifiques travaillant dans des domaines bien précis : médecine, géologie, électronique, chimie, etc.

Des programmes supposés réagir comme le feraient des spécialistes ont été élaborés et baptisés "systèmes experts". Ils peuvent résoudre certains problèmes comme le ferait un homme, non seulement en faisant des calculs, mais aussi en utilisant un certain nombre de connaissances dans la même discipline, en comparant le pour et le contre, en posant des hypothèses dont ils vérifient le bien-fondé, etc. ; cela pour arriver à une conclusion qui suit un raisonnement logique.

	GÉNÉRATION I	GÉNÉRATION II
DATE DE NAISSANCE	1947	1958
PAYS	USA	USA
COMPOSANTS	<i> Tubes électroniques ; lampes</i> 	<i> Transistors ; circuits imprimés</i> 
ARCHITECTURE	<i> Séquentielle (Von Neumann)</i>	<i> Séquentielle (Von Neumann)</i>
VITESSE DE CALCUL	<i> 5 000 opérations par seconde</i>	<i> 200 000 opérations par seconde</i>

*Demain, nous entrerons dans l'ère de la 5<sup>e</sup> génération d'ordinateurs. Jusqu'à présent on passait d'une génération à l'autre lorsque la technologie de base des machines changeait. La première génération était bâtie autour de lampes diodes, la seconde autour de transistors enfilés sur des circuits imprimés, la troisième autour de petits circuits intégrés dans un éclat de silicium, la quatrième autour de circuits intégrés*

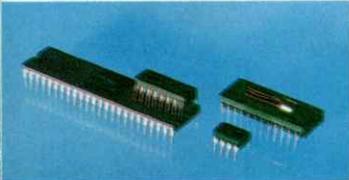
De plus, ils peuvent parfois expliquer comment ils sont arrivés à telle ou telle conclusion, quelle règle ils ont appliquée ou quel cheminement ils ont suivi.

Parmi ces programmes, pour la plupart américains, on peut citer : MYCIN, programme d'aide au diagnostic qui, d'après les symptômes d'un malade, les résultats de ses analyses et ses antécédents, identifie l'infection bactérienne dont il souffre et prescrit le traitement adéquat ; DART, qui diagnostique l'origine des pannes d'ordinateurs ; CRYALIS, qui détermine la structure des protéines à partir des méthodes utilisées en cristallographie ; ou encore PROSPECTOR, qui aide le géologue à évaluer l'intérêt minier d'un site, etc. On voit qu'on est déjà bien loin des calculs de bilan ou de paie qui sont le pain quotidien dont se nourrissent aujourd'hui nos ordinateurs d'entreprises.

Mais, les "systèmes experts", emmagasinant des quantités formidables d'informations dans un domaine précis, sont des programmes aussi encombrants que précieux. Pour les utiliser, il faut des machines qui soient à leur mesure, capables d'effectuer très vite les milliers de comparaisons ou les centaines de déductions qui sont à prendre en compte pour chaque problème : il faut des super-machines rapides, indispensables si l'on veut multiplier ce genre de programmes et les étendre à des domaines d'activités de plus en plus nombreux. C'est pour faire face à cette double demande de machines "scientifiques" et "intelligentes" que les constructeurs se

(1) Voir *Science & Vie* n° 725, février 1978.

# NE SE RESSEMBLENT PAS

GÉNÉRATION III	GÉNÉRATION IV	GÉNÉRATION V "SCIENTIFIQUE"	GÉNÉRATION V "INTELLIGENTE"
1964	1979	1990	1990
USA	USA	Japon ? USA ?	Japon ? USA ?
Transistors ; circuits intégrés ; silicium	Transistors ; circuits très haute intégration ; silicium	Transistors ; circuits très haute intégration ;	arseniure de gallium ; supraconducteurs Josephson
			
Séquentielle (Von Neumann)	Séquentielle (Von Neumann)	Parallèle	Parallèle
2 millions d'opérations par seconde	Quelques dizaines de millions d'opérations par seconde	10 milliards d'opérations par seconde	Ne calcule pas mais "infère" (deduit) à la vitesse de 1 million d'inférences par seconde

réduits à l'extrême. Chaque génération était beaucoup plus rapide que la précédente, mais toutes avaient des architectures identiques et respectaient les principes chers à John Von Neumann.

La 5<sup>e</sup> génération fera exception à la règle puisqu'il y aura une rupture totale entre les ordinateurs de cette génération et ceux de la précédente. Non seulement les composants de base seront d'un type nouveau,

mais l'organisation même de la machine et les tâches qu'elle sera capable d'accomplir seront radicalement différentes de celles des machines précédentes. Pour chacune des générations, nous avons fait figurer dans ce tableau : sa date de naissance, son pays d'origine, son organisation interne, le type de composants qu'elle utilise, son "architecture" et la vitesse de calcul dont elle est capable.

sont préoccupés de mettre au point des ordinateurs rapides et puissants.

Aujourd'hui, les gros comme les petits appareils sont bâtis autour de circuits gravés sur des composants de silicium et fonctionnent suivant les théories développées dans les années 40 par le mathématicien John Von Neumann : le cœur de l'ordinateur (l'unité centrale) n'effectue à chaque instant qu'une seule tâche à la fois ; chaque ordre est décomposé en une succession de travaux élémentaires effectués l'un après l'autre suivant un mode dit "séquentiel". Ce n'est que lorsque la première tâche est terminée que la seconde peut commencer. Ce processus s'illustre (voir dessin page suivante) à l'aide d'un exemple simple : la construction d'une maison.

Pour la mener à bien, il faut des matériaux (briques, bois pour la charpente, tuiles, etc.), qui représentent ici les "données" sur lesquelles l'ouvrier va travailler. Ce dernier campe ici la partie active de la machine, celle qui exécutera les opérations et que l'on appelle "unité arithmétique et logique" (UAL). La première façon de bâtir la maison consiste à disposer d'un ouvrier polyvalent qui ira chercher les briques une à une et construira le mur pas à pas, attendant d'avoir fini de poser une brique avant d'aller chercher la suivante. Puis les murs une fois montés, il ira chercher le bois et montera la charpente. C'est de cette façon que travaillent les calculateurs actuels et l'on comprend qu'il faille du temps pour achever la construction de la maison, c'est-à-dire venir à bout d'une seule tâche.

Pour améliorer la vitesse des ordinateurs, il existe alors deux méthodes : accroître les performances du matériel, des circuits de base avec lesquels ils sont construits ; et modifier la façon dont ils travaillent — en "séquentiel" — c'est-à-dire changer leur organisation interne (les informaticiens parlent d'"architecture").

**Les circuits de base.** A l'heure actuelle, les machines sont bâties avec des circuits intégrés LSI (*Large Scale Integration*), qui comptent au maximum 50 000 transistors gravés sur une puce de silicium de moins d'un cm<sup>2</sup>. Pour les machines plus performantes on commence à utiliser les circuits VLSI (*Very Large Scale Integration*), où plus de 100 000 transistors sont sculptés sur un éclat de silicium.

Déjà, les meilleurs circuits VLSI dépassent les 600 000 composants, et les ingénieurs pensent arriver à caser, dans les années 1990, jusqu'à 10 millions de transistors sur un seul circuit intégré de silicium. Cette miniaturisation des circuits internes joue un rôle important dans les vitesses de travail des machines, mais elle n'est pas le seul facteur de rapidité. Toute l'informatique, on le sait, est basée sur le passage ou le non passage d'un courant électrique à travers des circuits électroniques (2). Plus le courant passe vite, plus le "temps de propagation" à travers les circuits est réduit et plus l'engin travaille rapi-

(suite du texte p. 84)

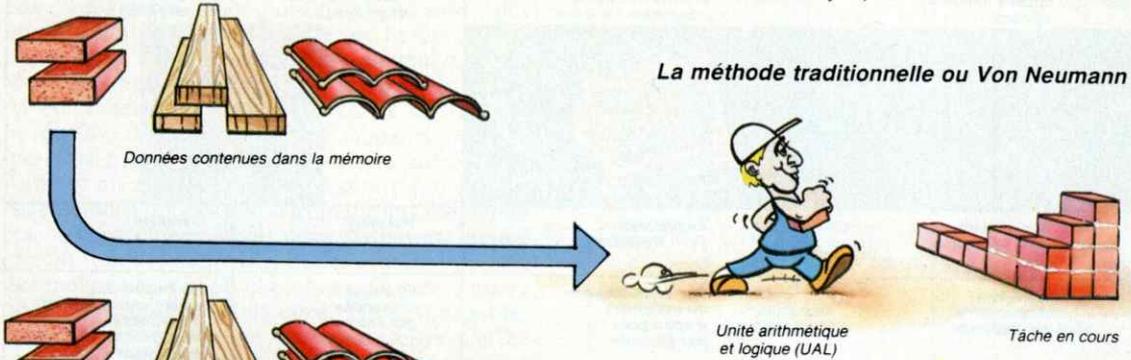
(2) Le langage utilisé par les machines est un langage binaire c'est-à-dire composé de 2 "lettres" : "1" (le courant passe) et "0" (le courant ne passe pas).

# L'ORDINATEUR D'HIER : UN ARTISAN ISOLÉ...

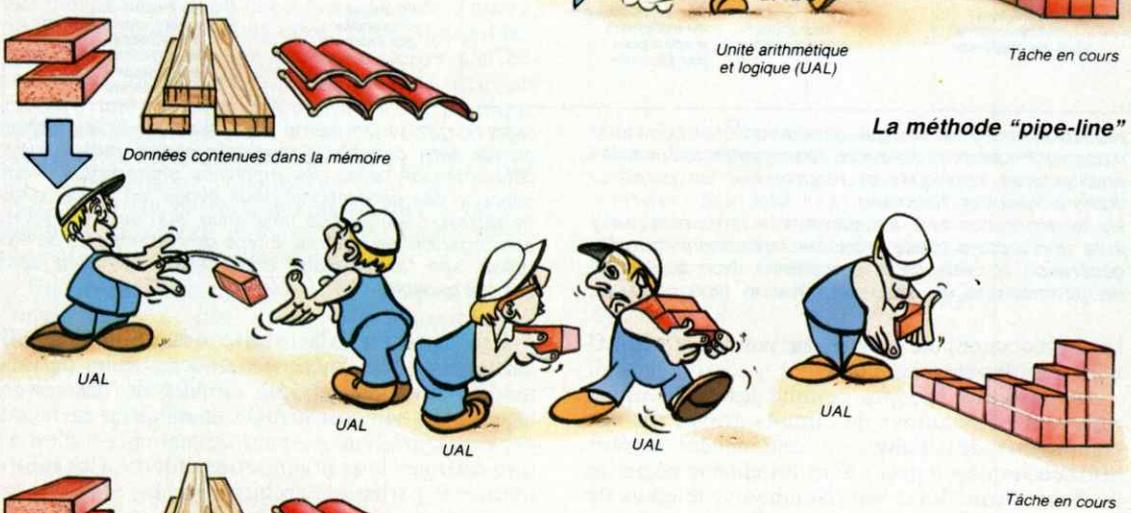
Les ordinateurs actuels qui fonctionnent dans les banques, les entreprises ou les administrations, effectuent quelques millions d'opérations par seconde. C'est rapide, mais pas assez pour résoudre certains problèmes scientifiques. Afin d'accélérer la vitesse de travail, il faut modifier le cœur même de la machine, les informaticiens disent l'"architecture". Pour bien comprendre, comparons la tâche que doit

exécuter l'ordinateur (des calculs mathématiques complexes) avec la construction d'une maison. Pour bâtir, il nous faut au moins des briques, du bois, des tuiles : ce sont les données de base sur lesquelles vont "opérer" les ouvriers, représentant la partie "active" de l'ordinateur, celle où les calculs ont lieu et que l'on appelle "unité arithmétique et logique" (UAL). Pour achever cette maison, il y a plusieurs méthodes :

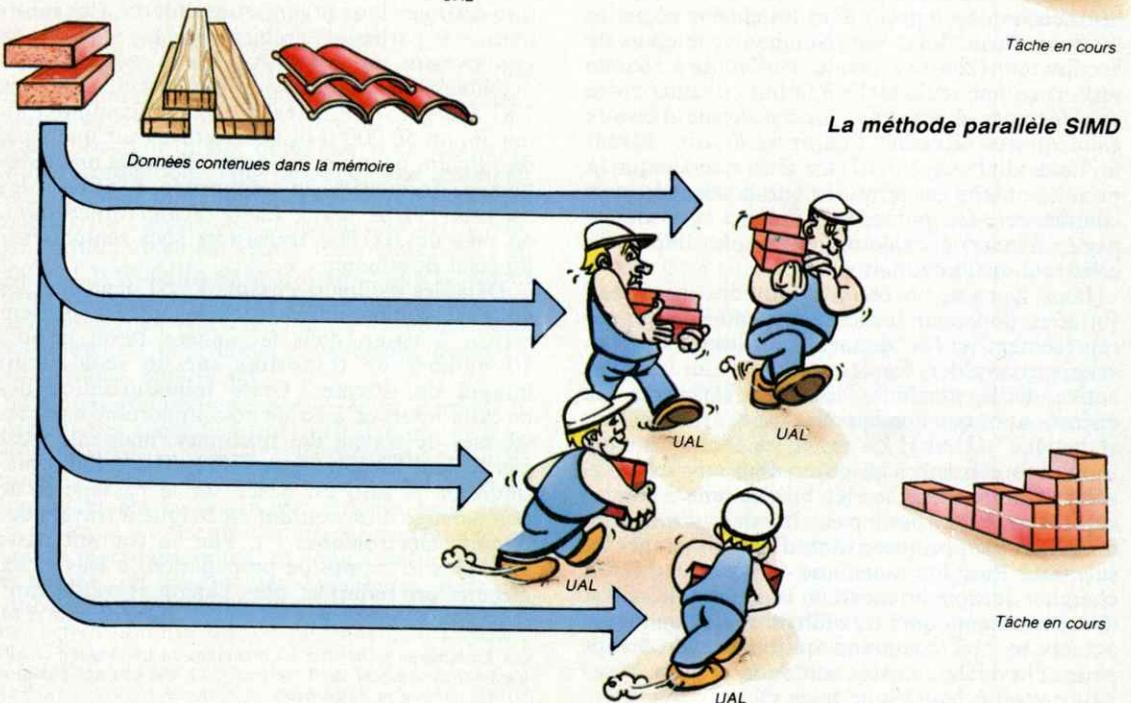
## La méthode traditionnelle ou Von Neumann



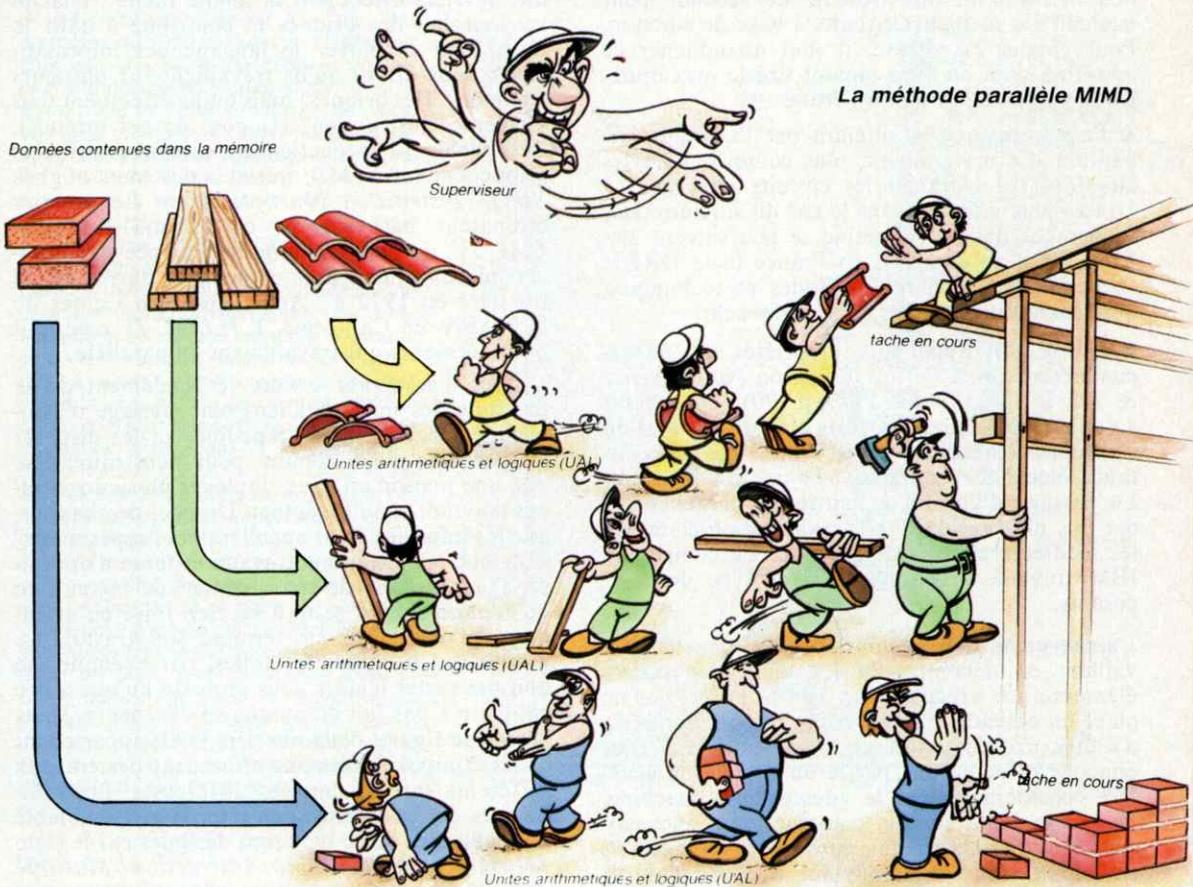
## La méthode "pipe-line"



## La méthode parallèle SIMD



## CELUI DE DEMAIN : UNE ENTREPRISE ORGANISÉE



**La méthode traditionnelle ou Von Neumann.** Dans ce cas il n'y a qu'un seul ouvrier qui va chercher une brique, la pose, retourne en chercher une seconde, la cimente, et, petit à petit, monte le mur. Le travail s'effectue pas à pas, il est "séquentiel" et lent. Les "briques-données" sont amenées une à une et posées l'une après l'autre par notre ouvrier UAL. C'est en suivant ce schéma, mis au point en informatique par le mathématicien John Von Neumann, que travaillent pratiquement tous les ordinateurs en service aujourd'hui. Dans la réalité informatique, les données sont des chiffres écrits en binaire dans la mémoire.

**La méthode "pipe-line".** Notre ouvrier UAL n'est plus seul ; des compagnons UAL sont venus lui prêter main forte ; ils forment une chaîne et lui apportent les "briques-données". Lui, en bout de chaîne, pose les briques une à une. Le mur se bâtit donc beaucoup plus vite que précédemment. Les ordinateurs fonctionnant selon ce principe ont été baptisés "pipe-line" car la chaîne des UAL est toujours pleine de données comme le pipe-line de pétrole.

**La méthode parallèle SIMD.** Là encore notre ouvrier UAL n'est pas seul ; d'autres ouvriers UAL lui donnent un coup de main, mais au lieu de faire la chaîne, ils font tous la même chose au même moment : ils vont chercher une "brique-donnée", la cimentent et continuent jusqu'à ce que les murs soient terminés. Les ouvriers-UAL travaillent en "parallèle". Lorsqu'un ordinateur dispose ainsi de plusieurs unités arithmétiques et logiques qui exécutent la même tâche, on dit qu'il a une structure SIMD, des initiales des mots anglais

Single Instruction (une seule instruction) Multiple Data (plusieurs données).

**La méthode parallèle MIMD.** Dans ce cas notre maison est construite par plusieurs équipes d'ouvriers UAL. Au sein de chacune d'entre elles, les compagnons travaillent à la chaîne ; en informatique chaque groupe d'UAL forme un "pipe-line". La première équipe apporte les briques et monte les murs. Au même moment, la seconde prend le bois et assemble la charpente, tandis que la troisième apporte les tuiles près de la maison. Le chef de chantier (appelé en informatique "superviseur") distribue les tâches : dès qu'une équipe a terminé son travail, il lui donne autre chose à faire. Un bon chef de chantier optimisera l'organisation du travail de façon à ce qu'aucune équipe ne reste trop longtemps inactive.

Cette organisation est délicate car certains travaux sont interdépendants : impossible par exemple de demander à une équipe inactive de poser les tuiles si la charpente n'est pas terminée. Deux ouvriers UAL appartenant à deux équipes différentes effectueront donc des travaux différents sur des "matériaux-données" différents ; les uns cloueront des planches au moment où les autres poseront des briques. Lorsqu'un ordinateur possède ainsi plusieurs séries d'UAL effectuant en parallèle des tâches différentes, sur des données différentes, on l'appelle MIMD, ce qui signifie en anglais : Multiple Instructions (instructions multiples) Multiple Data (données multiples). Les ordinateurs dont l'architecture suit ce schéma commencent à peine à faire leur apparition.

dement. Actuellement, les électrons mettent un peu moins d'un milliardième de seconde pour franchir les meilleurs circuits à base de silicium. Pour gagner en vitesse, il faut abandonner ce matériau dont on aura bientôt tiré le maximum. Deux technologies sont à l'étude :

- l'une remplace le silicium par l'arséniure de gallium. Ce matériau est plus coûteux, mais les électrons franchiraient les circuits intégrés 7 à 10 fois plus vite que dans le cas du silicium. Des recherches dans ce domaine se poursuivent aux États-Unis, au Japon et en France (à la DRET, Direction des recherches, études et techniques, dépendant du ministère de la Défense) ;

- l'autre fait appel aux propriétés des supra-conducteurs et à l'effet Josephson (voir *Science & Vie* n° 742, juillet 1979 p. 90). Un circuit Josephson possède deux états bien distincts : l'un est supra-conducteur, (c'est-à-dire que sa résistance électrique est nulle) ; l'autre est résistant. Le passage d'un état à l'autre est actuellement dix fois plus rapide que la propagation à travers les meilleurs circuits de silicium. La compagnie IBM travaille ardemment sur ce type de composants.

**L'architecture.** Les machines conventionnelles travaillent en décomposant les tâches en ordres élémentaires, exécutés l'un après l'autre. Si l'on place en cascade, l'une derrière l'autre, une série d'unités arithmétiques et logiques (UAL), qui chacune effectue une partie du travail, on accélère considérablement la vitesse de la machine. Dans l'analogie avec la construction d'une maison, l'ouvrier-UAL, qui dans le cas précédent travaillait seul, est maintenant aidé par d'autres compagnons-UAL qui font la chaîne pour lui passer les briques qu'il pose une à une (voir dessin page précédente). Les ordinateurs qui sont bâtis selon ce principe ont été baptisés "pine-line".

Les premiers furent les *Stars 100*, mis au point aux États-Unis par Control Data. Vinrent ensuite les *Cray 1*, dont le premier exemplaire fut livré en 1976 par la Cray Research Company au laboratoire de recherches nucléaires de Los Alamos (Nouveau-Mexique), qui était 200 fois plus rapide que les gros ordinateurs de gestion de l'époque. Depuis, d'autres centres de recherches comme le laboratoire de Lawrence Livermore en Californie, le centre national américain de recherche atmosphérique de Boulder dans le Colorado, le département de la Défense américain, le Centre européen de prévision météorologique de Reading près de Londres, l'École polytechnique française, le Commissariat à l'énergie atomique (CEA), EDF, etc., ont été équipés de *Cray 1*. Une autre machine de ce type est le *Cyber 205*, toujours de Control Data.

Au lieu de faire travailler les processeurs de l'ordinateur à la chaîne, on a aussi envisagé de leur faire exécuter les tâches similaires en parallèle. Poursuivons notre analogie avec la réalisation d'une maison. Notre ouvrier UAL est de nouveau aidé par plusieurs de ses confrères UAL,

mais au lieu de travailler à la chaîne, l'ensemble des ouvriers effectuent la même tâche : chacun va chercher des briques et contribue à bâtir le mur. Pour employer le langage des informaticiens, nous dirons qu'ils travaillent sur plusieurs "données" (les briques) mais qu'ils effectuent tous la même "instruction" (la pose de ces briques). Les machines qui fonctionnent suivant ce principe s'appellent les *SIMD*, initiales des mots anglais *Single Instruction Multiple Data*. Le premier ordinateur bâti suivant ce schéma fut l'*ILLIAC IV*, énorme machine développée par l'université de l'Illinois et la compagnie Burroughs. Il fut livré en 1972 à l'Ames Research Center de la NASA, en Californie. L'*ILLIAC IV* comptait 64 processeurs qui travaillaient en parallèle.

Afin d'améliorer encore le rendement de la machine, les informaticiens ont envisagé d'associer des architectures "pipe-line" et les disposer en parallèle, tout comme pour construire plus vite une maison on peut employer plusieurs équipes œuvrant simultanément. Un chef de chantier, que les informaticiens appelleraient "superviseur" distribue les différents travaux et tente d'optimiser l'organisation de son chantier, de façon à ce qu'aucune équipe reste à ne rien faire en attendant qu'une autre ait terminé son travail. Le groupe qui va poser les tuiles, par exemple, ne doit pas rester inactif, sous prétexte qu'une autre équipe n'a pas fini de monter la charpente. Dans ce cas de figure, deux ouvriers-UAL appartenant à des équipes différentes effectuent des travaux différents sur des données différentes. Les ordinateurs dont l'organisation interne est semblable à un chantier de ce type sont désignés par le sigle *MIMD*, pour *Multiple Instruction Multiple Data* (voir dessin page précédente). Les tout premiers ordinateurs fonctionnant selon ce principe viennent tout juste d'être annoncés et c'est dans ce sens que vont les recherches.

Aux États-Unis, la compagnie de Seymour Cray vient de commercialiser le *Cray X-MP*, qui utilise deux *Cray 1* en parallèle partageant la même mémoire (le *Cray X-MP* devrait être de 3 à 5 fois plus rapide que le *Cray 1*). D'ici deux ans, la firme mettra peut-être sur le marché le *Cray 2*, qui possédera 4 séries de processeurs. Il sera 2 à 3 fois plus puissant que son prédécesseur. Le Lawrence Livermore Laboratory, qui possède déjà six *Cray 1*, met actuellement au point une machine parallèle, le *S 1*, qui emploiera 16 processeurs, chacun à lui seul (baptisé *Mark II*) étant plus puissant qu'un *Cray 1*.

De nombreuses études sur les machines parallèles ont lieu dans les universités américaines. Parmi les plus importantes : l'université de l'Illinois, qui développe un projet baptisé *Cedar*, où des groupes de processeurs sont gérés en parallèle par un ordinateur de contrôle ; l'université du Texas qui a bâti un prototype appelé *TRAC*, comportant un très grand nombre de processeurs ; l'université de Purdue dans l'Indiana, qui met au point le projet *Blue Chip* (64 processeurs) ; à l'université de New York, le projet "ultraordinateur" prend forme sous la

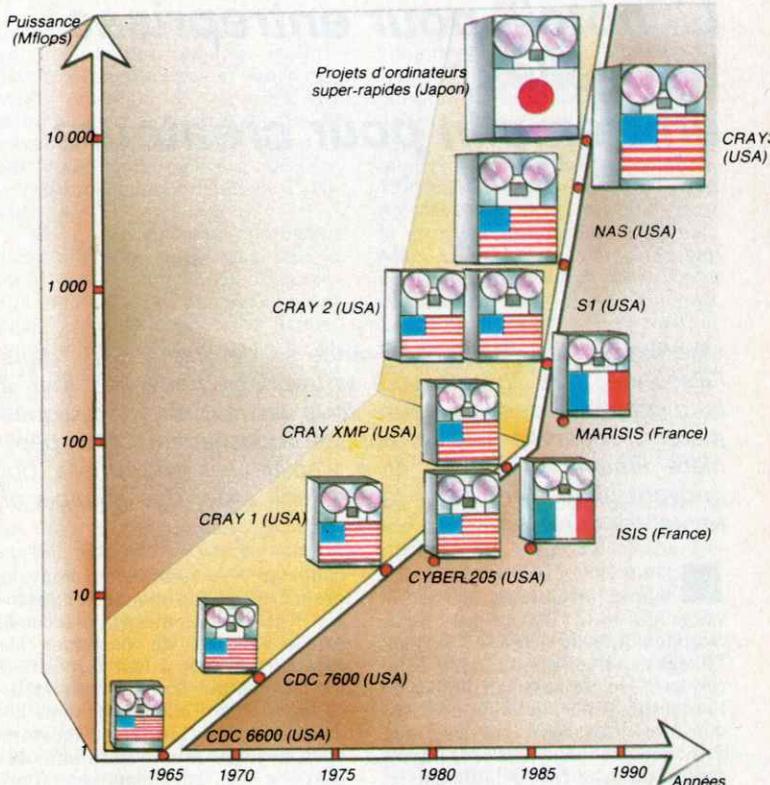
## GROS ORDINATEURS : TOUJOURS PLUS VITE

Si les Japonais tiennent leur pari, les machines de 1990 calculeront 10 000 fois plus vite que celles de 1965 et 20 fois plus vite que celles d'aujourd'hui.

Entre 1965 et 1983, la vitesse de calcul des gros ordinateurs a été multipliée par 500 ; les premières grosses machines, les CDC 6600 de Control Data, calculaient à la vitesse d'un million d'opérations flottantes par seconde — soit 1 mégaflop (Mflop). Aujourd'hui on atteint 500 Mflops.

Dans le jargon des informaticiens, une opération flottante représente une addition effectuée sur des nombres décimaux écrits en notation scientifique, c'est-à-dire à l'aide d'une mantisse (chiffres après la virgule dans un nombre décimal, donc compris entre 0 et 1) et d'une puissance entière de 10. Un exemple : 5 720 s'écrira  $0,5720 \times 10^4$ . Cette notation facilite les calculs scientifiques qui utilisent des nombres importants et d'une grande précision.

Jusqu'à présent, les États-Unis régnaient sur le marché des très grosses machines. Le Cray 1 mis au point par Seymour Cray, un transfuge de Control Data, fit son apparition en 1976 ; cette machine était 50 fois plus puissante que le CDC 6600. Militaires et scientifiques se l'arrachèrent. Aujourd'hui, le Japon, avec son projet « super-ordinateur », et la France, avec les projets ISIS et MARISIS, entrent dans la compétition.



houlette du Pr Allan Gottlieb (la machine parallèle comportera des centaines, voire des milliers, de tout petits processeurs) ; à l'université Columbia (État de New York), l'équipe de David Shaw travaille sur un super-ordinateur parallèle encore plus ambitieux, car près d'un million de micro-processeurs fonctionneront simultanément ; au California Institute of Technology (Caltech), Geoffrey Fox et son équipe étudient le développement de programmes pouvant fonctionner sur de telles machines, et cherchent à décomposer les applications scientifiques de façon à ce qu'elles puissent être traitées par des ordinateurs parallèles (tâche complexe, car les différents problèmes ne se laissent pas facilement découper en tranches pouvant être traitées de façon indépendante ; souvent les résultats d'une opération sont nécessaires pour effectuer la suivante ; il est bien difficile dans ces conditions de faire travailler un ordinateur parallèle).

Jusqu'à présent, les États-Unis possédaient une avance notable en matière de supermachines ; ils étaient les seuls à les fabriquer et à les commercialiser. Ils faisaient la pluie et le beau temps sur le marché mondial. Et plutôt la pluie, car ces machines sont utilisées par l'armée et d'une importance primordiale pour la qualité de la défense d'un pays. Les Américains ne les laissaient donc pas facilement quitter le territoire national. Les livraisons se faisaient en fonction de la qualité des relations diplomatiques entre les

pays demandeurs et les États-Unis. Résultat : certains États attendaient plusieurs années avant de voir leur achat arriver. Ce fut le cas, en France, du Commissariat à l'énergie atomique, qui patienta cinq ans avant de recevoir son premier Cray 1.

Mais demain, il n'est plus du tout certain que la suprématie américaine se poursuive ; les Japonais d'abord, puis les Européens ensuite, peut-être las de dépendre du bon vouloir de l'oncle Sam en matière d'ordinateurs, se sont lancés à l'assaut des supermachines. En démarrant en avril 1982 deux projets d'envergure, les Nippons ont frappé haut et fort.

● Le premier, baptisé Projet national d'ordinateur super-rapide, donne sept ans à l'industrie japonaise, largement aidée par le gouvernement et les universités, pour mettre au point une machine capable d'effectuer les 10 milliards d'opérations par seconde déjà citées et possédant une mémoire d'un milliard d'octets (3) [actuellement les mémoires des plus puissantes machines se comptent en dizaine de millions d'octets]. L'équivalent de 1,4 milliard de francs sera consacré à ce projet, et pour atteindre les buts qu'ils se sont fixés, les Japonais attaquent sur trois fronts : les composants, où ils étudient plus

(suite du texte p. 168)

(3) Rappelons qu'un octet représente 8 éléments binaires (bits), c'est-à-dire 8 zéros ou un avec lesquels sont représentés tous les lettres, les chiffres, etc.

## ORDINATEURS DE 5<sup>e</sup> GÉNÉRATION

(suite de la page 85)

particulièrement les jonctions Josephson et les circuits à arséniure de gallium ; les architectures, où commencent des recherches sur les machines parallèles ; les programmes, où différents langages d'utilisation sont étudiés, ainsi que de nouveaux systèmes d'exploitation et des moyens originaux de communiquer entre les différentes parties de la machine.

Six constructeurs d'ordinateurs japonais (Fujitsu, Hitachi, Nippon Electric Company, Mitsubishi, Oki et Toshiba) se sont joints au Laboratoire d'électro-technique, qui dépend du puissant MITI, (l'équivalent japonais de notre ministère de l'Industrie et de la Recherche) pour mener à bien le projet de machine super-rapide.

● Le second projet japonais est plus orienté vers la mise au point de machines intelligentes. Il reçut le nom de Projet de la 5<sup>e</sup> génération. Pourquoi 5<sup>e</sup> génération ? Tout simplement parce que depuis les origines de la science informatique on a pris l'habitude de classer les ordinateurs en générations, la nouvelle étant toujours beaucoup plus rapide que la précédente (voir tableau p. 80).

Jusqu'aujourd'hui, on sautait d'une génération à l'autre lorsque la technologie de base des machines (les composants électroniques) était profondément modifiée. Au début de l'ère informatique, les ordinateurs de la première génération — machines lentes et encombrantes —, furent construits à l'aide de lampes et de tubes sous vide. Puis après la mise au point du transistor, les premiers circuits imprimés firent leur apparition et se substituèrent rapidement aux lampes, donnant naissance aux ordinateurs de seconde génération (capables de calculer 100 fois plus vite que les machines antérieures). Vers 1965, les circuits imprimés, où chaque composant était bien séparé de son voisin, cédèrent la place aux circuits intégrés où des centaines de transistors étaient gravés sur des petites plaques de silicium, avec eux naquit la troisième génération.

Depuis, ces circuits intégrés se sont faits de plus en plus petits et de plus en plus compacts. Lorsque le nombre de transistors sculptés sur un éclat de silicium inférieur à un cm<sup>2</sup> a dépassé les 100 000, les informaticiens ont décidé qu'il était temps de changer de nouveau de génération, et nous sommes alors passés à l'ère de la 4<sup>e</sup> génération. Un point commun entre ces machines antiques ou récentes : elles fonctionnent toutes suivant les théories déjà citées de Von Neumann. Les machines de demain, déjà dites de la 5<sup>e</sup> génération, seront totalement différentes de leurs aïeules : d'abord, elles ne fonctionneront pas en séquentiel, selon les principes de Von Neumann, mais elles seront organisées en parallèle ; elles n'effectueront pas seulement des calculs, mais seront capables de raisonner ; elles seront bâties autour de circuits d'arséniure de gallium ou de matériaux supra-conducteurs ; enfin, lorsqu'elles calculeront, ce sera à la vitesse de dix mil-

liards d'opérations par seconde. La rupture, là, est totale entre ces ordinateurs et leurs prédécesseurs.

Ce sont des machines de ce type, "intelligentes" et ultra-performantes, que veulent mettre au point les Japonais. Le second projet que nous venons d'évoquer recevra l'équivalent de 3,5 milliards de francs du gouvernement. Les firmes qui y participent (les mêmes que pour le projet précédent, auxquelles viennent s'ajouter Sharp et la Compagnie nipponne du téléphone et du télégraphe) devront, selon le MITI, y consacrer environ 2,8 milliards de francs supplémentaires. Après l'annonce de ce vaste programme, il fallut quelques mois à peine au gouvernement japonais pour créer l'ICOT (l'Institut de la nouvelle génération d'ordinateurs) où se sont rassemblées toutes les têtes pensantes de l'informatique japonaise.

Une machine de la 5<sup>e</sup> génération "raisonnera" donc, comme le font les experts, dialoguera avec l'homme dans sa langue naturelle et non plus par l'intermédiaire de langages spécialisés comme le COBOL, le BASIC ou le FORTRAN ; elle comprendra la parole et sera même dotée de programmes d'apprentissage qui lui permettront d'enrichir ses connaissances.

Avec ce projet, les Japonais s'attaquent là encore à un domaine où la suprématie américaine est incontestable ; l'intelligence artificielle est née aux États-Unis et des centres de recherches très importants s'y sont créés : à l'université de Stanford, au Stanford Research Institute, au MIT, à l'université Carnegie-Mellon etc. Les premiers systèmes experts furent mis au point à Stanford par Edward Feigenbaum et les premières sociétés spécialisées dans le développement de ces programmes performants ont vu le jour aux États-Unis il y a un ou deux ans (Teknowledge, Smart Systems, Cognitive Systems, Artificial Intelligence Corp., Semantek, Intelligenetics, etc.).

De nombreux spécialistes américains se sont rendus au Japon pour étudier d'un peu plus près les deux projets japonais ; ils sont rentrés chez eux très inquiets devant la détermination des Japonais, et ont adressé un cri d'alarme à l'administration Reagan. L'un des pionniers de l'intelligence artificielle, Edward Feigenbaum, vient même de publier un ouvrage sur le sujet (4), où il suggère que le gouvernement américain crée un Centre de technologie du savoir associant le secteur privé et le secteur public, et qui financerait des projets de haute technicité.

Très récemment, l'agence de recherche du ministère américain de la Défense a annoncé la mise en chantier de son propre programme d'étude de super-ordinateurs, avec pour objectif la réalisation, d'ici à 1990, d'une machine 1 000 fois plus rapide que le *Cray 1*. Le ministère de l'Énergie, lui, finance les recherches de Los Alamos et de Livermore, mais il n'existe pas de

(suite du texte page 170)

(4) L'ouvrage n'est pour l'instant disponible qu'en anglais sous le titre *The Fifth Generation and Japan's Computer Challenge to the World* (McCorduck — Addison-Wesley Publishing Company).

## ORDINATEURS DE V<sup>e</sup> GÉNÉRATION

(suite de la page 168)

projet global, de volonté fédérale de mettre en chantier un projet d'envergure ou même de coordonner les différentes études qui sont en cours.

L'industrie américaine, toutefois, a réagi plus vite que son gouvernement : elle a créé au début de l'année la MCC (Microelectronic and Computer Technology Research Corporation), qui regroupe 12 compagnies d'informatique américaines (5) et dont le but est d'effectuer pour le compte de ses membres des programmes de recherches avancées. Tous ne sont pas une réponse au défi japonais, mais ceux concernant l'intelligence artificielle et les architectures parallèles y sont directement liés. En mai 1982, une seconde compagnie (Semiconductor Research Corp.), plus spécialisée dans les composants électroniques, a été mise sur pied par 15 entreprises américaines (6). Son but : développer, promouvoir, coordonner et financer la recherche sur les semi-conducteurs dans les universités. SRC servira aussi de centre d'informations aux industriels qui veulent créer des programmes de recherche et de développement.

Mais que font les Européens face au défi japonais et à la puissance américaine ? En Angleterre, à la suite du rapport Alvey sur la recherche en informatique, le gouvernement de Margaret Thatcher a décidé de consacrer des sommes très importantes à la recherche informatique : en principe, l'équivalent de 2,1 milliards de francs devraient être attribués en cinq ans au développement de composants ultra-rapides, à l'amélioration des moyens de communication entre l'homme et la machine et à la mise au point de programmes d'intelligence artificielle. En Allemagne de l'Ouest, les chercheurs travaillent plus particulièrement sur les architectures de machines parallèles (universités de Francfort et de Berlin).

En France, des recherches en intelligence artificielle se poursuivent aux universités d'Orsay, de Toulouse, de Paris, de Grenoble et de Marseille, où Alain Colmerauer a mis au point le langage "PROLOG" pour écrire des programmes d'intelligence artificielle. C'est d'ailleurs ce langage qui va être utilisé par les Japonais pour leurs machines de 5<sup>e</sup> génération. Des systèmes experts sont développés au laboratoire de Marcoussis (appartenant à la CGE), au centre de recherche de Bull (ex CII-HB), par les sociétés Elf-Aquitaine, Schlumberger, IBM-France, etc. Toutes ces recherches se sont organisées autour du club SICO (Systèmes informatiques de la connaissance, créé par l'INRIA) mais aucun projet national de machine de cinquième génération n'a

encore vu le jour. En revanche, un projet d'ordinateurs scientifiques ultra-rapides a été annoncé au début de cette année ; il est patronné à la fois par le ministère de l'Industrie et de la Recherche et le ministère de la Défense. La raison invoquée : ne plus être dépendant des Américains. Le projet français comporte trois volets :

- le premier consiste à mettre au point une machine, plus rapide que le *Cray 1*, bâtie autour de deux unités centrales, l'une traditionnelle, l'autre comptant de 8 à 64 processeurs en parallèle effectuant tous la même opération au même moment. En effet, il est beaucoup plus simple de concevoir une machine parallèle où toutes les unités de calcul font la même opération à un instant précis (à cause de la synchronisation des tâches), qu'une machine parallèle où tous les processeurs travaillent sur des opérations différentes. La réalisation de cette machine a été confiée à la compagnie Bull. Elle devra être achevée d'ici trois ans et s'appellera *ISIS*.

- La seconde étape du projet a été confiée à la SINTRA, une filiale de CIT-Alcatel. Elle vise à réaliser une machine capable de gérer et de faire travailler en parallèle plusieurs ordinateurs du type *ISIS*. Ce chef d'orchestre portera le nom de *MARIANNE*. Il devrait être au point d'ici quatre ans.

- Dernier volet du projet ; la réunion de plusieurs *ISIS* et d'une *MARIANNE* pour réaliser une puissante machine parallèle : *MARISIS*. Si les budgets prévus sont effectivement alloués, *MARISIS* devrait voir le jour en 1988 ; elle sera plus puissante que le *Cray X-MP* qui vient d'être commercialisé, mais moins puissante que le *Cray 2* qui sera sur le marché d'ici deux ans, et ses performances seront 50 fois inférieures à celles des super-ordinateurs que les Japonais comptent sortir à la fin de la décennie. La machine que la France projette de développer sera donc déjà dépassée au moment de sa venue sur le marché, et elle ne sera pas rentable économiquement. Mais l'armée en a besoin et c'est un argument de poids. Difficile de savoir combien coûtera le programme *MARISIS*. Ni la DRET, ni la compagnie Bull ne veulent avancer de chiffres. "On" parle de 300 à 500 millions de francs ; c'est le prix de l'indépendance de notre armée et de notre recherche.

La course aux super machines est donc ouverte. Le Japon a donné le coup d'envoi et part favori, car la cohésion entre l'industrie et le gouvernement est très grande ; mais les Américains, riches de leur expérience passée, forts de leur détermination à relever les défis scientifiques ne doivent pas encore être considérés comme vaincus. Quant à l'Europe, elle se réveille tard et entre dans la compétition de façon dispersée ; ses chances de prendre la première où la seconde place sont donc faibles. Mais la France est optimiste. Elle se contentera d'une troisième place.

Françoise HARROIS-MONIN ■

(5) Advanced Micro Devices, Allied, Control Data, Digital Equipment, Harris, Honeywell, Mostek, Motorola, National Semiconductor, NRC, RCA.

(6) Advanced Micro Devices, Control Data, Digital Equipment, General Instrument, Harris, Honeywell, Intel, IBM, Monolithic Memories, Monsanto, Motorola, Hewlett-Packard, Silicon Systems, National Semiconductor, Westinghouse.