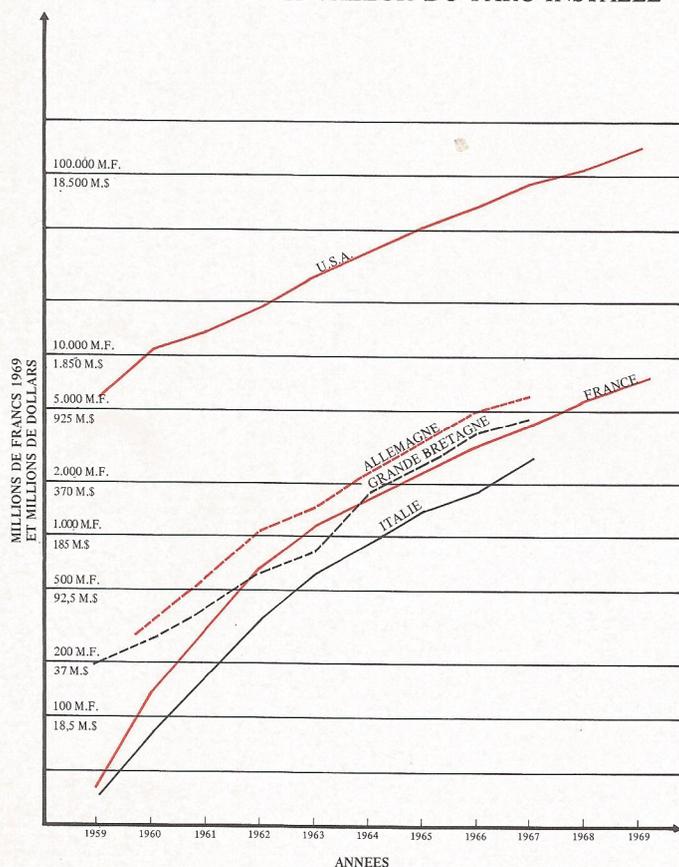


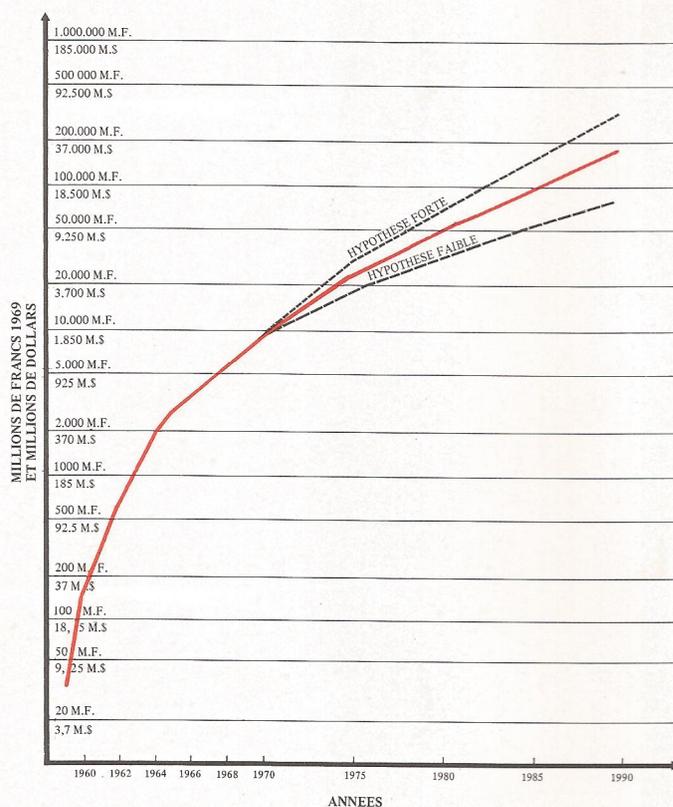
# EVOLUTION TECHNIQUE 1970-1990

Michel REMACLE

EVOLUTION DE LA VALEUR DU PARC INSTALLE



EVOLUTION DE LA VALEUR  
DU PARC DES ORDINATEURS EN FRANCE



L'informatique a à peine vingt ans. Pourtant elle envahit peu à peu toutes les activités humaines (industrie, éducation, justice, loisirs...) Elle a permis le débarquement sur la lune et on parle de plus en plus à son propos de révolution industrielle.

La valeur du parc informatique des pays occidentaux développés croît à une vitesse exponentielle (cf. schéma 1). Parallèlement surgit la crainte d'une société déshumanisée commandée par des machines et on voit naître en Californie des associations contre l'usage des ordinateurs. Société et informatique ne resteront pas neutres l'une par rapport à l'autre.

## Evolution économique de l'informatique jusqu'en 1990

On a représenté sur le schéma 2,

l'évolution de la valeur du parc informatique d'un pays développé de 1959 à 1969 : la France. On a ensuite tracé trois hypothèses d'évolution jusqu'en 1990. Les résultats seraient sensiblement les mêmes en valeur relative du produit intérieur brut (P.I.B.) pour les autres

Aussi cet article n'a pas pour but de déterminer ce que sera l'informatique en 1990 mais de faire a priori des hypothèses de développement, puis, à partir des solutions probables des problèmes technologiques, de souligner les facteurs dont l'évolution sera essentielle pour le développement rapide de l'informatique.

Cet article a été rédigé à partir des travaux du colloque d'Arc-et-Senans sur l'informatique et l'aménagement du territoire dont l'auteur (Ingénieur en chef au groupe Ava), était rapporteur du premier thème. Les références se rapportent à la France mais seulement à titre d'exemple.

pays de l'Europe des Six, pour la Grande-Bretagne et pour les pays scandinaves.

Dans toutes les hypothèses on a considéré que le taux de croissance du P.I.B. était de 4,5 % par an et celui de la formation brute de capital fixe (F.B.C.F.) de 5 % par an en Francs 1969.

## Hypothèse de croissance rapide

Le rythme de croissance annuel de la valeur du parc informatique reste très proche de celui d'aujourd'hui (environ 30 %) pendant les cinq prochaines années puis diminue lentement jusqu'à 14 % en 1990. En moyenne, il serait de 25 % par an de 1970 à 1980 et de 20 % de 1980 à 1990.

Année	Parc installé		Chiffre d'affaires de l'informatique en France			Personnel utilisateur spécialisé
	en M. de F	en M. de \$	en M. de F	en M. de \$	en % P.I.B.	
1969	7 500	1 317,5	2 900	536,5	0,5	60 000
1975	27 500	5 017,5	11 000	2 035	1,5	230 000
1980	69 000	12 815	23 000	4 255	2,3	530 000
1985	160 000	29 600	45 000	8 325	3,8	1 000 000
1990	290 000	53 650	85 000	15 725	5,7	1 400 000

## Hypothèse de croissance modérée

Le rythme de croissance annuel de la valeur du parc informatique diminuerait dans les prochaines années de 20 % de 1970 à 1980 et de 13 % de 1980 à 1990.

1969	7 500	1 317,5	2 900	536,5	0,5	60 000
1975	22 000	4 070	8 000	1 480	1,1	190 000
1980	50 000	9 250	14 000	2 590	1,4	390 000
1985	100 000	18 500	24 000	4 440	2	670 000
1990	170 000	30 750	42 000	7 770	2,9	1 000 000

## Hypothèse de croissance lente

Le rythme de croissance annuel de la valeur du parc informatique diminuerait sensiblement dès les prochaines années et ne serait plus en 1990 que de 7 %. En moyenne, il serait de 15 % par an de 1970 à 1980 et de 9 % de 1980 à 1990.

1969	7 500	1 317,5	2 900	536,5	0,5	60 000
1975	17 500	3 167,5	6 000	1 110	0,8	150 000
1980	33 000	6 105	9 700	1 787,5	1	260 000
1985	55 000	10 175	15 600	2 886	1,3	420 000
1990	76 000	13 360	23 000	4 255	1,5	550 000

## Evolution prévisible de la technologie des ordinateurs

Les principales fonctions sont :

- le traitement et le calcul des données,
- l'entrée des données (input),
- la diffusion de l'information (output),
- le réseau de transmission,
- le stockage des informations,
- le dialogue homme-machine.

### Le traitement et le calcul des données

Pendant les 15 dernières années on a constaté qu'en moyenne tous les cinq ans :

- la vitesse de calcul était multipliée par dix,
- la taille par unité de calcul était divisée par dix,
- le coût d'une opération de calcul était divisé par vingt ou trente.

Ces tendances vont-elles se maintenir ? Les nouveaux matériels présentés sur le marché cette année semblent le confirmer ainsi que les travaux de laboratoire.

Des vitesses cent fois plus grandes seront possibles grâce aux techniques des basses températures. La tendance actuelle pour la vitesse sera donc vraisemblablement maintenue pendant les dix prochaines années. Par la suite, les constructeurs estiment possible (grâce par exemple à l'utilisation de mémoires laser) un nouveau progrès dans un facteur de 100 (temps de base de l'ordre de  $10^{12}$  à  $10^{13}$  s). Toutefois, la réalisation de tels calculateurs dépendra de l'apparition du besoin d'une telle vitesse et, en particulier, des progrès dans d'autres domaines (input - output, software).

La diminution de la taille est nécessaire pour augmenter la vitesse de calcul (on est en effet de plus en plus proche de la vitesse de la lumière). La technologie des basses températures puis celle des lasers permettront une réduction importante de la taille de la mémoire et l'usage de mémoires mortes (dead memories) diminuera le volume des inter-connexions.

La mise au point des systèmes d'exploitation est de plus en plus com-

plexe et de plus en plus onéreuse. Leur sécurité est loin d'être totale, les pannes de software sont difficiles à repérer et leurs coûts élevés. La part relative du coût du software dans le prix de l'ordinateur augmente sans cesse.

Cette tendance va probablement se maintenir encore quelques années, jusqu'à ce que l'architecture même de l'unité centrale soit profondément modifiée. La structure linéaire la plus fréquemment utilisée actuellement (un CPU et une mémoire divisée éventuellement en partitions) sera remplacée par une structure comprenant un grand nombre de CPU spécialisés et de mémoires banalisées. Un traitement sera essentiellement un assemblage de ces CPU et de ces mémoires. Ces assemblages constitueront l'essentiel du système d'exploitation, la plupart des connexions physiques et logiques étant réalisées par des mémoires mortes.

L'ordinateur sera de plus en plus un ensemble modulaire dont on pourra augmenter la taille à volonté, soit sur place en ajoutant des éléments, soit à distance et pour un temps donné en le connectant à un ensemble plus grand, si le réseau de transmission le permet.

### L'entrée des données (input)

En 1990, les moyens d'entrées classiques (cartes perforées, bandes perforées, bande magnétique reliée à un clavier) auront pratiquement disparu.

Les principaux moyens d'accès seront :

- Les capteurs de tous genres. Leur développement sera très important dans les prochaines années car ils seront au carrefour de l'automatisation et de la gestion intégrée. La conduite, par exemple, de machines-outils par des ordinateurs digitaux fournira également des informations de production.

- Les terminaux conversationnels. Ces terminaux permettront un dialogue à la fois sous forme de texte et de graphique.

- Les moyens optiques. Les principales étapes pour la saisie des caractères devraient être :

- l'apparition, d'ici cinq ans, de lec-

teurs optiques de coût modéré (5 000 à 6 000 F/mois) permettant la lecture de documents de structure connue en utilisant quelques jeux de caractères standardisés ;

- la mise au point d'ici dix ans, de lecteurs capables de lire tout type de documents après identification préalable par la machine des caractères utilisés et indication par l'opérateur de leur signification ;
- la suppression, jugée possible en 1990, de toute intervention humaine dans la reconnaissance des caractères et de la présentation d'un document en utilisant le contexte et la syntaxe, après un apprentissage unique analogue à celui de la lecture par un enfant.

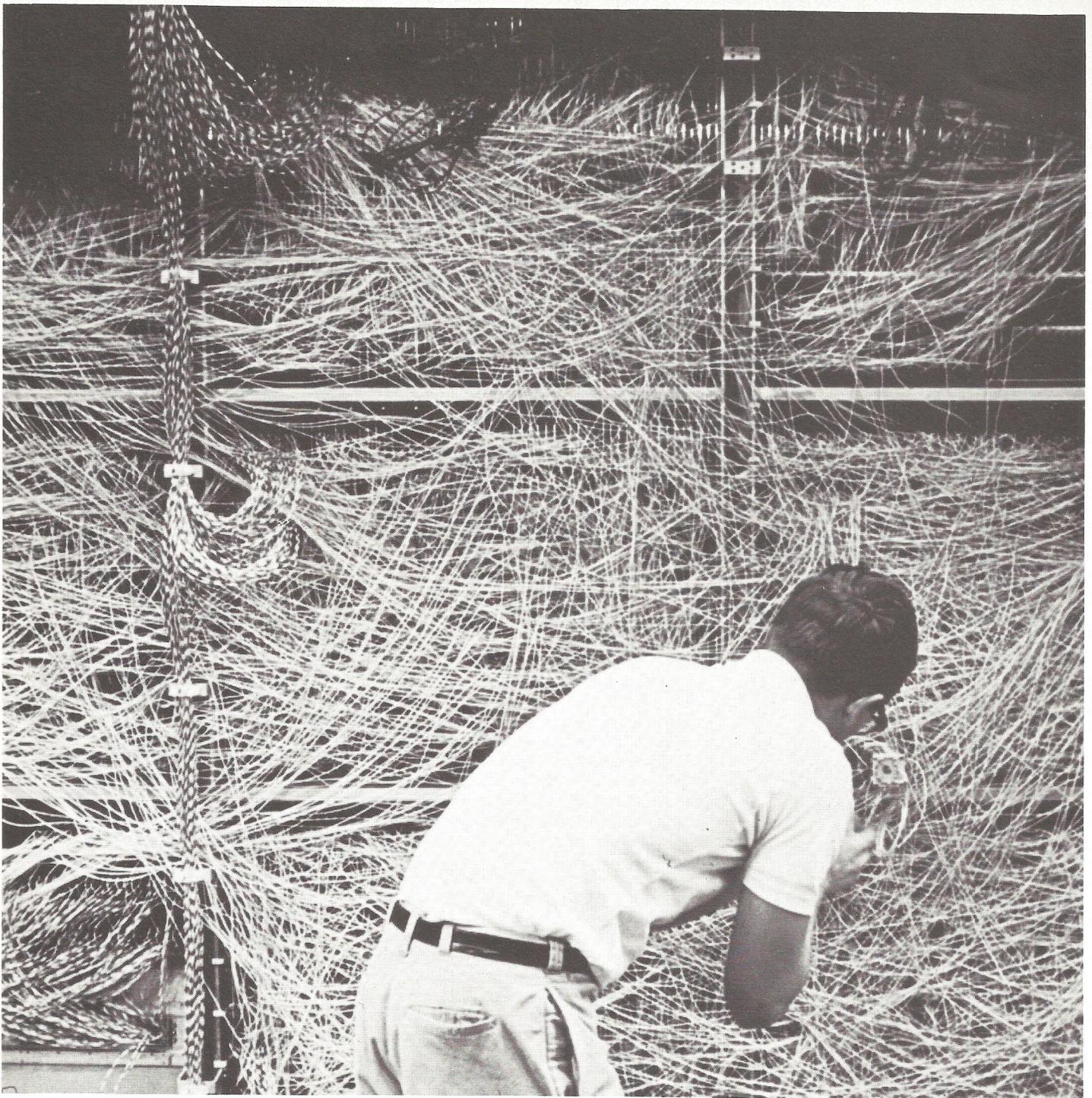
Une telle réalisation suppose, en plus de la reconnaissance des formes, des progrès considérables dans l'étude des langages et une mémoire importante. De tels lecteurs seront utilisés uniquement dans des centres de documentation importants, leurs prix étant très élevés.

Dans le domaine de la saisie des images, de grands progrès devraient être constatés. La couleur et le relief (holographie) devraient être saisis. Les images elles-mêmes seront vraisemblablement reconnues, tout au moins dans un domaine déterminé, en fonction d'une bibliothèque d'images.

— Les moyens acoustiques. La reconnaissance de la voix fait l'objet d'études importantes. On disposera vraisemblablement d'ici à 1990, d'une entrée vocale tout au moins dans un vocabulaire limité.

La difficulté réside dans les variations du spectre de la voix dues aux accents, aux intonations... La saisie de l'intonation est d'ailleurs une donnée importante, car elle permettrait une analyse d'émotivité très utile par exemple lors des dialogues avec des cosmonautes ou avec des aviateurs ou pour l'analyse de réunions, d'interviews, etc.

La reconnaissance d'un langage complet pose les mêmes problèmes de syntaxe et de contexte que pour la lecture optique. Elle implique de très grands ensembles avec de grandes mémoires.



## La diffusion de l'information (output)

Les coûts et performances resteront sensiblement les mêmes pendant les cinq prochaines années, les éléments mécaniques (imprimantes, machine à écrire) restant les plus utilisés. Ces coûts devraient ensuite être divisés par 10 ou 100 grâce aux moyens suivants :

- disparition des imprimantes mécaniques ; les textes et les images seront reproduits par des techniques qui pourraient être celles des écrans liquides, des tubes cathodiques, de la photoluminescence et le seul élément mécanique restant sera l'entraînement du « papier » ;
- les sorties en couleur et en relief déjà réalisées expérimentalement deviendront très répandues surtout dans les services de recherches et les bureaux d'études ;
- la sortie microfilm sera utilisée pour

l'archivage de certaines informations ;

- la sortie acoustique déjà réalisée en épelant des chiffres et des lettres devrait devenir opérationnelle rapidement dans un langage employant un vocabulaire limité. Elle permettrait d'utiliser comme terminal un simple téléphone à clavier.

## Le réseau de transmission

Les systèmes conversationnels avec transmission d'images, les échanges multiples entre ordinateurs, les consultations de banques centrales de données ne pourront se développer que s'il existe un réseau des données permettant :

- la transmission d'un volume important d'informations à grande vitesse,
- la commutation très rapide d'un système à un autre.
- des communications de courtes durées facturées à bas prix.

Les réseaux téléphoniques de tous les pays du monde ne répondent pas aujourd'hui à ces caractéristiques. L'immense majorité des informaticiens craignent qu'il en soit de même en 1990. Plusieurs solutions sont proposées :

- Création d'un réseau spécial réservé à la transmission des données (type Caducée).
- Utilisation du réseau de diffusion de la télévision par câbles coaxiaux qui connaît actuellement un immense développement aux U.S.A.

## Stockage des informations

Dans ce domaine, des progrès très importants sont attendus. On prévoit avant 1980 des mémoires de  $10^{15}$  bits avec des temps d'accès de l'ordre du millièème de seconde et un coût de 10 millions de F.

Ces mémoires constitueront une véritable révolution dans le domaine de

l'information et de la prise de décision. Une mémoire de  $10^{15}$  bits permet, par exemple, la constitution d'un fichier de tous les habitants de la planète contenant 10 000 caractères pour chaque personne.

## Communications homme-machine

Un des principaux inconvénients des ordinateurs est que l'utilisateur doit passer par une série importante d'intermédiaires (analystes, programmeurs, opérateurs). Par ailleurs, il est très difficile et très long de mettre au point une chaîne de traitement et très onéreux d'y apporter ensuite des modifications.

Aussi est-il nécessaire que les utilisateurs puissent s'adresser directement à l'ordinateur dans un langage simple. De nombreuses recherches ont été effectuées pour permettre l'emploi à cet usage du langage naturel. Malheureusement, la logique de ce dernier est totalement différente de celle des ordinateurs.

Le sens des mots dépendant du contexte, de nombreuses imprécisions ne peuvent être résolues qu'en comprenant le sens général. (Il suffit d'ailleurs de voir comment un même texte peut donner lieu à de nombreuses interprétations). De plus la majorité de la population commet de nombreuses erreurs de syntaxe.

Le développement des systèmes de time-sharing permet de penser que ces difficultés seront surmontées grâce à l'emploi de langages conversationnels.

L'ordinateur fixera la syntaxe et aidera l'utilisateur. Par des questions, il permettra d'éviter les ambiguïtés et les imprécisions. La taille de la mémoire fixera les limites du vocabulaire. On peut donc estimer que les langages utilisés seront des « jargons » professionnels spécialisés extraits du langage naturel de la profession considérée.

Un grand nombre de ces langages utiliseront l'image. Le dialogue sous forme de dessins sera particulièrement adapté aux ingénieurs, aux architectes, aux chercheurs et à tous ceux qui ont à effectuer un travail de conception. Il permet la visualisation du projet théorique (par exemple un nouveau modèle d'automobile ou de robe) et sa modification pas à pas. Cette image sera par la suite en couleur et en relief.

Enfin les utilisateurs disposeront de bibliothèques importantes de programmes d'applications spécialisées (packages).

## L'informatique aux différents niveaux de la vie économique en 1990

Nous nous bornerons ici à décrire quels pourront être, en 1990, les systèmes informatiques aux niveaux des entreprises et des Etats (1) et quelles seront les principales difficultés à surmonter pour les construire.

(1) Le problème de l'informatique et des ménages est, par ailleurs, traité dans l'article de Henri Durand.

## L'informatique dans les entreprises

Les principales informations relatives à la vie de l'entreprise seront saisies à leur source grâce à des terminaux de toute nature et communiquées à un organisme central situé dans l'entreprise (2).

Cette généralisation de l'informatique dans l'entreprise provoquera une accélération considérable du progrès technique.

L'accélération du progrès technique renforcera les tendances à la concentration des entreprises et à la production en masse. Les fonctions de recherche, de lancement, d'engineering de toute nature y compris informatique, de marketing et de publicité deviendront de plus en plus importantes alors que les tâches de gestion courante seront de plus en plus automatisées. La répartition des personnes et des métiers et la nature des travaux seront changées. La structure des entreprises devra évoluer dans le même sens : les groupes opérationnels auront un rôle fondamental alors que la structure fonctionnelle classique disparaîtra peu à peu.

## L'informatique au niveau des grandes fonctions nationales

Ce sont la justice, la police, la santé publique, l'aménagement du territoire, la défense nationale, etc.

L'informatique mettra à la disposition des responsables de ces secteurs des moyens considérables : banques de données relatives aux lois, aux criminels, aux malades, aux ressources géographiques... Les modifications qui en résulteront dans notre société seront considérables.

A titre d'exemple, nous indiquerons ici comment les ordinateurs pourraient réduire le coût de l'enseignement.

Selon le rapport de l'O.C.D.E. sur les coûts d'éducation dans les pays membres, le coût en Francs 1967 par heure et par élève est, en France, de :

5 F pour l'enseignement universitaire,  
2,40 F pour l'enseignement secondaire,  
0,50 F pour l'enseignement primaire.

L'ordinateur peut être utilisé sous quatre formes :

- contrôle rapide des connaissances par une série de questions (vingt exercices en dix minutes par exemple) ;
- enseignement programmé classique ;
- étude de cas ;
- couplage de la documentation automatique et de questions de vérification des connaissances.

Nous ne nous intéresserons ici qu'au coût du système et non aux importantes modifications de pédagogie qui en résulteraient.

Actuellement, le coût de tels systèmes est trop élevé, 12 à 18 F/heure/élève, car on ne peut pas connecter un grand nombre de terminaux à un ordinateur. Il en sera différemment très prochainement.

(2) Nous décrivons ici les fonctions types de cet organisme central. Suivant la taille de l'entreprise, il s'agira d'un ou plusieurs ordinateurs reliés ou d'un ordinateur utilisé en commun par plusieurs entreprises.

Selon le rapport O.C.D.E. de mai 1969 sur les calculateurs, deux projets prévoient un enseignement par ordinateur pour 5 à 6 F/heure/élève. Une solution applicable dans deux ans consiste en un ordinateur DS 10 070 connecté à 1 000 terminaux travaillant 2 000 heures par an (200 heures/mois pendant 10 mois).

Ce système coûterait de 60 à 65 millions de Francs dont 30 millions pour les 1 000 terminaux et 15 millions pour l'ordinateur.

Un tel coût pourrait être abaissé par la suite, car le prix des terminaux et de l'ordinateur pourrait considérablement diminuer (surtout s'ils sont fabriqués en série à cet usage) et on pourra également connecter davantage de terminaux.

Ce prix pourrait être abaissé à 4 F/heure/élève en 1975 et sans doute à près de 1 F en 1990.

Le coût de cet enseignement sera donc rapidement moins cher que le coût de l'enseignement universitaire traditionnel et, sans doute un jour que celui de l'enseignement primaire.

## L'informatique bouleversera notre vie

Les entreprises ou les nations qui n'auront pas réalisé la mutation informatique risquent d'être condamnées au dépérissement. Réussir cette mutation ne dépend que très peu des progrès de la technologie des ordinateurs, sauf peut-être dans le domaine des langages et du rangement de l'information dans de très grands fichiers, mais surtout :

- de la mise au point d'un réseau de transmission permettant l'écoulement à grande vitesse de masses importantes d'informations et la connexion rapide d'un système à un autre ;
- de la formation d'un nombre important de spécialistes de haut niveau en particulier d'engineering informatique et de gestion et de conception de systèmes ;
- enfin essentiellement de la capacité des dirigeants des entreprises et de l'Etat de se rendre compte de la véritable révolution que représente l'informatique, c'est-à-dire d'effectuer les investissements nécessaires, d'assurer la formation et le recyclage de tous les cadres et agents techniques à l'usage des méthodes informatiques et de réaliser avec conviction les profondes réformes de structures nécessaires à l'intérieur des entreprises, de l'administration et des branches professionnelles.

M. R.

→  
*Machine à tisser  
de Falcon (1728) :  
un des premiers exemples  
de programmation  
par cartes perforées.*

