

MISSION INFORMATIQUE FONDAMENTALE ET  
PROGRAMMATION

(Maurice Nivat, président)

RAPPORT FINAL

présenté à

M. Laurent Fabius  
Ministre de l'Industrie  
et de la Recherche

et

M. Alain Savary  
Ministre de l'Education  
Nationale

le 28 Avril 1983

(Ce rapport représente l'opinion de l'ensemble des membres de la mission, instituée par lettre de MM. Jean-Pierre Chevènement et Alain Savary le 26 Juin 1982).

La mission se composait de :

- Maurice Nivat, président
- Gérard Berry, vice-président
- Jean-Marie Rifflet, secrétaire
- Jean-Marc Steyaert, secrétaire

Membres : Robert Cori, Michel Delarche, Claude Delobel, Marie-Claude Gaudel, Jean Ichbiah, Gilles Kahn, Jean Le Bihan, Olivier Pastré, Guy Pélachaud, Jean-François Perrot, Olivier Roubine, Pierre Stephan, Tran Van Khai, Jean-Pierre Verjus, Emmanuel Videcoq, Jean Vignolle.

Y ont également collaboré de façon importante :  
André Arnold, Gérard Comyn, Laurent Kott, Anne Le Baraillec,

et les représentants suivants des administrations :  
M. Combet, DIELI - M. Boudet, MEN - M. Sakarovitch, MIR - M. Roucairol, CNRS.

Il est impossible de mentionner tous ceux qui nous ont aidés, ont répondu à nos questionnaires, sont venus aux diverses réunions que nous avons organisées, nous ont fait part de commentaires, remarques et critiques à divers stades d'élaboration de ce rapport. Qu'ils en soient tous vivement remerciés.

Nos plus vifs remerciements vont aussi à l'A.D.I. qui nous a abrités et fourni des moyens de travail<sup>1</sup>.

Maurice Nivat

le 28 Avril 1983

---

1. Ce document a été extrait de la version originale du rapport disponible sur le site de l'EPI (<http://epi.asso.fr/blocnote/Rapport-Nivat-Berry-1983.pdf>). Cette extraction a été faite en janvier 2018 par Luc Bougé et Philippe Marquet à l'aide du logiciel libre tesseract. Merci à Jean-Pierre Archambault pour sa relecture attentive.

# INTRODUCTION

Page 1

Nous devons faire le constat que notre société est déjà, bon gré, mal gré, de plus en plus imprégnée d'informatique et le sera à un rythme encore plus rapide dans un futur proche ; l'informatique y occupe ainsi, aujourd'hui, une place ambiguë étant tout à la fois :

- science, donc objet de recherche fondamentale et appliquée ;
- outil, donc objet de transformation des modes de travail et de raisonnement ;
- industrie dont le champ d'application s'étend rapidement et dont la croissance interne dépasse toutes celles qu'on a précédemment observées ;
- promesse d'une révolution technologique fondée sur des outils nouveaux et tout puissants entraînant d'importantes modifications des comportements, des possibilités d'action individuelles et collectives et donc des structures économiques et sociales ;
- mythe d'une part car bien des promesses ne se réaliseront pas et d'autre part par l'impossibilité où se trouve le plus grand nombre (si ce n'est tout le monde) d'apprécier l'ampleur des transformations sociales et individuelles qui en résulteront (mais est-ce vraiment une situation exceptionnelle ?).

Nous nous proposons tout d'abord de relever un certain nombre de faits plus ou moins perceptibles et souvent très troublants qui apparaissent comme des défauts parfois graves de cette évolution. Ces faits ont leur source tout à la fois dans des phénomènes sociologiques ou scientifiques qui recourent les traits précédemment décrits. Nous tenterons d'expliquer certaines de ces situations du point de vue de techniciens qui est le nôtre. Nous exposerons ensuite brièvement les idées de base qui ont soutenu notre analyse et la rédaction du rapport. Nous terminerons par une vue d'ensemble du dit rapport.

## 1. PROBLÈMES LIÉS A L'INFORMATISATION.

L'informatisation de la société, phénomène rapide et massif, touche de plein fouet de larges catégories de travailleurs, utilisateurs de services administratifs ou sociaux, Page 2

sans parler des enfants dont l'univers s'informatise à grands pas. Nous mentionnons sans ordre d'importance relative, quelques-uns des effets néfastes qui l'accompagnent.

**(i) Une perte de savoir-faire :**

- au niveau de l'ouvrier ou de l'employé que la machine remplace purement et simplement, ou bien à qui la machine impose un mode de fonctionnement différent de celui qu'il avait acquis et perfectionné au cours de plusieurs années de travail,
- au niveau global : peut-on croire qu'une banque de données va remplacer l'ineffable savoir d'un bon archiviste ou d'un bon libraire ?

**(ii) Une perte de souplesse et un sentiment de frustration :** les systèmes informatiques sont comme ils sont et difficilement modifiables. Très souvent, ils apparaissent comme très arbitraires, aucune explication n'est jamais fournie à l'utilisateur sur le pourquoi de certains détails (liés d'ailleurs à la structure interne du système, la seule explication qu'on peut trouver est dans la connaissance du matériel et du logiciel utilisés, connaissances que l'utilisateur n'a pas). D'où l'impression ressentie d'une puissance autonome et incontestable de l'ordinateur qui engendre révoltes et frustrations.

**(iii) Une carence du dialogue entre utilisateurs et informaticiens :** les utilisateurs ont rarement conscience de ce qui est informatisable et de ce qui ne l'est pas et les informaticiens ont trop tendance à leur vendre des produits sans se soucier de leur adéquation aux besoins.

**(iv) Un malaise vrai chez les informaticiens :**

- la plupart des participants à un projet de quelque ampleur travaillent sur des morceaux du système sans vision globale. La découpe des tâches est chose malaisée, faite aujourd'hui de façon très artisanale et peu rationnelle. Il s'ensuit de graves difficultés de spécification des tâches confiées à chaque programmeur et de communication des résultats du travail de chacun (avec ce que cela entraîne d'inefficacité, surcoût, tâtonnements).
- les psychologues notent que les informaticiens (à l'embauche dans les entreprises par exemple) cachent souvent sous une attitude triomphaliste une grande fragilité : sentiment d'impuissance ou d'insuffisance face à leur métier.

Ceci s'aggrave, bien sûr, de l'évolution très rapide de l'informatique que beaucoup ont du mal à suivre.

**(v) Une modification des structures de pouvoir :** le savoir de l'informaticien est peu répandu dans l'entreprise et les informaticiens, peu nombreux, ne dialoguent qu'avec les étages élevés de la direction. Ils en apparaissent souvent comme les complices, leurs salaires élevés (parfois ridiculement) achèvent de les isoler dans leur entreprise. Leur taux de syndicalisation est très faible, et leur vitesse de rotation très élevée.

- (vi) Une angoisse frénétique des parents et éducateurs : ressentant l'importance grandissante de l'informatique, parents et éducateurs poussent les enfants dans cette voie "miraculeuse" ; n'ayant pour leur quasi-totalité aucune compétence, ils subissent le matraquage publicitaire et idéologique, et, dans la mesure de leurs (faibles) moyens renforcent le mythe et les défauts d'un développement anarchique.

## 2. UNE EXPLICATION PARTIELLE DE CES PHÉNOMÈNES

Il n'est pas de notre compétence de développer la sociologie de l'informatisation de notre société ; nous sommes convaincus (il y a là un large consensus dans la profession) que certains de ces défauts ont une origine purement technique et organisationnelle et ne seront résolus que par une attitude saine et rationnelle vis-à-vis de la nature même de l'activité informatique, de son enseignement, de son industrie.

Citons, entre autres explications, les suivantes qui pour risquer d'être dérangeantes, voire iconoclastes, ont à nos yeux le mérite de coller à la réalité.

- (i) La perte de savoir-faire évoquée plus haut prend beaucoup sa source dans la fébrilité de la croissance informatique : on vend des produits qui ne sont pas du tout au point ou qui ne peuvent rendre que des services limités (systèmes documentaires, outils de traduction) en faisant croire qu'ils répondent aux besoins du client qui est bien incapable d'en juger et en lui promettant parfois monts et merveilles (remplacer le savoir-faire humain entre autres). La machine aide parfois puissamment, comme un aspirateur aide la ménagère, elle ne remplace pas plus la réflexion humaine que l'aspirateur ne fait le ménage.

On propose aux utilisateurs, à grand renfort de publicité, des systèmes "presse-bouton" qu'ils n'auront à manipuler que de façon passive ; tout en leur faisant croire qu'ils développent leur créativité à les utiliser. Est-il plus créatif de jouer à la "Guerre des Etoiles" qu'au billard ?

- (ii) Pour ce qui est des utilisateurs de systèmes informatiques, c'est-à-dire l'immense masse des gens, il n'y a pratiquement aucune formation. On peut même parler d'une déformation par le discours tenu dans tous les médias ou presque sur l'informatique. Il s'agit d'un discours non scientifique, non rationnel, qui cherche plus à inquiéter qu'à rassurer, voire propage des idées très fausses si elles sont prises au pied de la lettre (intelligence de l'ordinateur).

Page 4

Le mauvais usage des calculettes qui se répandent dans le grand public et surtout la jeunesse, ne fait qu'aggraver le mal ; il ne prépare en aucun cas les futurs utilisateurs à un usage actif et réfléchi des systèmes professionnels.

- (iii) La formation même des informaticiens est bien imparfaite ; il s'est créé un divorce entre deux types de formation :

a) la formation non universitaire (on peut y raccrocher quelques IUT), qui cherche à former le personnel pour la plupart subalterne, programmeurs de base, qui doit écrire les logiciels, enseigne plus des méthodes très liées à un matériel, un langage et un état de l'art que des idées.

Les gens ainsi formés, s'ils sont directement utilisables, risquent de ne pouvoir s'élever jusqu'à une compréhension vraie de ce qu'ils font et de ne pas pouvoir suivre l'évolution technologique.

Le manque de compétence vraie qui en résulte ne fait qu'aggraver le manque numérique déjà noté par M. Farnoux.

b) la formation universitaire (très liée à la recherche) qui cherche à fournir aux futurs informaticiens les concepts fondamentaux de la science informatique et de ses applications propres. Il est vrai qu'à l'heure actuelle la formation à l'écriture de gros logiciels n'est pas ou peu abordée, ce qui explique le scepticisme (non justifié à notre avis) des industriels envers cette formation; deux phénomènes expliquent cet état de fait :

- par goût et formation, les universitaires sont réticents à enseigner des choses mal connues ou imparfaites,
- par manque de moyens, l'enseignement se cantonne à la manipulation de petits programmes.

La pénurie en moyens, locaux et enseignants est critique et sera dénoncée tout au long de ce rapport.

(iv) Un point essentiel, et bien trop négligé, est que le sujet de l'informatique est difficile, en particulier dans le domaine du logiciel. On rencontre de nombreuses difficultés que personne ne maîtrise vraiment à travers le monde :

- spécification d'un problème à résoudre et de l'algorithme censé le résoudre,
- découpage du problème en sous-problèmes,
- recombinaison des morceaux de programmes obtenus et mise au point de l'ensemble,
- vérification de l'adéquation du programme à sa spécification (exemple des protocoles de communication).

En général, on essaye de surmonter ces difficultés par le nombre de gens au travail : l'écriture de gros logiciels mobilise aux U.S.A. des équipes très nombreuses. Or on sait qu'il y a en France un grave manque numérique d'informaticiens, et l'on veut trop souvent conduire de gros projets sans avoir la main-d'œuvre nécessaire (cela ne marche pas). Ce même manque numérique entraîne d'autres défauts : par exemple, peu de gens travaillent sur les aspects ergonomiques (la réflexion ergonomique devrait accompagner tous les projets de quelque dimension).

Page 5

La situation décrite au (iii) alimente une regrettable incompréhension entre universitaires (et chercheurs du secteur public) et industriels, alors que très certainement le logiciel doit faire l'objet d'une recherche très active pour laquelle les deux composantes industrielle et universitaire doivent absolument coopérer.

### 3. LES OBJECTIFS

Face aux difficultés citées, nous allons mettre en valeur trois objectifs principaux, qui font l'objet des trois chapitres suivants du rapport. Atteindre ces trois objectifs ne résoudra sans doute pas tous les problèmes. Nous pensons cependant qu'il s'agit de conditions sine qua non d'un développement profitable et équilibré de l'informatique et de l'informatisation.

- (i) Il faut former au meilleur niveau possible les techniciens, ingénieurs, cadres administratifs, commerciaux, dirigeants, etc. Il faut reconnaître à l'informatique son caractère et l'importance de son rôle à part entière formateur et utilitaire. Il faut cesser de prétendre que l'informatique est facile et s'apprend quand on en a besoin. Il faut au contraire accepter de consacrer dans les cursus le temps nécessaire à l'apprentissage et au mûrissement des concepts informatiques, ce qui exige autant de temps que pour toute autre discipline. Enfin il faut donner aux IUT, universités, grandes écoles, classes préparatoires les moyens en hommes et en matériel pour assurer cette formation. On ne soulignera jamais assez à quel point la situation actuelle est désastreuse, voir ridicule de ce point de vue. Il faut, pour la même raison assez tôt l'apprentissage de l'informatique afin que les futurs utilisateurs intègrent l'outil informatique dans leurs mécanismes de pensée et d'action.
- (ii) Il faut abandonner l'idée de refaire avec 5 ans de retard sur la concurrence des produits bien connus ailleurs, voire en instance de réforme. Il faut au contraire placer les ambitions très haut : il y a effectivement en France les moyens intellectuels et techniques de produire des systèmes parfaitement compétitifs. Mais pour cela il faut permettre à la recherche de se développer dans des conditions décentes, sur des matériels et logiciels adaptés. Il faut que l'industrie et la recherche coopèrent autrement que par l'intermédiaire de contrats alimentaires (permettant d'ailleurs principalement d'obtenir des fonds publics). Il faut que les ingénieurs et chercheurs puissent réellement travailler en commun sur des projets ambitieux. La noncommunication actuelle semble relever principalement de blocages institutionnels et sociologiques. L'échange d'idées ne pourra se faire que par des contacts entre individus, non protocolaires et non réglementés, auxquels la majorité des chercheurs et ingénieurs est d'ailleurs favorable. La formation (initiale et permanente) par la recherche peut être un support privilégié pour ce type de contacts.
- (iii) Il ne saurait être question de transformer au titre de l'informatisation de la société tout le monde en informaticiens. L'informatique grand public, presse-bouton, les robots domestiques et les jeux n'exigent aucune connaissance que la lecture d'un mode d'emploi. On doit la distinguer totalement de l'utilisation professionnelle de l'informatique. Et, il faut donner une formation suffisante, 4 ou 5 fois plus longue qu'elle n'est généralement aux utilisateurs même passifs des systèmes de gestion, de comptabilité, de traitement de texte ou de conduite d'une machine quelconque. Il y a certainement une importante recherche pédagogique à développer, surtout pour enseigner l'informatique "bas niveau".

# CHAPITRE I

## LA FORMATION DES INFORMATIENS ET UTILISATEURS PROFESSIONNELS

Page 7

Nous nous consacrons ici au problème de la formation des personnes qui font profession d'être informaticien ou qui utilisent l'informatique de façon constante dans leur métier (ingénieurs, cadres, etc.) Tout ce chapitre repose sur une idée centrale : l'informatique est maintenant une véritable discipline scientifique, qui s'appuie sur des concepts et techniques propres, et elle doit être considérée comme telle à tous les niveaux d'enseignement. C'est une discipline importante pour beaucoup d'activités professionnelles, car elle fournit des outils d'usage très général qui permettent de mieux résoudre certains problèmes et surtout d'en aborder d'autres auparavant inattaquables. Or comme tous les outils puissants, ils ne sont pas toujours faciles à utiliser et encore moins faciles à développer. Pour bien les maîtriser, nous affirmons qu'il est nécessaire d'apprendre les concepts fondamentaux de l'informatique et d'acquérir l'expérience de son utilisation, de ses succès et de ses limites, à travers une formation spécifique présentant de façon indissociable la théorie et la pratique de l'usage des ordinateurs.

La première question importante est celle des niveaux de formation que l'on souhaite donner aux informaticiens et utilisateurs. Nous l'étudions au paragraphe 1, où nous distinguons quatre niveaux homogènes : niveau de base que devrait posséder tout technicien ou cadre amené à être en contact avec l'informatique, niveau des utilisateurs intensifs mais non informaticiens professionnels (ingénieurs, techniciens, cadres supérieurs, etc...), niveau des informaticiens professionnels, enfin niveau formation pour et par la recherche.

La réponse est simple quant à la formation des informaticiens professionnels : ils doivent bien connaître leur métier, et donc recevoir une formation très complète. Le problème de formation correspondant n'est pas du tout éphémère : on ne pourra pas se passer d'informaticiens professionnels plus qu'on ne se passe de physiciens, de chimistes et d'électriciens.

Mais la plupart des utilisateurs intensifs ne sont pas et n'ont pas à être des informaticiens professionnels, et la question de leur niveau de formation est plus délicate. On peut ici opposer deux types de conception de la formation correspondant à deux types d'utilisation des outils informatiques : une utilisation passive, ou "presse bouton", où

Page 8

L'on se contente d'utiliser un outil en suivant scrupuleusement son mode d'emploi, et une utilisation active où l'on cherche sans cesse à mieux comprendre l'outil, à mieux l'utiliser et à l'améliorer. Penser qu'on peut se limiter à l'utilisation passive est selon nous une illusion dangereuse, qui conduirait les ingénieurs et cadres à être strictement dépendants des fabricants d'outils, réduirait considérablement leur pouvoir d'innovation, et laisserait la charge du développement des outils aux informaticiens ou à des ingénieurs de double compétence investis tout à coup d'un pouvoir démesuré. Ainsi nous affirmons qu'il est illusoire de penser qu'on pourra utiliser créativement les systèmes informatiques comme des lampes électriques, en tournant juste un bouton. Il faut au contraire comparer l'usage de l'informatique à celui des modèles mathématiques des phénomènes physiques : personne ne prétend qu'un problème de modélisation mathématique se résout par consultation d'un catalogue de modèles, et l'on se préoccupe au contraire de donner aux ingénieurs une culture mathématique suffisante pour qu'ils sachent réagir de façon novatrice face aux problèmes de modélisation qu'ils rencontrent, en dialoguant éventuellement avec des professionnels. De même, puisque les outils informatiques modifient considérablement les conditions de travail dans beaucoup de professions, l'adaptation véritable aux nouvelles conditions ne pourra se faire que par l'insertion du phénomène informatique dans la culture des utilisateurs à un niveau suffisant, assurant une bonne familiarité avec l'outil informatique dans toute sa généralité.

L'informatique doit donc être enseignée aux techniciens, ingénieurs et cadres au même titre par exemple que l'usage des modèles mathématiques, c'est-à-dire assez tôt, assez intensivement, sérieusement et avec suffisamment de temps et d'expérimentation pour la rendre concrète.

Il ne faut, en revanche, pas trop demander à l'enseignement de l'informatique. Ainsi, bien des employeurs voudraient disposer tout de suite de gens formés à l'écriture des gros logiciels, ou encore comprenant bien les problèmes liés à l'irruption de l'informatique dans le monde industriel. Il est illusoire de penser que ces choses peuvent véritablement s'enseigner en université ou grande école : la plupart des enseignants n'ont ni la compétence requise, ni peut-être le goût de ce type de sujet plutôt flou. Cependant, il est très important de sensibiliser les étudiants à ces problèmes. Ceci peut se faire par l'intermédiaire de stages industriels et par l'intervention effective d'industriels dans l'enseignement, comme cela se pratique déjà dans d'autres disciplines. En ce qui concerne toutes les disciplines où l'usage de l'informatique joue un grand rôle, nous pensons que l'enseignement de celle-ci doit y être plutôt du ressort des enseignants de la discipline en question aidés d'informaticiens sensibles à cette discipline. Cela suppose bien sûr qu'ils aient eux mêmes reçu une formation à l'informatique assez poussée. Nous pensons aussi que l'apprentissage de l'informatique par les étudiants de ces disciplines doit se faire le plus tôt possible.

Page 9

La deuxième question importante est celle du contenu technique de la formation aux différents niveaux. Nous l'étudions au paragraphe 3. Les programmes que nous proposons n'ont rien d'original, ils correspondent en gros à ce qui est déjà enseigné couramment aux U.S.A. ou en Angleterre. Nous verrons que ces programmes sont lourds, et qu'il n'est pas question de les enseigner en quelques heures ou même en

quelques dizaines d'heures. A ce propos, nous tenons à souligner tout de suite les dangers d'un point de vue trop répandu : "l'informatique est facile". Ce point de vue est d'abord défendu par les constructeurs, dont la préoccupation principale est de vendre des matériels, et qui n'hésitent pas à promettre monts et merveilles aux utilisateurs. Il est soutenu aussi par de nombreuses institutions d'enseignement privées qui profitent de l'ampleur des besoins pour délivrer à prix d'or des formations rapides et souvent de mauvaise qualité ("apprenez l'informatique en 2 mois"). Il est enfin relayé par les médias, où l'on assimile souvent informatique et programmation de quelques jeux ou petites applications en BASIC sur un micro-ordinateur : ceci s'apprend effectivement assez rapidement, mais a autant à voir avec l'informatique moderne que la résolution des équations du second degré avec la modélisation mathématique des phénomènes physiques. Pire même, un langage comme BASIC contient pratiquement aucun des concepts véritables de l'informatique : il contient au contraire quelques constructions informatiquement aberrantes et périmées (la numérotation des lignes en est un bel exemple). Ainsi les enseignants du MIT affirment déjà rencontrer de grandes difficultés à former correctement les gens ayant appris BASIC tant ils ont pris de mauvaises habitudes. De toutes façons apprendre un langage, même bon, n'est qu'une des composantes d'un enseignement, et il est faux de croire que les industriels embaucheront les gens formés trop rapidement, sauf peut-être dans la période actuelle de totale pénurie.

La troisième question importante est celle des moyens en personnel de formation et moyens en matériel et logiciel. Nous l'analysons au paragraphe 2. les conclusions sont simples : les moyens matériels et logiciels jouent un rôle considérable dans l'enseignement : les aspects techniques sont pour la plupart résolus, et les matériels et logiciels adaptés existent déjà sur le marché. Pourtant la situation française est catastrophique. Le sous-équipement est considérable en quantité et en qualité. Ceci est dû en particulier à l'obligation permanente d'acheter uniquement du matériel français, alors que jusqu'à présent il n'existait aucun matériel français adapté à l'enseignement. Il semble pourtant que la situation matérielle puisse s'améliorer rapidement et ne pose que des problèmes de financement. Sur le plan humain, le nombre d'enseignants doit être proportionnel aux besoins, et il faut disposer de suffisamment de techniciens et d'ingénieurs pour s'occuper du matériel. Sur ces deux points aussi la situation française est très mauvaise. Le manque d'ingénieurs et techniciens est partout très grand, les enseignants sont surchargés et travaillent dans de mauvaises conditions. Ces problèmes seront beaucoup plus difficiles à résoudre que ceux touchant au matériel, à cause du problème crucial de la formation des formateurs. En effet, il est illusoire de penser qu'on peut former très rapidement des formateurs de qualité, car il est évident qu'un formateur doit savoir plus qu'un élève. Il est illusoire de penser que mal former beaucoup de formateurs résoudra quelque problème que ce soit, au moins au niveau des gens qui utilisent l'informatique dans leur métier.

Le problème de la formation à l'informatique en France ne se limite malheureusement pas à l'absence de moyens : la situation réelle de la formation n'est en aucun point à la hauteur des objectifs que nous avons affichés, et plusieurs virages ont été manqués. Presque partout l'informatique n'est pas considérée comme une discipline, mais comme une fille plus ou moins légitime des mathématiques, de l'électronique ou

même de la physique (suivant les endroits et les pouvoirs en place). L'enseignement officiel souffre tout à la fois de manque de temps, de manque de matériel et de manque de formateurs. Son niveau est bien en deçà des besoins : l'informatique est souvent enseignée de manière totalement utilitaire pour les besoins d'autres disciplines, sans réflexion sur sa nature (la plupart des utilisateurs demandent encore seulement des cours d'initiation à FORTRAN ou COBOL). Devant les besoins grandissants et les carences de l'enseignement officiel s'est développé un enseignement parallèle, souvent cher et de mauvaise qualité, qui délivre également un enseignement strictement utilitariste, limité à un langage de type BASIC, FORTRAN ou COBOL. Cette situation a beaucoup de conséquences néfastes :

- le savoir informatique dispensé est très incomplet et très hétérogène ;
- il est de plus à durée de vie très courte et les gens ainsi formés ne seront certainement pas capables de suivre les progrès de l'informatique (c'est là un problème extrêmement sérieux selon nous) ;
- le trop faible niveau de connaissance engendre la tendance à une utilisation routinière des outils, sans chercher à exploiter au mieux leurs possibilités ;
- la communication entre les utilisateurs et les concepteurs de systèmes informatiques n'est pas bonne : les concepteurs n'ont souvent pas la connaissance technique des besoins, les utilisateurs n'ont pas celle des possibilités offertes par l'informatique ;
- beaucoup de décisions liées à l'informatique sont prises sans réelle évaluation, par ignorance technique des gens qui les prennent. Ces gens n'ont pas de raison de savoir que beaucoup des miracles promis n'existent que dans les notices commerciales, et que bien des utilisations intelligentes ne se devinent pas en quelques instants.

Page 11

Il est urgent de sortir de cette situation, qui ne peut faire qu'empirer si on la laisse évoluer spontanément. Nous l'avons déjà dit, la véritable solution réside dans la diffusion d'une culture informatique solide permettant à tout le monde d'acquérir la compétence technique dont il peut avoir besoin. Ceci veut dire aussi que les moyens affectés à son enseignement doivent croître d'au moins un ordre de grandeur, et ce rapidement. On ne peut espérer obtenir le moindre résultat significatif avec les moyens actuels.

## **1.- Les niveaux de connaissances**

Nous avons distingué quatre niveaux de connaissances homogènes, correspondant soit à divers degrés d'utilisation des outils informatiques, soit simplement à divers degrés de culture. Nous détaillons ici le type de formation auquel ils correspondent. Des programmes plus techniques sont donnés au paragraphe 3. Il n'est pas dans notre propos de chiffrer les enseignements correspondants de façon précise : ceci n'aurait pas

grand sens dans la mesure où un même niveau de connaissances peut être atteint de multiples façons, par divers types de formations complémentaires de recyclage. Les charges d'enseignement et les méthodes mêmes d'enseignement peuvent considérablement varier suivant les populations concernées. Pour fixer les idées, nous affirmerons cependant qu'il n'est pas possible de donner une formation initiale quelconque en moins d'une centaine d'heures, non compté un temps sensiblement équivalent d'accès en libre service à des matériels et logiciels de bonne qualité; nous donnerons aussi des indications quant à la place des différents niveaux dans une scolarité classique (en université ou grande école).

Les quatre niveaux de compétence et de formation sont les suivants :

- Le niveau de base correspondant au niveau que devrait avoir tout étudiant sortant d'un DEUG scientifique ou de niveau équivalent (IUT, entrée en grande école). Ce niveau doit permettre une bonne appréhension de ce qu'est un système informatique, de ce qu'est une donnée informatique et de comment on la manipule. Il doit fournir les notions communes à toutes les applications informatiques, et sensibiliser aux problèmes des applications spécifiques concernées par le type d'utilisation souhaitée. Il doit permettre également une bonne familiarisation à l'utilisation des systèmes informatiques, par un maximum de pratique. Enfin, il doit permettre l'ouverture aux progrès futurs.
- Le niveau des ingénieurs non informaticiens et des utilisateurs intensifs de systèmes complexes. Ce niveau doit permettre l'utilisation d'applications existantes de haut niveau, mais aussi le choix des équipements matériels et logiciels et même la maîtrise du développement d'applications nouvelles en liaison avec des informaticiens professionnels (nous pensons que seul un professionnel d'un domaine peut diriger efficacement un projet informatique dans ce domaine). C'est donc typiquement le niveau d'un ingénieur. Il nous semble aussi correspondre de façon naturelle au niveau d'un technicien informatique. Ce niveau est bien plus étoffé que le précédent, et peut typiquement demander une ou même deux années supplémentaires. Il devrait être atteint à la fin d'une maîtrise scientifique (toutes disciplines), ou à la sortie d'une grande école.
- Le niveau des ingénieurs informaticiens, dont la profession est de développer les outils informatiques. Ils doivent non seulement posséder les connaissances leur permettant d'être rapidement opérationnels dans des projets complexes, mais aussi une culture suffisante pour bien s'adapter aux situations futures. À ce niveau, l'enseignement doit donc être très complet et la formation permanente doit être importante. Ce niveau doit être atteint à la sortie d'une maîtrise d'informatique ou d'une option informatique dans une grande école.
- Le niveau formation à et par la recherche. L'objectif est simple : présenter les concepts, réalisations et prototypes les plus modernes, à travers l'intégration dans une équipe de recherche (publique ou privée). Les gens formés ainsi doivent être ceux qui font réellement avancer le sujet. Ils sont bien sûr indispensables au progrès de notre industrie informatique. Ils doivent aussi avoir

pour rôle de faire pénétrer dans tous les milieux les nouvelles techniques lorsqu'elles sont suffisamment stabilisées. En particulier les formateurs des niveaux inférieurs doivent avoir ce niveau et le maintenir, sous peine de voir le niveau global des enseignements ne pas suivre le niveau technique des produits. Ce niveau correspond typiquement au niveau actuel des troisièmes cycles. (Le rôle de la formation par la recherche sera également étudié dans la deuxième partie du rapport).

On cite souvent le problème de former des ingénieurs à double compétence. Dans la situation actuelle, leur niveau informatique correspondrait bien à notre second niveau, avec des approfondissements dans les secteurs particuliers concernés. Mais dans le futur, il nous semble que le second niveau doit simplement faire partie de la compétence d'un ingénieur, et qu'il faudrait viser le troisième niveau pour un ingénieur à double compétence. Page 13

## **2.- Les moyens**

Comme nous l'avons déjà dit, il faut bien être conscient de l'ampleur du développement de l'informatique et donc de l'ampleur des moyens à affecter à la formation, tant en personnel qu'en matériel. Il ne s'agit pas seulement d'un problème de quantité, mais aussi d'un problème de qualité sur lequel nous insisterons constamment. Nous allons d'abord décrire ce qui devrait exister et existe effectivement ailleurs (USA, Angleterre...), puis nous ferons l'analyse de la situation actuelle, que nous n'hésiterons pas à qualifier de désastreuse.

### **2.1.- Les besoins en matériel et logiciel**

L'informatique étant une science expérimentale, les outils matériels et logiciels ont un rôle capital dans la formation, et ce dès le début de celle-ci :

- S'ils sont bons, les étudiants ont plaisir à les utiliser et à apprendre l'informatique. S'ils sont bâtis sur de bons concepts, l'apprentissage de ces concepts ne pose pas le moindre problème : les bons outils ont une très grande vertu éducative intrinsèque.
- S'ils sont mauvais, on perd du temps et de l'énergie à résoudre de faux problèmes, on passe à côté des vrais problèmes, et on donne de mauvaises habitudes (bien que très prisée de certains étudiants, l'activité qui consiste à faire rentrer un gros programme dans une machine trop petite n'a aucun intérêt réel, sauf dans certains contextes industriels bien précis. Elle conduit à confondre informatique et bricolage. Nous n'insisterons jamais assez sur ces deux points : il n'est pas possible d'apprendre de la bonne informatique sur de mauvais systèmes ; il n'est pas possible d'utiliser ou de développer des applications d'une certaine envergure sur des machines de poche.

- S'il n'y a pas assez d'outils, les étudiants ne peuvent les utiliser à leur rythme et la formation passe à côté de son objet.
- En particulier, il est indispensable que les débutants accèdent tout de suite à des outils nombreux et puissants. L'idée qu'il est bon de commencer sur de toutes petites machines en résolvant de tout petits problèmes est très pernicieuse, car les petites machines ne réalisent pas actuellement les mêmes fonctions que les plus grosses, et elles ne sont pas du tout plus faciles à utiliser. On sait même déjà que leurs logiciels de base vont être rapidement périmés. Or, comme dans toute autre discipline, la phase d'initiation laisse une empreinte permanente sur les façons de penser et d'agir (nous avons déjà parlé des dangers de l'apprentissage de BASIC).

Page 14

L'organisation des matériels autour de gros centres de calcul n'est plus la seule possible. Il paraît désormais préférable d'utiliser des réseaux de mini et microordinateurs situés sur les lieux mêmes de l'enseignement, avec accès permanent en libre service, pour équilibrer la charge, et surtout pour permettre aux étudiants de travailler à leur rythme. Les machines doivent supporter une grande variété de logiciels (langages, éditeurs, systèmes graphiques, bases de données, générateurs de compilateurs...). Les matériels d'enseignement doivent être connectés entre eux par un réseau local à grand débit, et les différents réseaux locaux doivent aussi être connectés entre eux. Il faut en effet assurer une communication facile entre tous les utilisateurs (étudiants et enseignants) à l'aide d'un système de messagerie électronique, afin de permettre la diffusion immédiate de toute espèce d'information et le recours aux systèmes de documentation électronique. Il est clair que la communication électronique multiplie l'efficacité de l'enseignement en facilitant les échanges entre équipes enseignantes même éloignées géographiquement, et qu'elle ouvre la voie à un monde pédagogique et relationnel nouveau. Elle peut permettre par exemple la création de pools de didacticiels jouant le rôle tenu classiquement par les livres. Notons que la communication à grande échelle entre les machines d'enseignement est assurée depuis bien longtemps aux USA, mais pas du tout en France.

Il faut savoir que les matériels et logiciels adaptés existent déjà et sont d'utilisation courante dans l'enseignement aux USA. Il n'y a rien de fondamental à inventer dans le sujet. Une certaine standardisation s'est même déjà dessinée, autour de matériels divers ayant des logiciels souvent similaires et généralement gratuits pour les établissements d'enseignement (systèmes UNIX, ou systèmes de type LISP par exemple).

Page 15

## **2.2.- La situation en France au niveau du matériel**

Elle est désastreuse depuis toujours, tant en quantité qu'en qualité. Les établissements d'enseignement sont chroniquement sous-équipés (à de rares exceptions près), ce dans un facteur de 5 à 10 en bien des endroits. Les enseignants n'ont jamais eu le choix des matériels et des logiciels. La contrainte d'acheter français a toujours été absolue, alors même qu'il n'existait aucun matériel français adapté à l'enseignement.

Les enseignants sont unanimes à dire qu'il n'est pas possible d'enseigner correctement dans ces conditions.

Les industriels français n'ont pris que bien rarement l'avis des enseignants ou chercheurs pour développer les logiciels dont ils auraient besoin ; ils n'ont pas considéré le marché de l'enseignement comme important, au contraire de firmes comme DEC ou maintenant IBM qui misent sur son rôle porteur. Ainsi le VAX est-il la machine standard des établissements d'enseignement nord-américains. Les réductions consenties par DEC sur ce matériel sont impressionnantes. En contrepartie les étudiants formés sur cette machine font ensuite de très grosses pressions sur les industriels pour qu'ils s'en équipent. Le plan d'équipement de Carnegie Mellon par IBM est également exemplaire à cet égard, et n'est certainement pas philanthropique.

On peut pourtant dire que les enseignants français souhaitent travailler sur du matériel français, et le font effectivement dès qu'il est comparable en prix et en qualité aux matériels étrangers concurrents. Dans le cas contraire, ils doivent pouvoir choisir le matériel qui leur convient, sous peine d'augmenter encore les distorsions actuelles.

A l'heure actuelle, le matériel français bien adapté à l'enseignement commence à exister dans la gamme des méga-micro-ordinateurs (coût typique : 100 à 200 KF). Nous pensons qu'il faut distribuer ces machines sur une large échelle aux établissements de formation, avec des conditions financières avantageuses en particulier au niveau de la maintenance. Mais ce type de matériel ne peut certainement résoudre tous les problèmes, et il est indispensable de disposer aussi de mini-ordinateurs plus puissants (gamme de prix : 1 à 3 MF), aussi bien que de grands systèmes indispensables par exemple à l'informatique numérique. Ici la situation est plus complexe : il n'existe pas pour l'instant de mini-ordinateurs français adaptés, et les grosses machines sont en nombre encore insuffisant (encore que la situation soit plutôt meilleure de ce côté). En attendant qu'un mini-ordinateur français soit accepté comme satisfaisant par les enseignants, ce qui peut prendre encore du temps, répétons qu'il est indispensable de laisser ceux-ci choisir librement leur matériel.

Le coût des réseaux doit être pris en compte dès le début, et il est loin d'être négligeable (à puissance égale, un réseau de micro-ordinateurs ne coûte pas beaucoup moins cher qu'un mini-ordinateur). Mais s'il est bien conçu il a l'avantage de pouvoir s'adapter plus facilement aux conditions nouvelles et évoluer en conséquence. Il faut aussi disposer de crédits importants pour les communications inter-réseaux, via TRANSPAC par exemple. Les coûts correspondants sont généralement sous-estimés.

Page 16

L'effort financier à consentir pour l'équipement en matériel des unités de formation est très important. Mais répétons que toute économie à ce sujet se traduirait immanquablement par un surcoût important plus tard, dû à l'inadaptation persistante de la formation.

### **2.3.- La situation actuelle au niveau des enseignants.**

Elle n'est pas plus brillante : le manque d'enseignants est important, et on peut vraiment parler de vide à propos des techniciens et ingénieurs. La charge de travail des enseignants est encore augmentée par les efforts qu'ils doivent fournir pour compenser l'inadaptation du matériel. De plus, l'augmentation du nombre des enseignants ne suit pas du tout celle du nombre des étudiants, et encore moins celle du marché. Enfin la pénurie a créé un gros problème du côté de la formation des enseignants, aggravé par le fait que les salaires et conditions sociales que peut obtenir un jeune informaticien dans l'enseignement sont sans comparaison avec celles qu'il peut obtenir dans l'industrie.

La première priorité est d'améliorer l'efficacité des enseignants déjà en place en leur fournissant rapidement les matériels et logiciels dont ils ont besoin. Ceci doit aller de pair avec une augmentation considérable du nombre des techniciens et ingénieurs chargés de la mise en place et de l'entretien des matériels et logiciels. On réaliserait ainsi d'ores et déjà une augmentation substantielle du nombre d'heures d'enseignement possibles, en améliorant les conditions de travail des enseignants et en les déchargeant d'un travail pour lequel ils ne sont pas faits. Il faut aussi bien sûr augmenter le nombre des enseignants. Mais ceci ne doit en aucun cas se faire au détriment de leur qualité. Il n'est pas raisonnable qu'un enseignant en sache moins qu'un élève, donc il n'est pas raisonnable de former un enseignant plus vite qu'un élève. La deuxième priorité doit donc être une formation de qualité pour les formateurs. Ceci signifie qu'on ne peut pas envisager une augmentation instantanée trop rapide, qui conduirait à moyen terme à un nouveau désastre. Il faut certainement envisager d'envoyer certains des futurs formateurs à l'étranger. Enfin il faut faire participer le milieu industriel à la formation de façon beaucoup plus intense ; cet aspect sera étudié plus en détail au chapitre suivant.

## **3.- Contenus des niveaux de connaissances**

A tous les niveaux, l'enseignement doit avoir pour but de dégager les concepts fondamentaux de l'informatique (et pour cela les mathématiques sont souvent utiles), de former les réflexes des enseignés, enfin, de permettre le maximum d'expérimentation dans de bons environnements. De ce point de vue, l'étude de nombreux problèmes classiques et la réalisation matérielle de leurs solutions nous paraissent préférables à l'enseignement dogmatique d'une "méthodologie de programmation" autoritaire. Il est très important d'insister constamment sur les problèmes de style et de rigueur en programmation.

Page 17

Autant que possible, l'enseignement doit mettre en valeur les conditions réelles de l'utilisation de l'informatique : problèmes de dialogue concepteurs-utilisateurs, problèmes liés à la fragmentation du travail lors de l'écriture de gros logiciels, etc... Nous avons cependant déjà remarqué qu'il est difficile d'aller très loin dans cette direction. (Le problème n'est d'ailleurs pas spécial à l'informatique).

### 3.1.- Niveau de base

- Organisation de l'univers informatique : types de matériels, notions élémentaires d'architecture, rôle du logiciel. Aperçu sur l'industrie informatique et sur les principales gammes de produits.
- Notion de système d'informations et d'accès à un tel système, en mettant l'accent sur la communication homme-machine.
- Introduction à un environnement de programmation : système d'exploitation, systèmes de fichiers, éditeurs, traitement de textes, utilitaires, etc... L'étudiant doit pouvoir utiliser une machine de façon confortable pour tous ses besoins, et doit savoir consulter toute espèce de documentation. Le choix d'un excellent système est ici primordial.
- Programmation élémentaire : introduction aux structures de données et au typage des objets informatiques. Introduction aux structures algorithmiques fondamentales (opérations élémentaires, séquençement, sélection, itération, procédures, récursion,...). Approche procédurale et décomposition d'un problème en sous-problèmes. Ce cours doit permettre de concevoir et d'écrire des algorithmes simples en se convaincant de la correction de son travail. On insistera constamment sur les problèmes de style et de rigueur en programmation, et sur la nécessité de la documentation. On insistera sur la manipulation d'objets plus complexes que les nombres, booléens ou chaînes de caractères que l'on présente dans la plupart des cours élémentaires (graphes, textes, fichiers,...).
- Etude et implémentation de certains des algorithmes les plus classiques (tris, recherche en table, etc...). Ces études de cas doivent permettre d'appliquer les concepts précédents et surtout de former les réflexes des étudiants.
- Présentation d'un ou de plusieurs des langages commerciaux les plus répandus en mettant l'accent sur le lien avec l'enseignement reçu.
- Introduction aux problèmes d'organisation du travail liés à l'usage de l'informatique.

Page 18

### 3.2.- Niveau utilisateur intensif

Les connaissances du niveau précédent étant supposées acquises, nous donnons un certain nombre de thèmes fondamentaux sans prétendre être exhaustifs. A ce stade l'enseignement peut très bien se faire par tronc commun et spécialisation : ainsi un thème "structure des ordinateurs" peut donner lieu à des compléments d'électronique, un thème "gestion" à un approfondissement des structures de fichiers, ou un thème "intelligence artificielle" à des cours de logique formelle. L'utilisation d'un excellent environnement de programmation est indispensable.

- Structure des ordinateurs : composants électroniques et organisation des machines (description fonctionnelle). Etude détaillée d'une ou plusieurs architectures.
- Réseaux et procédures de communication. Etude des divers types de réseaux et de protocoles. Sensibilisation aux problèmes posés par la répartition des données et des programmes.
- Systèmes de fichiers et systèmes d'exploitation. Principes de fonctionnement, problèmes d'allocations de ressources. Principales structures de fichiers et de bases de données.
- Interactions homme-machine. Principales formes d'interface systèmes-utilisateurs : interfaces vidéo, graphique, parole. Illustration possible par la présentation de système de CAO.
- Algorithmes et Programmation. Etude approfondie de divers algorithmes fondamentaux, avec étude détaillée des structures de données qu'ils font intervenir. Etude de leur complexité, en introduisant des notions de combinatoire. Programmation complète en utilisant toutes les ressources d'un langage algorithmique moderne.
- Génie informatique. Méthodes d'écriture modulaire, avec réutilisation de composants de programmes. Méthodes d'écriture des grands programmes. Cycle de vie du logiciel : développement, test, intégration et maintenance des applications. Mesure et évaluation des logiciels.
- Introduction à la sémantique des langages de programmation et à la vérification des programmes. Présentation d'un ou plusieurs modèles mathématiques des programmes. Introduction de la notion de preuve formelle à travers les conditions d'entrée et de sortie des programmes.

### 3.3.- Niveau ingénieur informaticien

Ce niveau est véritablement la spécialisation informatique du niveau précédent, supposé déjà atteint. le programme proposé est lourd et ne pourra pas en général être traité exhaustivement. On insistera toujours sur les problèmes de style et de correction.

- Compléments sur les composants électroniques, sur la structure des ordinateurs et sur les techniques de communication. Ce cours doit permettre une bonne familiarité avec le fonctionnement des ordinateurs et réseaux. Il doit aussi introduire les matériels les plus modernes.
- Compléments détaillés sur les systèmes d'exploitation et les structures de fichiers et bases de données.

- Techniques de compilation : étude des caractéristiques des différents langages et de leur mode de compilation. Techniques d'analyse syntaxique. Organisation à l'exécution.
- Langages applicatifs : on introduit un langage applicatif de type LISP en mettant en valeur le style de programmation auquel il conduit (mise au point rapide de prototypes, programmation incrémentale). On étudiera les problèmes posés par l'interprétation et la compilation des langages applicatifs. L'expérimentation intensive est indispensable.
- Utilisation et conception d'environnements de programmation complexes : générateurs d'analyseurs lexicaux et syntaxiques, éditeurs d'arbres, etc... On pourra, par exemple, réaliser l'implémentation complète d'un système fonctionnellement déjà complexe et doté d'une interface homme-machine sophistiquée.
- Algorithmes et méthodes liés à l'intelligence artificielle, avec applications : langages pour l'intelligence artificielle (PROLOG), représentation et déduction de connaissances, etc...
- Calcul parallèle et distribué : algorithmes distribués, protocoles de communication, problèmes temps-réel.

### **3.4. - Niveau formation par la recherche**

Cette formation s'effectue par intégration à un laboratoire de recherche, et doit conduire à connaître ce qui se fait ou se prépare de mieux dans un domaine. Le contenu de la formation étant lié aux recherches effectuées dans le laboratoire, il peut varier considérablement selon les cas. Mais les points suivants sont indispensables pour toute spécialité :

Page 20

- étude de modèles formels de la programmation : par exemple calculabilité, sémantique des langages, validation de programmes, modèles de calcul parallèle,
- compléments d'algorithmique, avec étude de domaines d'application variés,
- introduction aux matériels et logiciels de pointe et expérimentaux,
- réalisation de logiciels expérimentaux complexes. On doit absolument insister sur le fait que ces logiciels doivent être aptes à être diffusés et utilisés, donc bien documentés.

# CHAPITRE II

## SUR LA RECHERCHE EN INFORMATIQUE

Page 21

On peut assigner plusieurs buts à la recherche en informatique :

- mieux comprendre les phénomènes et, pour ce faire, dégager des concepts, bâtir des modèles et des théories,
- inventer ou affiner des méthodes d'utilisation des ordinateurs qui soient plus efficaces que les précédentes. L'efficacité peut être relative à plusieurs critères : on a longtemps privilégié le coût matériel (temps CPU et occupation mémoire). Désormais, il semble beaucoup plus important de diminuer le coût humain en augmentant la lisibilité, la facilité d'emploi ou d'apprentissage, la fiabilité, l'adaptabilité à des besoins précis,
- concevoir et construire des systèmes (matériel + logiciel) nouveaux et meilleurs que les anciens. Ce que meilleur veut dire n'est pas évident et ne peut être apprécié qu'à l'usage, ce qui suppose la réalisation de prototypes de ces systèmes, en vraie grandeur, et qui répondent aux exigences normales en matière de fiabilité, documentation, vérification, etc...
- innover, c'est-à-dire imaginer quelque chose qui peut à la limite, être un jeu, mais qui est insolite et induit un nouveau comportement vis-à-vis de la machine ou quelque sujet de réflexion (nous pensons à ces "worms", programmes qui se promènent dans un réseau, s'autoreproduisent, et échappent à toutes les tentatives de destruction).

L'informatique est un combat entre une pensée rationalisante et de prodigieuses possibilités qu'ouvre l'électronique moderne : son problème majeur est bien celui de la communication de l'homme avec la machine, de délimiter la part de chacun, de faire en sorte que les systèmes informatiques servent dans leur travail, tous les hommes et femmes à qui ils peuvent être utiles ; que de la libération qu'une maîtrise de ces systèmes peut apporter aux uns et aux autres, en les déchargeant de tâches fastidieuses et cléricales, sorte non pas un appauvrissement mais un enrichissement du rôle du travailleur humain.

En ce sens, l'informatique est une discipline fascinante, ce qui explique la passion que mettent à sa poursuite l'immense majorité des chercheurs de notre connais-

Page 22

sance : l'électronique va un peu plus vite que l'informatique, des micros d'aujourd'hui peuvent faire plus de choses, pour un prix très inférieur, que ce qui était considéré, il y a seulement 10 ans, comme une "grosse" machine et traité avec tout le respect désirable. Personne ne peut raisonnablement prétendre échapper à la problématique fondamentale que constitue ce rapport à la machine et aux moyens de (télé)communication qui l'accompagnent.

La complication des systèmes informatiques fait le reste : l'automobile a aussi introduit, dans les sociétés occidentales au moins, une dimension nouvelle. L'incroyable victoire sur l'espace qu'elle constitue, réservée encore dans les années 30 à un petit nombre de privilégiés, s'est répandue. Encore a-t-il fallu apprendre à tous à conduire, ce qui n'est pas que l'apprentissage de gestes nécessaires, mais aussi l'intégration de l'outil que constitue l'automobile dans l'ensemble des mécanismes mentaux qui font agir chacun. Il y a un problème tout à fait similaire de conduite des ordinateurs où, au-delà de la connaissance des commandes voulues pour obtenir un certain effet, il faut donner à tous la possibilité d'intégrer l'informatique dans ses schémas de pensée et d'action.

Si l'on imagine le vaste champ des activités humaines dans lesquelles l'utilisation d'outils informatiques est non seulement possible mais souhaitable, on se trouve devant un problème immense.

Il paraît, en effet, inconcevable qu'un système ou une méthode d'emploi des ordinateurs se trouve être le meilleur pour tous : on assiste et on va assister plus encore à une multiplication des systèmes informatiques spécialisés qui tendent à répondre aux besoins précis d'une certaine catégorie d'utilisateurs. Ces systèmes n'ont de sens évidemment que s'ils répondent, effectivement, à des besoins bien précisés et réels, ce que seuls les utilisateurs peuvent savoir. Trop de tels systèmes ont été construits in abstracto et ensuite parachutés sur des utilisateurs qui n'en peuvent mais, s'en plaignent et n'ont aucune possibilité de les modifier ni d'en construire d'autres.

Page 23

Ainsi, les chercheurs et ingénieurs informaticiens doivent-ils collaborer effectivement avec des utilisateurs, et sans doute plus avec les utilisateurs de base, c'est-à-dire tous ceux qui auront à se servir, dans le cadre de leur travail, de systèmes informatiques qu'avec les utilisateurs "haut de gamme", directeurs ou responsables qui ont été, jusqu'à présent, leurs interlocuteurs habituels.

Pour prendre un exemple très précis, le meilleur système de traitement de texte sera celui qui se révélera le plus facile à apprendre et à utiliser par les innombrables personnes qui peuvent être amenées à le faire ; au premier rang de celles-ci se trouvent évidemment les très nombreuses secrétaires-dactylographes. Nous ne sommes pas sûrs, hélas, qu'on ait beaucoup demandé leur avis à cette catégorie de travailleurs dans la construction des systèmes existants. De fait, on peut considérer les fortunes réciproques de systèmes comme TEX et SCRIBE, le premier conçu a priori et abstraitement, présenté à l'American Mathematical Society comme une solution à tous les problèmes d'édition de textes mathématiques, l'autre beaucoup plus modeste, destiné à résoudre localement des problèmes d'édition. Incontestablement, c'est le second qui triomphe à l'usage : moins "beau", il est plus proche de ce que les usagers désirent,

sont prêts à apprendre et sont capables d'utiliser efficacement.

La recherche en informatique souffre plus que toute autre de l'ambiguïté fondamentale : la meilleure recherche est-elle celle qui permet à son auteur de faire le plus grand nombre de communications et d'articles uniquement destinés à ses pairs, ou bien celle dont l'utilité sociale et économique est la plus grande ?

En jugeant, parfois sévèrement, des fondamentalistes qui construisent modèles et théories on oublie trop souvent que ces modèles et théories, s'ils ne sont pas traductibles directement en systèmes efficaces, contribuent essentiellement à la connaissance du sujet et, donc, à la transmission de connaissances parties du savoir théorique et pratique aux élèves et étudiants, améliorant ainsi le niveau des acteurs futurs de l'informatique. En jugeant, parfois sévèrement, les auteurs de systèmes qui peuvent apparaître comme n'ayant pas grande originalité sur le plan conceptuel, mais qui fonctionnent bien, sont bien adaptés à leur objet et satisfont les utilisateurs auxquels ils sont destinés, on oublie trop souvent que la réponse à des besoins pratiques est un des buts essentiels de notre discipline.

A la fin de ce préambule nous voudrions signaler que l'informatique est sans doute en train de changer notre société. Mais si elle produit des outils nouveaux d'une incomparable efficacité dans certains domaines, elle n'apporte rien dans d'autres. Une base de données informatisée permettra des recherches que ne permettent pas des boîtes à chaussures remplies de fiches manuscrites et perforées pour être traitées par des systèmes mécanographiques antédiluviens. Nous ne pensons pas, au contraire, que l'informatique dise rien sur ce que doit être le contenu de ces fichiers : le métier de l'historien, de l'archéologue, du sociologue ou de l'ethnographe reste bien de remplir ces fiches des informations voulues et de savoir les utiliser. Le métier de l'informaticien est de concevoir, construire, enseigner des systèmes de stockage, manipulation, mise à jour et interrogation de l'information en question.

Il faut voir l'informatique comme une mutation des moyens de communication entre les hommes et femmes au travail, certains vont y perdre le savoir-faire qui fondait leur existence et leur utilité. D'autres y gagneront. La recherche et l'enseignement en informatique ont pour but essentiel d'organiser cette mutation : que ceux que l'on dépoussède d'une connaissance que la machine peut acquérir et exploiter plus vite et mieux, qu'eux n'y perdent pas trop ; que ceux qui acquièrent, grâce à la machine, des possibilités d'action et de réflexion considérablement accrues n'y gagnent pas un pouvoir qui, non partagé, serait de mauvais aloi et peu tolérable.

Ceci dit, la recherche en informatique doit obéir aux lois ordinaires de la recherche : une recherche pour pouvoir s'intituler ainsi doit être originale et utile. Elle doit principalement se traduire par un accroissement du savoir, c'est-à-dire par l'ajout aux stocks de connaissances acquises, d'autres connaissances qui soient énonçables, descriptibles, transmissibles, reproductives (s'il s'agit d'expériences). C'est sur de tels critères qu'on peut essayer de tracer la frontière entre recherche et développement, travaux à but scientifique et travaux à but industriel et commercial. Dans ce qui suit, nous émettons quelques idées-forces, incontestables à nos yeux, nous analysons la situation de la recherche française en informatique à la lumière de ces idées et in fine, nous proposons

quelques moyens pour remédier aux défauts de cette situation.

## 1.- L'INFOMATIQUE EST UNE SCIENCE.

Ceci veut dire qu'elle a constitué et entretient un corps de doctrine qu'il vaut mieux apprendre qu'essayer de réinventer, et qui ne s'apprend ni en un jour, ni en 6 semaines, ni en un an. Il existe des objets informatiques, en voici des exemples : les piles (et plus généralement les structures de données), les procédures (que l'on trouve dans tous les langages de programmation), les automates (un des grands moyens de modéliser et comprendre de nombreux phénomènes), les sémaphores, les rendez-vous (tous deux, moyens classiques de synchroniser des processus). On est très loin de connaître toutes les propriétés de ces objets et de savoir dans quelles circonstances ils peuvent se révéler d'une réelle utilité.

Il paraît difficile, aujourd'hui, de se dire informaticien si l'on n'a pas réfléchi sur la nature profonde et l'utilité pratique de ces objets, qui sont tous omniprésents : aussi tout progrès dans notre connaissance de ces objets intéresse toute l'informatique, c'est-à-dire est susceptible de se traduire par des progrès à tous niveaux (méthodologies de programmation, conception de systèmes, etc...). On a ainsi une notion de base fondamentale de l'informatique, ensemble de concepts, de méthodes pour les manipuler, de résultats qu'il est indispensable de connaître et important de faire progresser.

L'informatique entretient clairement des rapports privilégiés avec les mathématiques et l'électronique. Mais elle s'en distingue de façon décisive :

Page 25

- vis-à-vis des mathématiques, elle est la science du faisable (calculable) comparée à la science du possible. Elle s'occupe de structures que les mathématiciens disent pauvres, et auxquelles ils ne se sont jamais vraiment intéressés. Par exemple, les arbres sont au coeur de l'informatique la plus appliquée mais on peut poursuivre toute une carrière de mathématicien sans en entendre jamais parler, et ils ne figurent dans aucun curriculum.
- vis-à-vis de l'électronique, elle est une façon d'organiser et de décrire l'incroyable variété des mécanismes que les électroniciens construisent. Elle tente de substituer à une vision mécaniste et microscopique une vision fonctionnaliste et macroscopique : le circuit intégré de haute dimension (VLSI) s'il n'est qu'amalgame d'une centaine de milliers de transistors est incompréhensible, mais il prend un sens si l'on reconnaît et délimite des fonctions en son sein qu'il réalise et qui le composent.

De façon exemplaire, nous pouvons parler ici des rapports de l'informatique avec la logique mathématique qui est, malheureusement, très peu développée et très peu enseignée en France. Elle est pourtant le chapitre des mathématiques le plus utile à l'informatique dans tous ses aspects d'intelligence artificielle. Toute une façon nouvelle de programmer, de stocker et manipuler de l'information (non plus dans des

bases de données mais dans des bases de connaissances où les liens sémantiques sont énoncés sous forme de prédicats), ou de faire se mouvoir un robot dans son environnement est basée sur la notion de preuve dans un système de logique formelle. S'il y a en France quelques chercheurs travaillant dans ce domaine qui ont acquis une très grande réputation internationale que justifient pleinement la qualité et l'originalité de leurs travaux, on en voit beaucoup d'autres se lancer dans le domaine avec des connaissances de logique vraiment rudimentaires et le moins que nous puissions dire est que cela nous paraît risqué, et certainement peu efficace. (Mais combien d'entre les chercheurs ont eu l'occasion de se servir d'un bon démonstrateur automatique de théorèmes : ICF-Nm, GIPSY ou le Stanford Pascal Verifier?).

La logique mathématique pour importante qu'elle soit n'est pas le seul chapitre des mathématiques qui se trouve au coeur de la problématique informatique : la combinatoire, l'algèbre universelle, l'algèbre non commutative en sont d'autres, dans lesquels puisent l'essentiel de leurs outils la théorie et l'analyse des algorithmes, la sémantique des langages de programmation, la théorie et l'analyse des automates. Comme la logique, ces chapitres des mathématiques sont très peu enseignés, ignorés des préparations aux grandes écoles comme de la plupart des programmes de licences et maîtrises de mathématiques. Ce sont les informaticiens qui en enseignent un peu dans leurs propres curriculums, au milieu d'une foule d'autres choses.

Page 26

Nous voudrions être, ici, bien compris :

- l'informatique n'est ni une excroissance de la mathématique, ni une excroissance de l'électronique : elle a ses propres motivations et ses propres problèmes. Au centre est la notion de calcul que nous prenons ici au sens le plus général de suite d'opérations qu'une machine est susceptible d'accomplir et qui est nécessaire ou suffisante pour produire un certain résultat. Et l'informatique se nourrit beaucoup de l'idée que chacun se fait des réalisations concrètes de ces calculs (au travers de tous les systèmes qu'il peut connaître : réservation de places d'Air France ou de la S.N.C.F., auto-commutateurs téléphoniques, facturation de l'E.D.F., commande d'un robot, édition de texte et commande d'une photocomposeuse, etc...),
- les mathématiques et l'électronique fournissent des cadres conceptuels, des modes de raisonnement, des outils de réalisation, d'analyse ou de mesure qui sont à la fois indispensables et insuffisants, au sens qu'ils ont constamment besoin d'être adaptés et enrichis,
- la science informatique est faite de la réunion de ses motivations, de sa problématique et de tous les outils formels et concrets permettant de "mordre" sur une réalité fort complexe. Comme telle, bien que jeune, c'est une science vaste à laquelle il est très difficile de former les jeunes en peu de temps (2 ans de licence-maîtrise sont bien courts). Les progrès en matière d'architecture d'ordinateurs ne peuvent être le fait que d'une étroite collaboration entre chercheurs qui maîtrisent les moyens électroniques et chercheurs qui ont beaucoup réfléchi à ce qu'est le logiciel, le mieux étant encore d'avoir, c'est-à-dire de former, des chercheurs qui possèdent à la fois cette maîtrise du matériel et ont assez longuement

réfléchi à ce qu'est le logiciel (et sans doute faudrait-il qu'ils aient, également, une bonne connaissance des domaines d'application). La formation de tels chercheurs et la constitution du cadre dans lequel ils pourraient valablement travailler suppose une prise de conscience de l'ampleur des problèmes qui n'a pas vraiment eu encore lieu, ni chez les gestionnaires de la recherche en France, ni chez les dirigeants des principales firmes industrielles.

A ce point, il nous faut sans doute dénoncer plusieurs illusions et idées néfastes :

- la première consiste à nier la difficulté du problème et accréditer l'idée qu'avec suffisamment d'astuce on va s'en sortir. Ceci n'est pas vrai : pas plus en informatique qu'ailleurs on ne peut confondre virtuosité et profondeur. Quelqu'un peut se faire plaisir en construisant un système qui satisfait ses besoins personnels : s'il ne peut, faute de temps ou faute d'y avoir suffisamment réfléchi, communiquer à d'autres soit son système, soit les idées qui le sous-tendent, cela ne sert à rien. D'autre part, partir avec les meilleures idées du monde pour réaliser un système à partir de zéro ou presque, c'est aller, le plus souvent, vers l'échec, mais c'est malheureusement ce que l'on voit se produire très fréquemment,
- la seconde est de penser que toute théorie est bonne. Aucun domaine n'a donné lieu autant que l'informatique à des débauches de théories. Or, une théorie n'a de valeur que si elle explique quelque chose, permet de comprendre mieux un phénomène, et peut servir de base à la conception de quelque nouveau système. Il ne suffit pas d'utiliser toutes les ressources de l'alphabet grec, gothique ou cyrillique pour qu'une théorie ait une valeur quelconque. Le moins qu'on puisse lui demander est que d'autres s'y reconnaissent, s'en servent et le disent. Bref, une théorie doit s'expérimenter, faire la preuve de son intérêt,
- la troisième est de négliger la théorie. Les systèmes informatiques ont une fâcheuse tendance à être complexes : pour l'instant on n'y peut pas grand chose ; si quelqu'un avait trouvé le moyen de les rendre simples, on n'en parlerait plus, il aurait sans doute fait fortune et ce rapport serait sans objet. La théorie est un cadre et un support de la pensée et c'est par son intermédiaire que les connaissances se communiquent, en particulier, ce qui est fondamental, aux jeunes.

Page 27

Un des objectifs importants de la recherche à venir est de rendre communicable et transmissible tout un savoir et un savoir-faire, en matière de matériel et logiciel, fait d'expérience, de "tours-de-mains" et d'idées dont beaucoup sont, aujourd'hui, assez ineffables. Il n'est pas certain et même nous doutons fortement que cette transmission de savoir et savoir-faire puisse se faire entièrement par les moyens habituels de communication "scientifiques" dans des congrès et revues spécialisés et de cours magistraux. Il faut donner à tous l'usage de l'outil concret qu'est un système, même si l'on admet que les outils conceptuels sont suffisamment bien décrits dans des publications en forme mathématique (ce qui n'est pas sûr du tout). Nombre de théories et formalisations ont sombré dans un oubli immédiat parce que, précisément, elles épousaient la forme des publications scientifiques traditionnelles et n'étaient pas relayées par une

mise en oeuvre concrète. Réciproquement, des systèmes intéressants, faute d'avoir été assez documentés, ont eux aussi très vite disparu.

Il n'en reste pas moins que l'informatique est et doit rester une science avec tout ce que cela comporte au plan de Page 28

- l'acquisition d'un savoir irréfutable et la possibilité de l'accumuler,
- la possibilité de diffuser et de transmettre ce même savoir,
- la reproductibilité de toutes les expériences faites, la précision des limites d'applicabilité de telle ou telle méthode et des conditions de validité de tous les systèmes expérimentaux.

## **2. - L'INFORMATIQUE EST UNE SCIENCE APPLIQUÉE LIÉE À UNE INDUSTRIE**

Toute idée nouvelle en informatique est susceptible de déboucher rapidement sur des améliorations de produits industriels ou sur de nouveaux produits. L'industrie informatique, en plein essor, a le plus grand besoin d'idées nouvelles et au moins aux Etats-Unis en est fort avide. La rapidité avec laquelle sont exploités les résultats de la recherche aux Etats-Unis est assez étonnante et c'est elle qui a permis à un grand nombre de firmes d'être créées récemment et de prospérer. Chercheurs et ingénieurs sont appelés, ainsi, à bien se connaître et à collaborer réellement. C'est à ce niveau que nous voyons bien des défauts à la situation française actuelle.

Le problème est celui des rapports de la recherche et du développement.

La recherche a pour but l'exploration d'idées nouvelles et l'élargissement d'un corps de doctrine ou savoir informatique (cf. 1).

Le développement intervient quand il s'agit de réaliser un produit informatique ; ce que nous entendons par produit, c'est un système (matériel + logiciel) :

- qui répond aux besoins d'une certaine clientèle,
- qui est correctement validé, documenté et maintenu.

L'évaluation et la définition d'un besoin réel d'une certaine clientèle suppose une connaissance de l'utilisation qui est faite de l'informatique sur le terrain, dans les divers secteurs d'activité socio-économiques, que, sauf exception, les chercheurs n'ont pas et n'ont pas non plus vocation à posséder.

La définition ou spécification du produit qui pourrait répondre à ce besoin et l'étude de sa faisabilité supposent :

- une connaissance des coûts de production industriels,

- des études de marché et une prospection commerciale,
- un recours, surtout si le produit doit être très nouveau, à toutes les ressources de l'ergonomie, voire de la psychologie ou la sociologie.

La réalisation du produit lui-même, dont la valeur ne peut être mesurée qu'en comparant les coûts de production aux espoirs de gains pouvant résulter de sa vente, exige que tout au long du processus soient maintenues des normes de prix et de délais tout à fait étrangères au monde de la recherche.

Enfin, la certification, la documentation, la diffusion et la maintenance (service "après-vente") d'un produit informatique posent des problèmes, qu'à l'évidence, aucun laboratoire de recherche n'a les moyens ni la vocation de résoudre.

Même si de nombreux chercheurs ont, et il est bon qu'ils aient, une certaine connaissance dans tous ces domaines (besoins, coûts, ergonomie...) et si cette connaissance leur permet d'orienter leur recherche vers des "réalisations potentielles de produits", ils n'ont aucun moyen de se lancer dans la définition et la réalisation réelles de ces produits : il y a aussi une question d'argent qui intervient. Le développement d'un produit informatique coûte plus cher que l'expérimentation de l'idée qui le sous-tend (même si celle-ci a donné lieu à la construction d'un prototype).

Il nous faut alors combattre deux illusions aussi néfastes l'une que l'autre :

- celle de chercheurs qui croient, parce que, avec une petite équipe qui les entoure, ils se sont intéressés à un problème "réel" et préconisent une "solution", qu'obligatoirement l'industrie doit suivre et qui ne comprennent pas qu'elle ne le fasse pas,
- celle d'industriels qui ont cru pouvoir se reposer sur des équipes de chercheurs, mal financées par le biais de contrats, pour faire ce qui est du développement (au sens indiqué plus haut) beaucoup plus que de la recherche.

Ces deux illusions vécues pendant ces dernières années ont abouti à des conséquences assez désastreuses :

- beaucoup de chercheurs se sont perdus car, au lieu de faire de la recherche, développer des idées nouvelles, enrichir le savoir commun, ils se sont lancés, contrats aidant, dans des entreprises qu'ils ne pouvaient mener à bien. Le logiciel quel qu'il soit (compilateur, interpréteur, système...) sorti d'un laboratoire universitaire peut être intéressant et prometteur mais il ne correspond pas aux normes d'exploitation qui conditionnent, impérativement, l'avenir des produits industriels ;
- beaucoup d'industriels ont mal mesuré les coûts du développement et voulu croire qu'ils arriveraient à se doter de "bons" logiciels en faisant travailler sur contrat des chercheurs incapables de les réaliser entièrement. Cela a entraîné une déficience évidente du logiciel de pointe d'origine française ;

- en même temps, on a négligé l’aspect qui nous paraît essentiel de la diffusion du savoir informatique par les chercheurs, alors que cette diffusion devrait être un de leurs rôles principaux (il s’agit là du savoir de pointe, il ne s’agit pas de transformer les chercheurs en enseignants).

Nous pensons qu’il faut modifier tous les rapports entre recherche et développement en informatique en France, et sans doute la nature et le contenu des contrats passés entre firmes industrielles et laboratoires de recherche :

- les chercheurs doivent rester des chercheurs, avant tout soucieux de valoriser et enrichir un stock de connaissances en y rajoutant des idées nouvelles ou en se livrant à des expériences judicieusement conduites, et ils doivent avoir la possibilité de poursuivre leurs entreprises jusqu’au bout sans se soucier de la rentabilité économique, ni avoir à passer trop de temps à chercher les moyens dont ils ont besoin ;
- les ingénieurs sont, au contraire, chargés d’assembler en fonction de nombreux paramètres des idées, des techniques, des matériaux pour fabriquer des produits. Cet assemblage ne peut aller sans compromis avec leurs direction générale ou commerciale ou avec les clients potentiels. Il leur appartient, non seulement de déployer les méthodes indispensables pour faire fonctionner les grosses équipes chargées du développement, mais aussi de savoir saisir une idée avant qu’elle ait atteint son stade ultime, et que plusieurs années d’efforts sont peut-être nécessaires pour concrétiser ?

Une des raisons du succès de l’industrie informatique aux U.S.A. est là : les industriels savent choisir les idées les plus facilement exploitables, les exploiter vite et les vendre sans trop se soucier de perfection (les exemples en sont nombreux). Nous ne saurions trop insister sur les deux nécessités pour les industriels :

- de faire l’effort de développement suffisant qui peut-être long et coûteux pour des produits essentiels(logiciel grand public, compilateur FORTRAN, tel celui de la HP 3000 qu’entretiennent et améliorent en permanence 30 personnes dont plusieurs docteurs de PHD de Stanford, Berkeley et autres lieux),
- d’avoir des réactions rapides aux idées nouvelles, une structure assez souple pour les saisir au vol et les faire germer avant leurs concurrents (nous imaginons bien des ingénieurs aller chercher ces idées dans les laboratoires où elles sont susceptibles d’apparaître, plutôt que d’attendre que les chercheurs les proposent : le temps ainsi perdu peut faire toute la différence entre le succès et l’échec commercial).

Aux chercheurs appartient donc l’écriture de prototypes de systèmes : la souplesse des structures de recherche, l’agilité d’esprit de maints jeunes chercheurs (formés aux meilleures méthodes), le fait qu’ils peuvent ignorer de nombreux paramètres liés à la rentabilité de ce qu’ils font et se concentrer entièrement sur la poursuite d’une idée

rendent possible la construction d'assez gros logiciels par des équipes peu nombreuses et sans support technique (chroniquement les laboratoires manquent de techniciens pour deux raisons au moins : une absence de postes, sur laquelle d'ailleurs on peut s'interroger longuement, et une grande difficulté à trouver et maintenir sur les postes de techniciens qui existent, des gens compétents et expérimentés qui peuvent, très facilement, vendre leur compétence et leur expérience beaucoup plus cher ailleurs). Avec ce qu'il faut de bons matériels et logiciels de base et la foi nécessaire, des chercheurs peuvent, sans nul doute, réaliser des systèmes expérimentaux de grande dimension jusqu'au stade où ces systèmes peuvent démontrer leur utilité ou leur nouveauté. Et c'est bien là que se situe la recherche.

Par contre, le développement d'un produit quelconque informatique ne peut être le fait que d'équipes assez nombreuses et très professionnelles qu'il est impossible de rassembler dans des laboratoires de recherche. Entre le prototype qui peut sortir d'un laboratoire et le produit qui peut en résulter, il y a un travail considérable à faire, souvent pas très drôle et sans prestige, exigeant du temps, des compétences et beaucoup de sérieux.

Une des difficultés majeures de notre discipline est là d'ailleurs : la mise au point de gros logiciels est une tâche longue et difficile que l'on a beaucoup de mal à rationaliser. La spécification de la tâche de chacun, c'est-à-dire le découpage en morceaux du problème global, est difficile. L'échange d'informations entre les groupes attachés à la réalisation de chaque morceau est difficile. Le recollage des morceaux, la vérification de la cohérence de l'ensemble est extrêmement difficile. Ces activités qui ressortissent à l'art de l'ingénieur plus qu'à une théorie scientifique, sont prenantes et mobilisent toute l'énergie et la capacité intellectuelle de ceux qui y sont engagés : ils n'ont guère le temps de penser à autre chose. C'est en ce sens que nous voyons le métier d'ingénieur différent de celui de chercheur, même s'il est possible et souhaitable que l'on puisse exercer ces deux métiers en alternance.

Nous ne voulons pas dire, en effet, bien au contraire, que l'on doive être chercheur à vie ou ingénieur à vie. L'idéal serait, sans doute, que l'on soit alternativement l'un et l'autre : cela permettrait que les problèmes difficiles du développement soient mieux appréhendés par la recherche et sinon résolus, du moins améliorés par une réflexion que souvent les ingénieurs, faute de temps, ne peuvent conduire. Cela permettrait aussi de donner à la problématique des chercheurs une assise qui lui fait parfois défaut, et aux acteurs du développement une puissance d'imagination qu'ils n'exercent, généralement, pas assez.

Page 32

Là, il faut dénoncer la grande difficulté que nous constatons plus que nous l'expliquons des déplacements de chercheurs et ingénieurs des laboratoires vers l'industrie et réciproquement. Et il nous faut, sans doute aussi, parler de la quasi-totale impossibilité pour les uns et les autres de créer leur propre firme : on sait le rôle majeur que jouent, en Amérique, les petites boîtes ainsi fondées par quelques transfuges d'une grosse boîte ou 2 ou 3 chercheurs ayant une idée. Ce sont eux qui font bouger les choses, et il importe peu à la limite qu'ils réussissent ou doivent, au bout de quelque temps, se revendre ou laisser absorber. Mais où est, en France, le "venture capital" qui est prêt à s'investir dans ce genre d'aventure à haut risque ?

Les contrats liant les laboratoires de recherche et l'industrie doivent tenir compte de ce problème :

- les chercheurs peuvent participer à un effort de développement en y apportant leurs connaissances, leur enthousiasme et leurs idées, en dialoguant avec tous les ingénieurs et techniciens chargés du projet. Ils ne peuvent pas se charger eux-mêmes de responsabilité dans cet effort. Nous pensons que si les termes des contrats étaient plus clairs qu'ils ne sont généralement aujourd'hui, l'immense majorité des chercheurs serait prête à contribuer et à apporter le meilleur d'eux-mêmes à des efforts de développement. Ce n'a jamais été de gaieté de coeur que les chercheurs français ont constaté que seuls des matériels américains pouvaient répondre à leurs besoins et ils sont prêts à suivre le moindre espoir que des matériels français puissent les remplacer ;
- les ingénieurs suroccupés quand ils participent à une entreprise de développement dans laquelle le facteur temps joue un rôle décisif, ont tout à gagner à un contact fréquent, facile, confiant avec des chercheurs. Tous le souhaitent. Eux aussi n'ont qu'une envie, que ce qu'ils développent soit bon, compétitif, ait des chances de succès et ils savent très bien ce que les chercheurs peuvent leur apporter ;
- ainsi les contrats devraient-ils être des contrats de coopération ou collaboration et non, comme trop d'entre eux le sont aujourd'hui, des contrats de sous-traitance. Déléguer le traitement d'une partie de projet à un laboratoire de recherche, c'est s'exposer à la voir mal traitée, à moins, évidemment, que le laboratoire soit peuplé d'ingénieurs et techniciens prêts à respecter les normes industrielles (mais peut-il encore être dit laboratoire de recherche?) ;
- l'échange recherche-industrie que représentent ces contrats ne doit pas ressembler aux "traités inégaux" qui ont lié l'Occident à la Chine et au Japon. On attend des chercheurs une compétence et des idées, ce qu'ils doivent pouvoir acquérir sans avoir besoin des contrats en question (voir plus loin le paragraphe sur le financement). Le temps qu'ils y consacrent et l'énergie qu'ils y déploient doivent être rémunérés à leur juste prix. Ce n'est que sur cette base d'indépendance et d'égalité que peut se développer une fructueuse collaboration à laquelle les uns et les autres ont beaucoup à gagner.

Page 33

Dans la situation actuelle, il y a hélas entre la recherche et l'industrie, ou plutôt les chercheurs et les ingénieurs, des écrans assez opaques :

- une méconnaissance mutuelle assez profonde. Les ingénieurs de l'industrie n'ont pas le temps et ne sont nullement incités à venir voir ce qui se passe dans les laboratoires. Les chercheurs ont très peu de possibilités de pénétrer le monde industriel : autant il leur est assez facile d'accéder aux étages de direction, autant aller dans les secteurs de développement et de production est difficile (l'obstacle du secret industriel devrait pouvoir être levé entre chercheurs publics et entreprises nationalisées) ;

- une difficulté intrinsèque à négocier des contrats et l'intervention de trop de parties étrangères à l'objet scientifique ou technique des contrats. Le résultat est qu'on leur demande trop ou trop peu, et qu'en plus, leur passation est d'une désespérante lenteur (ainsi un laboratoire universitaire ne peut "vivre" de contrats que s'il en a tout un volant, ce qui l'oblige souvent à en signer qui ne sont ni nécessaires, ni intéressants, et la lenteur fait que les laboratoires ont tendance à proposer des contrats sur des sujets soit achevés, soit marginaux, ce qui aboutit, évidemment, au contraire de l'effet recherché);
- les laboratoires de recherche des grandes firmes industrielles ont un rôle essentiel à jouer qui n'est pas toujours bien compris. Aucune firme en France n'a la taille voulue pour entretenir un laboratoire de recherche qui recouvre tous les aspects de l'informatique. Localement, existent des groupes qui font de l'excellent travail. Il nous semble que ces laboratoires devraient avoir un rôle d'intermédiaire : les chercheurs qui les habitent ont avec les chercheurs non industriels un contact facile, que l'on devrait faciliter plus encore (en leur donnant plus de latitude pour faire des cours de DEA, participer à des séminaires et colloques ou, simplement, poursuivre un dialogue). Ce sont eux qui sont les plus à même de traduire les idées des chercheurs publics, éloignés par la force des choses des réalités industrielles, en un message que les ingénieurs et techniciens chargés du développement et de la production peuvent entendre. Sans vouloir minimiser leur apport propre à la recherche, il semble raisonnable de leur assigner un rôle de médium : encore faut-il, bien sûr, qu'ils aient avec les autres secteurs de leurs firmes des rapports plus confiants que ceux que peuvent entretenir les chercheurs du secteur public.
- très généralement, le nombre de chercheurs ou ingénieurs ou techniciens français compétents sur un sujet précis est faible. Ce qu'il faut, c'est arriver à faire confiance à ce très petit nombre de gens et les libérer de la contrainte d'avoir, avant de pouvoir agir, à convaincre un nombre élevé de technocrates, fonctionnaires, dirigeants d'entreprises qui ne sont pas compétents sur le dit sujet. A côté des grands choix technologiques, industriels et politiques qu'il faut faire, il y a un fourmillement d'idées et de talents à encourager et à pousser et sans doute faut-il encourager, aussi, tous les regroupements possibles.

Page 34

En conclusion de ce paragraphe, nous ne croyons pas possible de tracer plus précisément que nous ne l'avons fait, la frontière entre recherche et développement. C'est avant tout une question d'attitude personnelle des acteurs de ces deux secteurs et, aussi, de moyens mis en oeuvre. Nous croyons aussi que l'industrie française n'a pas assez investi en matière de logiciel et que c'est peut-être là la source principale des maux décrits plus haut.

S'il est permis de rêver aux auteurs d'un rapport officiel, nous rêvons d'une situation dans laquelle :

- les chercheurs, quels qu'ils soient, auraient un accès facile à tous les départements industriels où l'on développe des produits informatiques et pourraient

puiser, dans ce qu'ils y observeraient, des sources d'inspiration ou de bonnes raisons d'orienter leur recherche dans telle ou telle direction ;

- les ingénieurs de l'industrie se promèneraient dans les laboratoires de recherche et auraient la possibilité d'"acheter" dans l'instant une idée qui leur paraîtrait intéressante et prometteuse ;
- les chercheurs disposeraient de moyens propres (Université, CNRS) suffisants pour ne pas dépendre de contrats et, partant, pouvoir ne passer que ceux qui correspondent vraiment à leur intérêt le plus profond ;
- les ingénieurs et techniciens de l'industrie pourraient bénéficier très librement du savoir, qu'incontestablement détiennent des chercheurs qui ont le temps et la volonté d'être, à chaque instant, à la pointe d'un certain progrès, et les chercheurs-enseignants et étudiants bénéficieraient, de la même façon, du savoir-faire et de l'expérience accumulés par les ingénieurs.

Il serait tout à fait vain de se voiler la face et de refuser de voir que cette situation idéale ne pourra jamais être atteinte si les incitations financières ne sont pas là. Le dynamisme de la recherche en informatique aux U. S. A. vient beaucoup de ce que l'informatique est un domaine dans lequel on peut faire fortune, sur une idée, avec beaucoup de travail.

S'il est un domaine où il faut tout mettre en oeuvre, et en particulier le moteur financier, pour faciliter les rapports entre la recherche et l'industrie, c'est bien l'informatique.

### **3.- L'INFORMATIQUE EST UNE SCIENCE JEUNE ET EN PLEINE EXPANSION**

Page 35

La jeunesse de l'informatique se traduit par une pyramide des âges des informaticiens tout à fait différente de ce qu'elle est dans des sciences établies depuis longtemps.

Les informaticiens de plus de 45 ans se comptent par unité.

Ceux qui ont entre 35 et 45 ans se comptent par dizaines.

Ceux qui ont entre 25 et 35 ans se comptent par centaines.

Les plus jeunes se comptent par milliers.

Sans être grands sociologues, nous pouvons affirmer qu'il s'ensuit des problèmes graves d'encadrement.

Si l'on regarde, non plus les informaticiens, mais les problèmes qui se posent à eux, on aboutit au même résultat qui est un décuplement en 10 ans. De toute façon, l'informatique nous envahit : il est peu de secteurs d'activité qui y échappent et le rapport de la mission conduite par M. Abel Farnoux a justement conclu à la nécessité de former,

très rapidement, un très grand nombre d'informaticiens, ou de gens suffisamment formés à l'informatique pour l'utiliser avec profit.

Ce que l'on sait des moyens mis en oeuvre dans des pays développés comme les U.S.A., le Japon, le Royaume Uni, la R.F.A. et l'Italie, achève de convaincre qu'un effort essentiel doit être accompli.

Nous voulons, ici, examiner les conséquences de ces phénomènes sur la recherche en informatique :

- à une multiplicité de problèmes répond une multiplicité d'équipes. Malheureusement, beaucoup de ces équipes sont trop petites, quelle que puisse être la valeur incontestable et reconnue de leurs membres. On assiste à une atomisation de la recherche accentuée par les problèmes de moyens et de contrats qui, à terme, peut être très préjudiciable à l'ensemble de l'effort de recherche en informatique en France ;
- sur de nombreux sujets et, notamment, ceux qui nous occupent (informatique fondamentale et programmation), une équipe ne peut mener à bien un effort sérieux de recherche que si elle est assez nombreuse. En matière de logiciel, c'est tout à fait évident. Bien peu d'équipes de chercheurs français ont la "taille" suffisante pour aboutir soit à des prototypes de systèmes, soit seulement à un réel enrichissement du corps de doctrine nécessaire. Par "taille" nous entendons le nombre pondéré par la qualité des membres; s'agissant de recherche, rien ne peut s'accomplir si les "jeunes" ne trouvent pas une direction ferme, compétente et efficace dans la personne d'un "moins jeune" assez expérimenté;
- les chercheurs expérimentés "ayant de la bouteille", susceptibles de diriger efficacement des jeunes sont relativement peu nombreux : ceci se voit très bien si l'on examine les formations de DEA où l'on voit plusieurs professeurs n'ayant d'autre choix que d'accepter 4, 5 ou 6 apprentis chercheurs par an, ce qui fait vite avec les thésards d'Etat qu'ils peuvent aussi encadrer, une dizaine ou une douzaine de chercheurs qu'un professeur est amené à guider et conseiller. (Aux États-Unis, la norme est de 3). Cela amène à une grande inefficacité, et à des occasions de surmenage qui ne sont profitables à personne ;
- les chercheurs chevronnés, susceptibles, eux, de rassembler plusieurs chercheurs expérimentés autour d'un projet commun, c'est-à-dire d'animer et de faire vivre un laboratoire ou quelque groupement d'équipes, tel que les GRECO du CNRS, ou les GIP, GIE dont on parle, sont encore moins nombreux. Il paraît pourtant essentiel de provoquer des rassemblements si l'on veut s'attaquer à de gros problèmes, qu'une équipe seule ne peut songer à résoudre. En fait, il faudrait dans certains cas pouvoir véritablement mobiliser, rapidement, un certain nombre d'excellents chercheurs pour exploiter une idée (par exemple, un nouveau langage ou une nouvelle architecture de machine). Ceci suppose une certaine disponibilité que n'ont pas la majeure partie des chercheurs, aujourd'hui surchargés.

La pénurie de chercheurs expérimentés, confirmés ou chevronnés ne se manifeste pas que dans les laboratoires. Toute science évolue, l'informatique aussi, actuellement,

très vite. Un problème peut apparaître soudain comme très intéressant, d'autres qui l'étaient peuvent perdre leur intérêt. De grandes options sont à prendre et à maintenir le temps nécessaire, des orientations doivent être données. En général, c'est le corps des chercheurs expérimentés qui, d'une certaine manière, indique les problèmes intéressants, choisit des options et, ainsi, oriente une discipline : cela ne se fait pas de façon officielle ni contraignante, simplement, les chercheurs expérimentés sont assez nombreux pour que leur voix s'entende dans la presse, dans les grands organismes de recherche ou de financement de la recherche, dans les ministères, dans les étages de direction des grandes firmes. En informatique, la voix des chercheurs s'entend très peu, elle est couverte par le bruit qui nous vient d'Amérique ou du Japon, bruit qui est beaucoup fait de publicité plus ou moins mensongère (il faut noter que l'absence de chercheurs informaticiens dont la voix soit très écoutée, se fait aussi sentir dans ces pays). L'Informatique apparaît ainsi comme très désordonnée, tout ce qui semble nouveau venu de la Californie est considéré, a priori, comme intéressant, toutes les questions posées le sont sur un pied d'égalité et la recherche s'éparpille en autant de fragments. On ne s'en sortira pas si l'on ne hiérarchise un peu les problèmes, en désigne quelques-uns comme importants ou fondamentaux et choisit des créneaux d'action.

Page 37

L'éparpillement actuel, la faiblesse de chaque équipe et l'absence de politique claire ne sont, certainement pas là, bons moyens de rentabiliser au mieux l'effort important de recherche qui est fait en France, ni de valoriser les acquis et les compétences, certains remarquables, qui existent aujourd'hui dans notre pays.

Nous croyons pouvoir dire aussi que certaines erreurs ont été commises, dans le passé, comme celle qui a consisté à négliger l'importance du logiciel et à ne pas faire un investissement suffisant dans ce domaine, et que ces erreurs auraient été évitées si l'on avait écouté les rares chercheurs clairvoyants qui n'ont cessé de proclamer l'intérêt fondamental de l'étude du logiciel (sous toutes ses formes, langages, sémantique, compilation, systèmes, environnements de programmation, éditeurs, interrogation de bases de données et bases de connaissances, etc...).

Nous proposons nettement que pour permettre à la voix des chercheurs en informatique d'être entendue, il soit constitué un collège de tels chercheurs informaticiens de haut niveau, auprès, par exemple, du Ministère de l'Industrie et de la Recherche qui se prononcerait sur toutes ces questions, publierait périodiquement un état de la recherche soulignant ce qui a été réalisé d'important et indiquant les domaines dans lesquels il lui semble qu'un effort doit être fait et a de bonnes chances de succès.

Les membres de ce collège, périodiquement renouvelés, devraient avoir de puissants moyens d'information et de publication et réellement travailler, évaluer les rapports de fin de contrats qui lui seraient soumis, rencontrer tous les chercheurs français ou étrangers, les industriels, les syndicats, les groupements d'utilisateurs qui peuvent contribuer à leurs travaux.

C'est seulement ainsi que l'on pourra dégager une véritable politique de l'informatique et éviter que la recherche et l'industrie dans ce domaine ne soient, comme c'est le cas aujourd'hui, en train de courir derrière ce qui se fait dans d'autres pays, sans

avoir vraiment les moyens de le rattraper.

La constitution de ce collège d'experts fait l'objet d'une annexe à ce chapitre.

Il est navrant, par exemple, de voir des langages de conception française tels ADA et PROLOG plus étudiés dans des pays étrangers que dans le nôtre, de constater qu'on considère souvent en France UNIX comme une nouveauté, alors que c'est aux U.S.A. un outil d'usage courant depuis plusieurs années, de constater aussi le très peu d'audience que rencontrent les résultats de certaines recherches faites en France, qui nous paraissent d'excellente qualité (un peu dans tous les domaines, nous ne les nommerons pas dans ce document; il s'agit d'ailleurs d'un sentiment et avant de pouvoir affirmer leur qualité et leur intérêt, il faudrait avoir le temps de les étudier assez à fond, de les comparer à d'autres semblables et d'en mesurer les conséquences).

Page 38

Nous ne pensons pas que des expédients, hâtivement mis en oeuvre, nous tirent d'affaire : pas plus le recyclage de chimistes et physiciens, en peu de mois, pour les transformer en enseignants d'informatique que l'enseignement de l'informatique qu'ils connaissent très mal à des chômeurs par des élèves de grandes écoles, ne résoudre aucun problème.

La formation des professionnels de l'informatique, enseignants, chercheurs, ingénieurs, techniciens dont nous manquons exige une autre sorte d'effort. Tout nous a convaincus que c'est bien d'informaticiens de haut niveau que l'industrie et la recherche de notre pays ont besoin. Nous pensons aussi qu'elles ont besoin, toutes deux, de projets à long terme qui tenteraient de tirer parti de l'acquis remarquable sur certains points de la recherche et de puissantes possibilités de l'industrie, pour cesser de faire du suivisme et de la copie et, au contraire, essayer de nous mettre en position d'innover vraiment à terme de 4 ou 5 ans.

## **4.- L'INFORMATIQUE A BESOIN DE CHERCHEURS ET INGÉNIEURS**

Cette assertion est parfaitement démontrée et chiffrée dans le rapport déjà cité de M. Abel Famoux. Nous ne ferons, ici, qu'appuyer ces conclusions et étudier divers moyens de former au mieux ces chercheurs et ces ingénieurs.

Les problèmes de formation initiale ont fait l'objet de la première partie de ce rapport. Il reste, ce qui nous paraît essentiel, le problème de la formation par la recherche.

Comme principes de base nous poserons que :

- tout chercheur et tout ingénieur en informatique doit avoir une expérience de recherche correspondant au niveau actuel d'un docteur de 3ème cycle ou docteur-ingénieur;
- il ne doit pas y avoir de différence entre la formation d'un chercheur (3ème cycle) et celle d'un ingénieur (docteur-ingénieur).

Expliquons-nous sur ces deux points :

- deux ans de travail après une formation initiale poussée (voir notre 1er chapitre) est le minimum pour véritablement toucher du doigt les difficultés inhérentes à la recherche, pouvoir s'aventurer sur un terrain inconnu et en tirer quelque chose, que ce soit théorème ou système expérimental, présentant une certaine originalité ;
- la publication des fruits de ce travail est fondamentale : que ce soit une publication sur papier, c'est-à-dire la centaine de pages que comporte une thèse de 3ème cycle ou de docteur-ingénieur, ou bien (comme nous en avons introduit l'idée plus haut) la diffusion d'un système informatique vraiment utilisable (c'est-à-dire suffisamment documenté, suffisamment vérifié...), la difficulté est la même : il s'agit de faire passer un message et de rendre une idée communicable ;
- proposer qu'ingénieurs et chercheurs reçoivent la même formation par la recherche revient à liquider, une fois pour toutes, la querelle de la pratique et de la théorie, fausse et artificielle querelle qui a beaucoup nui à l'informatique, pas seulement en France à vrai dire.

Page 39

Il existera toujours des gens qui, de par leur caractère ou la formation qu'ils ont initialement reçue, ont plus tendance à l'abstraction et d'autres qui ont plus tendance à la concrétisation. Mais l'informatique consiste bien à théoriser des idées pratiques et à mettre en pratique des idées théoriques et, d'autre part, nous l'avons vu, il est important de faire dialoguer chercheurs et ingénieurs, le meilleur moyen étant, certainement, qu'ils aient reçu des formations similaires.

Il est malheureusement vrai que le système universitaire actuel a du mal à évaluer des thèses d'informatique pratique et sans doute tendance à privilégier les travaux les plus théoriques, qu'il est plus facile de couler dans le modèle connu des thèses de mathématiques. Ceci est un défaut qui peut et doit être corrigé, la constitution d'une section autonome d'informatique fondamentale et appliquée au sein du Conseil Supérieur des Corps Universitaires devant y aider.

Pour mettre en oeuvre ces formations, il semble bon que des thèses soient doublement dirigées par un enseignant chercheur confirmé et un ingénieur, et sans doute effectuées en milieu industriel, cette double direction impliquant un accord profond entre les deux directeurs sur le sujet et la façon d'en conduire l'étude (là, on se heurte sans doute au problème du manque de disponibilité des ingénieurs de l'industrie, mais ceci est sans doute remédiable avec un peu de bonne volonté de la part des directions de firmes industrielles). On préparerait ainsi ces gens susceptibles d'être aussi bien des bons chercheurs que de bons ingénieurs dont l'existence à terme arrivera, sans doute, à modifier profondément les rapports de la recherche et de l'industrie.

En dehors de la formation des chercheurs et ingénieurs se pose le problème de leur recyclage permanent.

Un chercheur, un ingénieur, un enseignant ou un technicien qui a appris à programmer il y a 10 ans et n'a pas eu l'occasion de parfaire ses connaissances sur un

matériel plus moderne, ne sait plus programmer (c'est le cas, hélas, de beaucoup de gens). De fait, le paysage change en 5 ans, qui est le temps que peut durer un projet absorbant toutes les facultés d'un individu au point de l'empêcher de se "tenir au courant" dans le foisonnement des publications, idées nouvelles, matériels nouveaux, etc...

Périodiquement, il faut faire le point et ceci devrait être un des rôles principaux des chercheurs qui auront le temps de se mettre constamment au courant. C'est à eux de faire des synthèses, que ce soit sous forme de cours ou sous forme d'ouvrages. Sous forme de cours, beaucoup le font : les cours de DEA sont bien de telles synthèses avancées qui présentent, sous forme ramassée, un peu de la recherche allant jusqu'aux résultats les plus récents. si peu le font sous forme d'ouvrage, il faut sans doute incriminer l'absence d'années sabbatiques et le triste état de l'édition scientifique en France.

Les DBA devraient être très clairement conçus comme un moyen de recyclage permanent, ouvert à tous. Systématiquement, c'est dans ce cadre que doivent s'exprimer enseignants et chercheurs, mais aussi les ingénieurs qui détiennent un savoir que les chercheurs n'ont pas (nous avons souligné, plus haut, que c'est le cas de tous les problèmes de conception de machines, mise en oeuvre de gros logiciels, économie et ergonomie du logiciel et de l'emploi de l'informatique dans de grands secteurs d'application).

S'agissant de DEA, il faut souligner :

- leur manque uniforme de moyens : ils ne peuvent tourner qu'en utilisant les moyens des laboratoires de recherche auxquels ils sont souvent associés, moyens eux-mêmes faibles et qui se trouvent ainsi diminués. si une osmose entre enseignement et recherche est souhaitable, elle ne doit se faire au détriment ni de l'un, ni de l'autre ;
- le manque de bourses, que ce soit bourses de docteur-ingénieur ou allocations de recherche DGRST, ou toutes autres. On arrive au paradoxe de ne pas pouvoir donner de telles bourses à des jeunes qui ont montré toutes les aptitudes voulues et la volonté nécessaire à faire un travail de thèse, à un moment où l'on souffre d'un manque d'informaticiens hautement qualifiés. Il faut souligner l'hétérogénéité de ces bourses aussi et le fait que certaines sont, vraiment, d'un montant trop faible.

Il n'y a aucune raison d'aucune espèce pour que les recyclages en informatique se passent dans les hôtels 4 étoiles et coûtent des prix exorbitants, sans même offrir des garanties convenables de sérieux et de compétences dans bien des cas. Il n'y a non plus aucune raison pour que le un pour cent de la Formation Professionnelle et Continue alimente tout un tas de boîtes offrant des cours d'informatique hors prix, d'une qualité souvent discutable. Il vaudrait mieux laisser à l'Université jouer ce qui doit être pleinement son rôle, l'accumulation des connaissances et leur diffusion en permettant aux ingénieurs qui le désirent d'y être pleinement associés.

## 5.- L'INFORMATIQUE COÛTE MOINS CHER QUE LA PHYSIQUE MAIS COÛTE CHER QUAND MÊME

Page 41

Ceci pose le problème de son financement sur lequel il y a un grand nombre de remarques à faire.

Le sous-équipement en matériel que nous avons noté en ce qui concerne l'enseignement n'est pas moindre s'il s'agit de la recherche. Le prix des matériels informatiques est trop élevé pour qu'un laboratoire (universitaire sûrement, mais nous en connaissons des industriels qui éprouvent des difficultés semblables) puisse songer à s'équiper sur ses crédits normaux (soutien de base venant des universités ou du CNRS). Plutôt, il le fait mal, c'est-à-dire choisit un matériel en fonction de ses possibilités financières plus qu'en fonction des critères scientifiques et techniques qui devraient être prépondérants. Cela est source d'une inefficacité considérable, l'emploi d'un matériel ou d'un logiciel inadapté fait perdre du temps précieux s'il n'empêche pas radicalement (et c'est souvent le cas) la poursuite d'une expérimentation fort utile.

Les acrobaties financières pour pouvoir acquérir un matériel et les autres qu'il faut faire pour le maintenir, ne sont sources de profit pour personne, mobilisent des énergies qui seraient mieux employées ailleurs et arrivent à décourager les volontés les plus fermes.

La seule solution paraît être d'introduire une ligne budgétaire, suffisamment alimentée, "matériel informatique", tant au CNRS que dans les universités et plus généralement, tous les organismes de recherche, permettant de dégager une grosse somme, non pas chaque année pour tous, mais chaque année pour quelques-uns, tout le monde ayant les moyens de rénover son matériel au moins tous les 5 ans. Il faut prévoir aussi la maintenance.

L'attribution des crédits d'équipement par petites fractions annuelles a des conséquences désastreuses : la fluctuation des crédits, leur attribution dans les universités par douzième ou par quart, le fait que l'on ne sache, en général, qu'en Juin ou Juillet quel sera le montant pour l'année en cours, a des conséquences non moins désastreuses. Cela empêche toute planification même à moyen terme et une gestion au jour le jour qui n'assure certainement pas l'optimum de l'utilisation des crédits finalement attribués.

Nous avons déjà dit ce que nous pensons des contrats que nous avons appelés contrats de "sous-traitance". Il y a toutes sortes de contrats, ceux qui sont dits "alimentaires", ceux qui sont totalement "bidon". Cela aboutit à une double perte : celle de l'organisme qui finance le contrat et n'obtient, en retour, rien ou presque, celle du laboratoire qui passe le contrat et qui est obligé de mettre à son service des forces ainsi détournées de la recherche proprement dite.

Les seuls contrats devraient être des contrats de collaboration véritable entre industriels et chercheurs, sur un thème précis et porteur, et plus longs que ne sont les contrats actuels : il est bien rare qu'une recherche de quelque importance puisse être menée à bien en 18 mois ou 2 ans. Par ailleurs, ces contrats devraient, le plus souvent,

être passés avec plusieurs équipes, ce qui n'est pas le cas aujourd'hui, mais se heurtent à de vieilles habitudes qu'il faut changer (voir plus haut).

Il faut trouver un moyen, nous l'avons dit, de mobiliser rapidement, autour d'un projet prometteur, la force de chercheurs et d'ingénieurs qu'il faut. On ne peut trop insister sur l'importance décisive de la rapidité de réaction, ni sur l'importance de la notion de "force suffisante". Le cimetière des occasions manquées parce que l'on a négligé l'un ou l'autre de ces deux facteurs est très rempli.

Afin d'éviter que ce cimetière ne se remplisse davantage, il faut trouver un moyen de financer vite un projet important et de réunir, pour le faire avancer, une équipe de la taille voulue. Pour cela, il faut effectivement faire des choix (ce que pourrait peut-être faire le collège d'experts mentionné au 2), et accompagner ces choix d'incitations financières nettes et sans détour. Là, nous pensons que l'Etat, reprenant des suggestions de chercheurs en lesquels il a confiance, a un rôle majeur à jouer. Nation de taille moyenne, nous ne pouvons nous permettre de négliger aucune idée sur laquelle pourrait être construit un certain succès commercial : contrairement à ce qui a été trop dit, les chercheurs sont presque tous prêts à participer activement à de telles aventures. Mais il faut, bien sûr que la finance suive, et, éventuellement, prenne des risques (l'idée pouvant se dégonfler?).

Une idée à manier avec précaution nous paraît être celle qui est, aujourd'hui, défendue en divers lieux qui consiste à "donner" des matériels informatiques aux chercheurs en "contre-partie" de tel ou tel logiciel qu'ils s'engageraient à écrire. Que l'on passe ce genre de marché avec des chercheurs prêts à un certain moment à écrire du logiciel est très bien. Mais il ne faut pas oublier que les chercheurs en informatique n'ont pas moins besoin que d'autres d'un matériel de base sans lequel ils ne peuvent pas plus travailler eux-mêmes que faire travailler leurs jeunes émules ou ceux qui sont plus éloignés des problèmes de logiciel. Nous ne voyons pas pourquoi ils devraient payer d'une partie de leur temps, c'est-à-dire de temps pris à la recherche, l'acquisition de moyens qui leur sont absolument nécessaires. De toute façon le coût d'un chercheur est et doit rester supérieur à celui du matériel qu'il utilise : si ce n'est pas le cas, c'est que le chercheur est mauvais et le matériel inadapté.

Nous concluons sur l'idée que les économies faites sur la recherche en informatique ne mènent à rien et constituent une politique de Gribouille. Le petit nombre de bons chercheurs en informatique en France devrait être encouragé par tous les moyens, il reste notre meilleure chance de porter l'informatique française à un niveau où elle puisse être compétitive avec ses concurrentes.

# ANNEXE AU CHAPITRE 2

## REMARQUES SUR LA QUALITÉ DES CHERCHEURS ET LA CREATION D'UN COLLÈGE DE CHERCHEURS INFORMATIENS SERVANT D'EXPERTS AUPRÈS DU GOUVERNEMENT

Page 44

Au chapitre 2 de ce rapport, nous avons montré la nécessité de créer un tel collège d'experts pour donner un avis sur la qualité scientifique de grands projets, proposer des options et garantir des choix.

Ce collège ne peut, évidemment, être composé que de chercheurs de haute qualité en informatique ayant atteint un niveau suffisant de maturité et jouissant d'une notoriété internationale réelle.

Nos premières remarques concernent, ainsi, le problème de la mesure de la qualité, de la maturité et de la notoriété d'un chercheur.

### **1. Nous pensons que ces grandeurs sont mesurables jusqu'à un certain point.**

De fait, un organisme comme la National Science Foundation aux Etats Unis a, depuis longtemps, mis sur pied une grille de critères permettant de mesurer toutes ces grandeurs, dont la base principale est l'audience rencontrée dans le monde par les travaux de ces chercheurs.

L'importance de cette audience est évaluée grâce :

- à une liste des références faites, dans toute la littérature scientifique internationale, aux travaux du dit chercheur,
- à un grand nombre de rapports demandés à d'autres chercheurs, assez éparpillés à travers le monde pour que l'on soit sûr que ces rapports soient fondés plus sur des considérations proprement scientifiques que sur l'amitié qui peut lier le rapporteur au rapporté,

- la liste des jeunes que le chercheur a guidés à un moment donné de leurs carrières.

Il y a une certaine "vox populi" émanant de la communauté des chercheurs qui ne se trompe guère. C'est elle qu'il faut essayer de capter et d'entendre et d'interpréter, bien sûr, avec toute l'habileté, le discernement et le doigté désirables (un chercheur très original pouvant avoir une audience beaucoup plus faible au sens précédent qu'un chercheur qui est dans le vent) .

Page 45

Il faut se méfier aussi des "connections" (au sens américain du terme) de chercheurs français et étrangers, pas forcément bons qui se passent, alternativement, la moutarde et le Séné. Il faut tenir compte des phénomènes d'impérialisme scientifique, l'impérialisme scientifique américain n'est pas un mythe, et tel chercheur français qui n'a passé que peu de temps aux U.S.A. et les connaît mal, peut y trouver une audience beaucoup plus faible qu'un autre, moins bon, perçu par les chercheurs américains comme "un des leurs".

Certes, la mesure qui peut être faite ainsi de la qualité d'un chercheur ne peut être absolue : outre les difficultés que nous venons de souligner, il y a le fait que cette mesure porte sur une activité passée et ne saurait garantir que le chercheur qui fut bon l'est encore. Et les chercheurs plus jeunes, dont les travaux n'ont pas eu le temps de se diffuser, risquent, si remarquables soient-ils, de souffrir de ce mode de mesure.

Nous croyons quand même une telle mesure intéressante, donnant des résultats à 80% exacts. Il est étonnant que l'administration française n'ait point mis sur pied un ensemble de critères analogues à ceux par lesquels la N.S.F. et le Scientific Research Conseil Anglais prennent des décisions quant aux projets à soutenir. Il est aussi préjudiciable à l'ensemble de la recherche française de ne pas écouter ni encourager des chercheurs excellents mais qui ne sont pas "à la mode", que d'écouter trop d'autres moins bons sur le plan scientifique, plus doués pour assurer leur propre publicité, et qui n'ont, finalement, pas grande idée à offrir.

## 2. Sur le collège d'experts

2.1.- Il doit être composé de chercheurs dont la qualité la maturité et la notoriété sont assez hautes (voir plus haut).

2.2.- Il doit être renouvelé assez souvent (tous les 4 ans?) pour tenir compte, à la fois de l'évolution rapide de la discipline et de l'histoire personnelle des chercheurs qui en pointe et excellents à une certaine période, peuvent facilement ne plus l'être quelques années plus tard. Il convient d'assurer, aussi, une représentation de toutes les sensibilités. Toutefois, il serait fâcheux d'adopter des règles trop contraignantes de non-régibilité qui pourraient forcer ce Conseil à se passer des compétences d'un chercheur particulièrement brillant et actif dont la compétence ne se dément pas (voire s'affirme et s'élargit).

Page 46

- 2.3.- Ces experts ne devraient pas être plus de 10, le meilleur système de choix nous paraissant être l'élection par un grand nombre d'informaticiens professionnels, enseignants, chercheurs, ingénieurs, techniciens sur une liste que proposerait l'Administration (en tenant compte des critères de qualité ci-dessus évoqués).
- 2.4.- Les experts dudit collège travailleraient à plein temps (à mi-temps au minimum) et seraient rémunérés pour ce faire. Leur travail consisterait à :
- donner un avis scientifique sur tout grand projet de recherche ou de développement soumis par l'Administration ;
  - émettre périodiquement (tous les ans?) un rapport sur l'état de la recherche en informatique en France portant jugement sur les grands projets en cours et indiquant des sujets leur paraissant prometteurs, et devant faire l'objet d'un effort de recherche, à la fois par l'intérêt scientifique, technique, pratique ou industriel qu'ils présentent, et par l'existence en France d'une compétence sur ledit sujet ;
  - évaluer, à usage de l'Administration, les rapports de fin de contrat qui leur seraient soumis.
- 2.5.- Il est important que ce collège ne distribue pas d'argent, c'est-à-dire que son rôle soit purement consultatif et scientifique et qu'il soit distinct des autres comités du C.N.R.S. ou du M.E.N. ayant des buts similaires. Il s'agit de faire entendre une voix, celle de la recherche, indépendante de toutes les pressions que l'importance économique formidable des enjeux informatiques fait peser sur tous les informaticiens. Déceler les jeunes talents, dénoncer les rentes de situation, deviner les points sur lesquels une recherche convenablement financée peut aboutir à des résultats, seraient les 3 rôles essentiels de ce collège.
- 2.6.- La surabondance de projets informatiques, la multiplicité des Systèmes proposés aussi bien par publicité dans la presse que sous forme de contrats avec l'Administration, bref, la fièvre informatique qui s'est emparée de la France, comme des autres pays développés, exigent que ce collège ait des moyens de travail importants :
- au niveau du secrétariat et de la documentation ;
  - quant à la possibilité d'aller s'informer sur place (en France ou à l'étranger) de la validité d'un projet de recherche ;
  - quant au recours à des compétences qui n'existeraient pas au sein du dit Conseil, c'est-à-dire la possibilité de payer des travaux d'évaluation effectués par tel ou tel chercheur ou ingénieur informaticien que le collège estimerait nécessaire de faire travailler.

### 3. CONCLUSION

Le but du collège tel que nous le voyons est, beaucoup plus que de faire la "police" de la recherche en informatique, de déceler à temps ce qui pourrait, judicieusement développé, constituer une force de la recherche et de l'industrie en informatique en France. Il nous a paru, dans le passé, beaucoup plus grave que l'on n'ait pas su reconnaître à temps des idées qui étaient bonnes et précédaient le mouvement, plutôt que l'on ait enterré des crédits dans des projets sans avenir.

Si le collège ne servait qu'à désigner 2 ou 3 points sur lesquels une recherche doublée de l'effort de développement industriel convenable permettrait à la France de remporter quelque succès net sur le marché de l'informatique il serait, pensons-nous, entièrement justifié.

# CHAPITRE III

## INFORMATIQUE ET SOCIÉTÉ

Page 48

Le caractère inéluctable et en même temps nécessaire de l'informatisation de la société a été maintes fois souligné, dans un rapport de M. Tebeka et un autre de MM. Nora et Minc, dans le rapport récent de M. Farnoux et celui de M. Servan Schreiber qui a abouti à la création du Centre Mondial Informatique et Ressources Humaines. Les problèmes de formation que soulève cette informatisation ont été étudiés par notre collègue Jean Claude Simon dans un volumineux et très intéressant rapport auquel nous empruntons beaucoup.

Cette informatisation que certains souhaitent, d'autres redoutent, inquiète des juristes qui se penchent sur les menaces que l'informatique fait peser sur nos libertés comme des syndicalistes soucieux de préserver l'emploi (là certainement pas nous, mais apparemment personne d'autre où que ce soit n'a réussi à mesurer vraiment et précisément les pertes d'emploi qui résultent du recours à l'outil informatique) . Simultanément l'informatique est présentée comme un moyen de résoudre le problème du chômage et celui du sous-développement : M. le Président de la République en a parlé lui même lors de son allocution du nouvel an cette année.

Nous ne pouvons ni ne voulons rentrer dans une polémique qui toutes proportions gardées ressemble à toutes les polémiques concernant le bien-fondé, l'intérêt ou les dangers de chaque science. Nous étonne seulement la passion qui anime certains artisans de cette polémique : pour nous il n'y a pas beaucoup plus lieu de discuter le développement de l'informatique que celui des mathématiques, celui de la mécanique ou celui de la sociologie.

C'est un fait, l'informatique se développe, envahit de vastes secteurs d'activité (la banque, les transports, le téléphone, ...) et peu ou prou nous serons tous amenés à l'utiliser ou du moins à vivre avec. Là il faut certainement distinguer deux phénomènes tout à fait différents :

- l'introduction massive de produits informatisés dans la vie quotidienne se compare à ce qu'ont pu être le développement de l'électricité, de l'automobile ou de l'audiovisuel. Ces produits informatisés n'exigent pas d'apprentissage spécifique, moins que la conduite d'une automobile; cela se situe au niveau de la lecture d'un mode d'emploi. On apprend à s'en servir quand on en a besoin :

visiblement les jeunes n'y éprouvent aucune difficulté voire s'en amusent, si l'on en juge par la vogue des jeux électroniques. Les moins jeunes s'adaptent tant bien que mal. Très probablement dans un proche avenir ces produits informatiques destinés au grand public vont se simplifier : le faible coût des circuits et des mémoires permet de doter les matériels de logiciels de plus en plus sophistiqués qui répondent de mieux en mieux aux besoins des usagers en exigeant d'eux de moins en moins d'attention. Les machines ont déjà fait des progrès stupéfiants, elles vont en faire d'autres ;

- l'utilisation de l'informatique dans les secteurs de production : nous voulons parler des multiples machines et robots destinés à se substituer à des interventions humaines ou à les aider. C'est aussi bien la commande numérique d'une machine-outil, qu'un système de traitement de texte, qu'une base de données où désormais l'employé de banque, l'agent de voyage, la personne qui vend des billets de train ou d'avion doivent à la fois trouver l'information dont ils ont besoin et enregistrer toutes les transactions dont ils sont responsables.

Il faut agir urgemment pour que ce deuxième phénomène ne se traduise pas par la perte de savoir-faire, la déqualification des travailleurs qui en résulte inmanquablement, l'inefficacité et le gaspillage. Nous ne sommes pas partisans de l'informatisation à tout prix : si celle-ci doit se traduire par une détérioration des conditions de travail, avec tout ce que cela peut engendrer de frustrations chez les utilisateurs, si de plus, c'est souvent le cas, elle ne se traduit pas par une efficacité accrue de l'appareil de production et permet à des gens qui se disent informaticiens mais sont en fait incompetents d'exercer un pouvoir non justifié et de mauvais aloi, alors il faut la refuser !

On ne saurait assimiler les deux phénomènes que nous venons de décrire l'un à l'autre : le plaisir que prend un gamin à jouer avec quelques ordinateurs ne le qualifie absolument pas pour devenir un bon utilisateur d'informatique dans la vie professionnelle qui sera la sienne. La vertu pédagogique de ces jeux est nulle ou plutôt exactement égale à celle des machines à sous, "flippers", "Zinzins" que contiennent tous les cafés de France et de Navarre (et dont personne n'a jamais songé à faire un des éléments de la formation des jeunes, encore qu'ils exigent de l'adresse et des réflexes, deux choses dont les élèves ont beaucoup de chance d'être mieux pourvus que leur professeur, ce qui explique sans doute qu'ils y vont rarement jouer ensemble et sûrement pas dans le cadre d'un programme pédagogique). Par contre, il semble nécessaire que tous ceux ouvriers, employés, secrétaires, artisans, techniciens, ingénieurs et autres qui vont devoir employer des outils informatiques dans leur vie professionnelle aient la possibilité d'en acquérir une maîtrise suffisante pour assurer à la fois leur "bonheur" personnel (rien n'est plus odieux que de se servir d'une machine qu'on ne sait pas vraiment faire marcher) et l'efficacité globale du système. L'important est là de bien distinguer des niveaux de compréhension, de compétence et de possibilité d'utiliser l'outil informatique de façon active et non passive. Dans la première partie de ce rapport nous avons essayé de préciser les connaissances que devraient avoir les utilisateurs d'informatique et les informaticiens professionnels. Nous essayons ci-dessous de préciser ce que tout le monde devrait savoir, ce que l'on devrait enseigner aux agents d'exécution, plus ou moins subalternes, à qui l'on demande de se servir

d'un outil sur la composition duquel et le fonctionnement duquel ils n'ont aucune possibilité d'intervention, mais dont on espère quand même qu'ils se servent efficacement sinon intelligemment, et ce qu'il faudrait que sachent aussi tous les gens dont l'activité possiblement créatrice dans leur domaine pourrait être enrichie par l'emploi d'outils informatiques qu'ils ne connaîtront jamais que d'"assez loin". Nous devons, ici, énoncer un certain nombre de vérités souvent et malheureusement oubliées, que nous illustrerons par des exemples empruntés à d'autres sciences et d'autres techniques dont l'utilisation massive a suscité des problèmes identiques à ceux que posent l'informatisation de la société.

## **1. Il y a des principes et des concepts fondamentaux, qu'on ne peut ni ignorer, ni transgresser.**

Exemple : l'"électricité" arrive par 2 fils et si l'un des deux est coupé "ça ne marche plus". Tout le monde apprend cela et, dès son plus jeune âge, c'est-à-dire dès qu'il commence à marcher, apprend aussi qu'il y a un certain danger à mettre ses doigts dans une prise de courant. Ces notions, vagues dans la mesure où une très faible proportion de la population est susceptible de dire ce qu'"est" l'électricité (sommes-nous capables de la dire nous-mêmes?) s'enrichissent quand l'individu grandit d'une notion de voltage (on résiste à une décharge de 12 volts, on peut résister à une de 220 volts, il vaut mieux éviter celles de 10 000, 100 000 ou 400 000 volts) de puissance et d'ampérage (où l'on apprend, par l'expérience, que si l'on met en route la machine à laver quand est allumé le chauffage de la salle à manger "ça saute"). Tout cela constitue une connaissance aussi naïve qu'informulée et indispensable pour vivre dans un monde où l'électricité joue un rôle fondamental. Il peut s'y rajouter des connaissances plus élaborées : savoir réparer une lampe, monter un interrupteur. Savoir monter un va-et-vient est déjà plus difficile, etc...

En ce qui concerne l'informatique il existe des principes et concepts fondamentaux du même genre :

Page 51

- le principal est celui d'algorithme : en fait c'est un concept très intuitif et très naïf, tout le monde utilise des algorithmes comme M. Jourdain faisait de la prose. Ainsi une mère de famille, qui tient son ménage, élève ses 2 ou 3 enfants, s'occupe de son époux ne cesse pas de faire de l'algorithmique : elle dresse la liste quotidienne des "choses à faire" (pour que tout se passe bien : les enfants, le mari, elle-même trouvent ce qu'il faut à manger quand ils ont faim, la maison est à peu près rangée, etc...);
- le second est celui de programme : les choses à faire peuvent l'être dans un certain ordre qui optimise en fonction des contraintes et des possibilités offertes des critères d'efficacité ou de coût. La "programmation" quotidienne à laquelle, sans réfléchir, se livre cette mère de famille (je peux balayer après le repas, avant d'aller chez le coiffeur et d'être à temps à la maison quand les enfants rentrent

de l'école) est une programmation véritable et difficile (que certaines "bonnes" mères de famille réalisent bien et d'autres réalisent mal!).

L'informatique permet et exige à la fois l'explicitation de l'algorithme et du programme qui décrivent un certain enchaînement d'activités et dans la mesure où elle s'adresse au grand public elle n'a de sens que si elle aide vraiment les gens à programmer une partie de leurs activités.

Ces concepts de base que sont ceux d'algorithmes et de programmes sont aussi fondamentaux que ceux que l'on cherche à donner aux enfants dans l'enseignement primaire et secondaire tel celui de nombre : curieusement la problématique des bases de numération avec lesquelles on amuse les élèves et on cherche à leur donner l'idée fondamentale de représentation d'un objet abstrait (le nombre n'est pas une suite de zéros et de uns, pas plus qu'il n'est une suite de chiffres arabes pris dans l'ensemble  $(0, \dots, 9)$ ) est très proche de l'informatique. Il suffirait que les élèves puissent "porter sur machine" les changements de base et les algorithmes qui permettent de faire les quatre opérations dans chaque base pour que cela soit tout à fait de l'informatique et même de la meilleure informatique. L'idée qui est derrière cette question de base est bien l'idée fondamentale que pour obtenir un certain résultat (par exemple savoir si un nombre est divisible par 13) le coût sera différent selon la base choisie pour représenter le nombre (s'il est en base 12 on a très simplement un critère de divisibilité par 13, comme on en a un pour 11 en base 10). On pourrait encore parler de l'efficacité des algorithmes utilisés : la première idée (naïve?) n'est pas forcément la meilleure et le travail de recherche est loin d'être achevé! L'informatique ne fait que systématiser ces idées et c'est là qu'elle trouve sa véritable dimension : elle bouleverse un peu nos mécanismes de pensée et nos habitudes acquises.

Page 52

Pourquoi faire ceci plutôt que cela, si les deux aboutissent au même résultat, et que ceci est moins facile à faire, ou plus long, ou plus onéreux que cela (compte tenu des outils que l'on a à disposition)?

Que les informaticiens n'aient pas été les premiers à se poser ces questions ni à les résoudre dans certains cas est évident. Mais que l'informatique apporte des moyens conceptuels et pratiques de se les poser systématiquement et de les résoudre souvent efficacement est indéniable : en fait, c'est ça l'informatique. Elle nous apprend aussi qu'il y a des choses "infaisables" ou si coûteuses en temps que pratiquement l'on ne peut en venir à bout.

## **2. Les modifications des structures mentales, de la façon de réfléchir à un problème et de la façon de le résoudre apportées par l'informatique sont profondes.**

Plutôt elles devraient l'être si l'informatique était mieux comprise, mieux admise et mieux diffusée. Ces modifications touchent paradoxalement plus des activités non mathématiques que les activités de calcul proprement dit portant sur des nombres.

C'est croyons-nous au niveau de la saisie de l'information, de son stockage, de sa manipulation (où il s'agit de la retrouver quand on la cherche, de la modifier si besoin est, etc...) que l'informatique apporte le plus de possibilités nouvelles, sauf qu'elles sont beaucoup inexploitées. On assiste aujourd'hui à des aberrations manifestes des gens qui ont accès à des bases de données informatisées et qui en ont besoin ne s'en servent pas vraiment. Nous entendons par là qu'ils continuent à faire comme si l'information était stockée, repérée, cataloguée selon les procédés traditionnels (avec ce qu'il faut de fiches bristol, de tiroirs pour les mettre, ou de chemises de couleurs variées pour archiver des lettres "de natures différentes"). Tout ceci se passe alors que l'informatique permet de stocker de repérer, de cataloguer des informations de façon assez différente de la façon traditionnelle mais qui assure une efficacité beaucoup plus grande dès qu'il s'agit de la retrouver ou de la mettre à jour. Mais ce que les gens font, pratiquement, c'est définir l'information qu'ils veulent stocker, la recueillir sans tenir compte des possibilités nouvelles que l'informatique pourrait leur apporter (faute évidemment de les connaître bien) et ils "traduisent" ensuite ce qu'ils font avec l'espoir, toujours déçu, que cela va bien se passer. Plus grave encore, certains ont l'illusion que l'usage de l'informatique pourra remplacer une réflexion approfondie sur leurs vrais problèmes.

Nous croyons, nous, à autre chose :

Page 53

- aux Etats-Unis l'on voit tous les jeunes étudiants débutants de l'Université Carnegie-Mellon, par exemple, travailler directement au clavier et à l'écran d'un terminal. Ils se séparent ainsi complètement de la pratique qui est encore la nôtre presque partout : on réfléchit à son problème, on cherche le meilleur algorithme, on le programme et alors (si l'on en a les moyens) on le porte sur ordinateur et l'on regarde ce que cela donne ;
- en France, on voit souvent utiliser des systèmes de traitement de texte qui marchent tant bien que mal mais certainement aident les dactylos en simplifiant les procédures de corrections d'erreurs. Mais ces mêmes secrétaires, ayant mis au point leur texte, en font sortir une copie sur papier (d'une imprimante généralement très inefficace) , vont en faire une photocopie (sur un appareil totalement disjoint du précédent et qui peut en être géographiquement assez éloigné) et archivent cette copie selon les procédés traditionnels, chemise verte ou bleue dans un bac quelconque (alors que le texte est archivé sur une disquette, forcément, mais il est impossible de le retrouver deux mois plus tard) .

Ce qu'il faut dans ces conditions, c'est vraiment se donner les moyens qui sont d'abord matériels, mais aussi, de façon cruciale, logiciels :

- d'intégrer les diverses fonctions dans un système unique,
- court-circuiter totalement les procédures et les schémas de pensée liés aux supports de mécanismes traditionnels (papier-crayon) de manipulation de l'information. (Là les informaticiens ont des torts évidents : si l'on y réfléchit un tant soit peu il est vraiment déraisonnable que pour délivrer un billet Paris-Rennes et

le supplément train rapide une employée doit, comme nous l'avons constaté, d'abord savoir que le train de 8 h.07 est à supplément, alors que c'est une information qu'il serait simple de mettre en machine, et ensuite taper 2 fois sur son clavier le numéro du train et son heure de départ. Que la S.N.C.F. nous pardonne : il existe des quantités d'autres systèmes qui présentent des anomalies similaires et par ailleurs nous savons qu'optimiser des systèmes de ce genre est un travail considérable).

### **3. Le processus d'informatisation ne pourra être que lent, onéreux, et difficile**

**Lent**, parce qu'il s'agit beaucoup plus d'acquisition de concepts et de leur intégration dans l'ensemble des concepts qui forment l'univers mental de chacun que de l'acquisition de mécanismes (lesquels varient très vite, sans qu'on y puisse rien, sauf à donner aux gens précisément une formation suffisante pour qu'ils soient susceptibles de s'adapter aux mécanismes aussi vite qu'ils varient).

Page 54

**Onéreux**, parce qu'il exige certainement que tout futur utilisateur d'un outil informatique dispose d'un temps de formation assez long au cours duquel il lui est donné la possibilité d'utiliser le système en vraie grandeur jusqu'à en acquérir un maniement aisé. Tout aussi onéreux parce que beaucoup de ces systèmes doivent être repensés et reconstruits parce qu'ils le sont mal aujourd'hui et que cette réforme du système doit être faite en concertation avec les futurs utilisateurs.

**Difficile**, parce que beaucoup d'habitudes sont à bousculer. On voit bien quelles elles sont : tout un savoir ineffable, transmis par l'expérience, des rapports maître-élève ou apprenti-ouvrier se heurte à la machine qui veut que ce savoir soit totalement explicité. La commande numérique d'une machine-outil oblige le fraiseur-tourneur à livrer ses secrets, dans la mesure où traduits en codes compréhensibles par la machine ils sont ou devraient être accessibles à tous. Les typographes ont, depuis longtemps, livré tous leurs secrets aux photocomposeuses ! Un système de recherche et d'archivage de l'information dans un bureau n'a de sens aussi que s'il est accessible à tous, c'est-à-dire transparent, et assez lisible. A nos yeux c'est à ce point que l'informatique prend vraiment sa valeur : tout l'effort de générations de logiciens, souvent mal compris des mathématiciens eux-mêmes, aboutit à une concrétisation des fonctions mises en oeuvre qui sont ainsi à la fois définies, isolées et identifiées. C'est tout l'enseignement des disciplines scientifiques, et aussi littéraires, qui est remis en question. C'est aussi notre "être au monde", nos façons de penser et d'agir, les rétentions, souvent inconscientes, d'information qui fondent, la plupart du temps, le pouvoir dans l'atelier, le laboratoire, l'entreprise qui sont remises en cause, et risquent de l'être de plus en plus au fur et à mesure que se développe l'intelligence artificielle ( qui a précisément pour but d'explicitier et d'exploiter une part de ce savoir non-dit)

. Un des maux principaux dont souffre l'informatique aujourd'hui est précisément la remise en cause qu'elle autorise de pouvoirs et de hiérarchies à tous les niveaux, remise en cause qui ne va évidemment pas sans résistance de la part de tous ceux qui se sentent menacés par son développement. Il serait désastreux qu'elle n'aboutisse faute d'une formation suffisante de tous à constituer un autre pouvoir : celui des informaticiens ou de ceux qui auront accès à la machine. Là nous pensons spécifiquement à toutes les bases de données évoquées plus haut qui peuvent devenir dans de très vastes secteurs d'activité un instrument très remarquable et très efficace de diffusion, de stockage, de tri d'information : on ne peut vraiment admettre que seul un très petit nombre de gens aient la possibilité de mettre ou enlever des informations, c'est-à-dire finalement de diffuser ce qu'ils veulent sans contrôle. Page 55

A ce paragraphe nous ajouterons qu'il y a aussi des habitudes à ne pas bousculer ou que du moins il nous paraît prématuré de vouloir bousculer. Nous évoquions l'agenda informatisé, on peut aussi parler d'annuaire téléphonique informatisé. D'intéressantes expériences sont en cours en ce qui le concerne : il n'est pas du tout sûr qu'il soit plus commode, de consultation plus rapide ni plus riche d'informations que l'annuaire imprimé. Il est sûr que beaucoup d'utilisateurs n'ont aucune envie de passer de l'un à l'autre et à notre avis une démarche trop rapide pour imposer l'annuaire informatisé risque de provoquer des réactions de rejet qu'il faut absolument éviter dans la perspective d'une informatisation harmonieuse de la société.

#### **4. Il faut être conscient et pragmatique.**

Une remarque essentielle est que les réactions à l'informatique sont très diverses. Des enfants apprennent très vite à faire quelque chose avec le système qu'on leur met entre les mains et certains se passionnent. D'autres y trouvent peu d'intérêt et ne se sentent même pas attirés par les aspects ludiques. Nous avons vu des étudiants très rétifs, voire allergiques, à la manipulation d'un système. Le phénomène ne nous paraît pas vraiment différent de celui qui concerne les mathématiques : des élèves ont "la bosse des maths", d'autres "n'y comprennent rien". Conclure comme on le voit trop souvent faire, de l'enthousiasme que l'informatique suscite chez certains jeunes à la "facilité" de celle-ci, à son caractère naturel et à la possibilité d'en étendre l'usage à l'infini est certainement hâtif. Craignons aussi qu'un trop grand privilège donné à ce mode d'expression ne se fasse au détriment d'autres, l'écriture, le dessin, le discours dont certainement personne ne peut de bonne foi déclarer que l'informatique peut totalement les remplacer, même si dans un grand nombre d'applications elle se révèle plus efficace.

# QUELQUES PROPOSITIONS

## 1. Il y a une recherche importante à conduire dans le domaine de la pédagogie de l'informatique.

En fait il y a tout à faire en ce domaine : il est très difficile de doser le mélange de théorie et de pratique que tout enseignement d'informatique doit comporter, surtout au plus bas niveau. Ce mélange dépend largement du matériel et des logiciels dont on dispose : on ne fait pas la même chose sur une grosse machine que sur une petite, sur un logiciel scientifique et un logiciel de gestion.

Mais le plus important est certainement d'adapter l'enseignement même des concepts de base à des champs d'application de l'outil informatique : il v a pour reprendre un exemple une algorithmique et une programmation des systèmes de traitement de texte, pour s'en convaincre il n'est que de constater que l'on peut se servir bien d'un tel système comme l'on peut s'en servir mal. Nous ne croyons pas que cette algorithmique soit beaucoup plus simple à ne jouer que sur un nombre restreint de fonctions que celle qui met en jeu toutes les fonctions mathématiques. Elle est autre, elle doit être enseignée, et il est ridicule de commencer un cours destiné à de futurs utilisateurs de systèmes de traitement de texte par la traditionnelle histoire du codage des nombres en binaire comme cela se fait le plus souvent ; c'est précisément ce que ces futurs utilisateurs n'ont pas besoin de savoir et qui aurait plutôt tendance à les rebuter !

Page 56

Un autre exemple que nous pouvons prendre de la nécessité d'une réflexion pédagogique approfondie est celui du traitement des fichiers qui a une importance extrême dans la mesure où il y a beaucoup plus d'utilisateurs qui se servent de fichiers que de gens qui font du calcul numérique. Là les problèmes sont d'adressage et de repérage dans un fichier, de substitution d'articles à d'autres, de parcours des fichiers, etc. Or les fichiers sont tous plus ou moins organisés en arbre avec des en-têtes qui se subdivisent en sous-en-têtes qui se resubdivisent etc. jusqu'aux éléments atomiques d'information, tel l'âge du fils aîné d'un employé, essentiel pour la paye de celui-ci. Il est curieux de constater que la structure d'arbre, ainsi sous-jacente à peut-être 75% de l'activité informatique, n'est nulle part, ailleurs que dans des maîtrises universitaires et grandes écoles d'ingénieurs, enseignée. Puisqu'il faut bien qu'on en parle quand même, cela se fait par l'intermédiaire des méthodes classiques en informatique de gestion qui pour la plupart sont anciennes. La structure d'arbre est aussi fondamentale que n'importe

quelle autre structure mathématique de base : pourquoi n'est-elle pas enseignée en tant que telle, nous voulons dire par là comme sont enseignées les autres structures de base qui sont celles de nombre et de fonction, avec patience, méthode, beaucoup de temps passé à traiter beaucoup d'exemples?

Les mathématiques viennent de faire l'objet d'un remarquable et nécessaire effort de rénovation pédagogique. Les "mathématiques modernes" qui ont fait couler tant d'encre ont d'abord mobilisé les meilleurs mathématiciens français puis se sont diffusées dans le corps enseignant par l'intermédiaire des IREM jusqu'à atteindre aujourd'hui tous les élèves des lycées et collèges : il semble que ce soit avec le plus grand succès c'est-à-dire une efficacité considérablement accrue, la possibilité pour chaque élève de savoir plus de mathématiques avec le même travail. Peut-être faut-il songer à créer des Instituts de Recherche en Enseignement de l'Informatique qui aient une fonction et un statut comparable : mobiliser les meilleurs informaticiens, diffuser auprès d'un nombre considérable d'enseignants d'informatique (et pas seulement dans les lycées et collèges) à la fois un savoir et une méthode pédagogique que l'on peut expérimenter très rapidement, bref prendre en main sérieusement tout le secteur crucial de la formation en informatique.

Ayant suivi toutes les polémiques qui ont accompagné la réforme de l'enseignement des mathématiques connue sous le nom de "maths modernes" et ayant pu mesurer les résultats obtenus, c'est en pleine conscience que nous faisons une telle suggestion, même si elle doit provoquer la même levée de boucliers. Il faut bien voir que de la même façon que de nombreux ingénieurs formés dans les années 50 avaient été formés à des mathématiques qui n'étaient plus adaptées à notre temps, il y a aujourd'hui en France un grand nombre d'ingénieurs, techniciens, utilisateurs d'informatique de tous niveaux qui ne connaissent pas et sans doute ne connaîtront jamais l'informatique moderne. Très sûrement ils n'accepteront pas mieux notre proposition que la plupart des ingénieurs n'ont accepté la réforme des mathématiques. Mais nous pensons qu'il en va de l'Intérêt National de passer outre : élever de peu le niveau de compétence de tous les utilisateurs d'informatique et former les jeunes qui arrivent aux meilleurs techniques est un objectif essentiel. Dans la course actuelle, si bien décrite dans le rapport de M. Abel Famoux, que motive l'informatique entre les pays développés pour gagner des marchés, l'emportera celui qui aura su le mieux former ses jeunes. Hélas, nous avons pris un retard qu'il faut combler et que seul peut combler un effort de formation exceptionnel.

Page 57

## **2. Il faut distinguer des niveaux et des types de formation et répondre à chaque besoin ainsi reconnu.**

Les besoins sont extrêmement divers et nous allons les classer en trois grandes catégories.

## 2.1. La formation des jeunes à l'informatique.

Ce sont ceux qui viennent dont certains ne savent pas trop ce qu'ils veulent faire, d'autres sont pris dans un engrenage qui peut ne faire aucune place à l'informatique, d'autres enfin veulent faire de l'informatique mais ne savent pas trop ce que c'est ni comment s'y prendre. Il nous paraît aberrant qu'aujourd'hui tous ceux qui suivent une voie de formation dans quelque discipline que ce soit ne reçoivent pas une initiation à l'informatique de 100 h dont 50 h de cours et 50 h de travail personnel sur un terminal. C'est le temps minimum qu'il faut pour savoir un peu de quoi il s'agit et se situer un peu vis-à-vis d'elle. On peut parier, sans risque aucun, que 90% de ceux qui suivent une voie de formation auront un jour à se servir de l'informatique, et il importe que très tôt ils sachent un peu ce qu'on en peut attendre. On a rendu l'informatique obligatoire en DEUG, ce qui est bien, encore que nous ne connaissions aucun DEUG qui offre les 100 h qui nous paraissent être un minimum. Pourquoi l'informatique n'existe-t-elle pas dans les classes préparatoires des grandes écoles (scientifiques, littéraires et commerciales)? Pourquoi n'en fait-on pas dans les IUT qui ne sont pas IUT d'informatique? Pourquoi en fait-on si peu, avec des moyens si faibles, dans la quasi-totalité des grandes écoles (les quelques écoles où l'on a pris l'informatique au sérieux et l'on s'est doté des moyens pour en faire ne font que renforcer le contraste entre ce que l'on pourrait faire et ce qui se fait).

Page 58

Quant à tous ceux, beaucoup plus nombreux, qui n'ont la fortune d'être ni dans l'université, ni dans une grande école, ni dans un IUT, sans espoir de baccalauréat, et qui veulent faire de l'informatique, ils n'ont vraiment rien à quoi se raccrocher. Jacques Arzac leur avait ouvert, il y a des années l'Institut de Programmation, qu'il avait créé à Paris beaucoup en pensant aux non-bacheliers; d'aucuns ont pu apprendre de l'informatique à Vincennes où les non-bacheliers furent longtemps admis. La grande masse de ces gens sont désormais réduits à s'inscrire à des cours privés de programmation: ces cours sont fort chers et, hélas, beaucoup ne valent rien, voire escroquent, véritablement, les gens qui les suivent et payent pour ce faire. Il y a là quelque chose d'un peu scandaleux: qu'au moins une fille ou un garçon pauvre qui a réussi à trouver les 20, 30, ou 40000 F que ces cours coûtent, se trouve à la fin pourvu d'une formation raisonnable et monnayable. Sans compter ce que cela a d'infiniment désagréable pour eux, nous perdons une main d'oeuvre qui serait certainement précieuse si elle était convenablement formée.

## 2.2. La formation continue ou "recyclage" des adultes actifs.

La très rapide évolution des matériels et logiciels rend indispensable cette formation continue et ces recyclages pour tous les gens qui se servent d'informatique. Il faut rajouter aussi tous ceux qui, employés dans une société ou une administration qui s'informatise, doivent apprendre de l'informatique.

Il n'est pas fait grand-chose pour répondre à l'un ou à l'autre de ces besoins. Des "séminaires" fort onéreux dans de grands hôtels parisiens auxquels bien évidemment

ne peuvent prétendre assister que les cadres supérieurs d'une entreprise (ça coûte facilement 2500 F la journée) souffrent de deux défauts au moins :

Page 59

- ils sont beaucoup trop rapides (1 ou 2 jours);
- ils n'offrent bien souvent aucune garantie de sérieux scientifique.

Le deuxième besoin est en général couvert par l'entreprise ou l'administration concernée, et souvent mal dans la mesure où l'on fait appel pour ce faire à des ingénieurs déjà surchargés, qui n'ont que peu de temps à consacrer à la chose, et n'ont par ailleurs jamais vraiment réfléchi à la pédagogie (ce n'est, il est vrai, pas leur rôle).

Nous voudrions faire ici une proposition :

Certes les universités sont-elles aussi surchargées (voir plus haut). Il n'en reste pas moins vrai que de nombreux cours de maîtrise et de DEA sont délivrés journallement par des universitaires qui y mettent le meilleur d'eux-mêmes et dont c'est le métier. Un des modes de la formation continue en informatique pourrait être d'envoyer ingénieurs et techniciens, à la recherche d'un savoir plus récent que le leur, suivre ces cours de maîtrise et DEA qui sont de toute façon dispensés.

A cela nous voyons deux avantages :

- L'argent dépensé dans des séminaires atrocement chers pourrait venir aider les universités à survivre.
- La présence d'auditeurs venus de l'entreprise, engagés dans une activité professionnelle réelle ne tardera pas à faire évoluer les dits cours de maîtrise et de DEA pour sans doute le plus grand bénéfice de tous.

On peut ainsi imaginer que ces cours soient donnés moitié-moitié par des universitaires et des ingénieurs, ces derniers étant sur bien des points plus compétents que les premiers, et qu'il en résulte une "osmose" entre les préoccupations des uns et des autres extrêmement bénéfique à terme.

Là encore, il y a de multiples cours de formation continue qui n'offrent aucune garantie de sérieux, qui sont chers et mal faits. Il est tout à fait impossible de les recenser et de peser sur eux pour qu'ils s'améliorent sauf par une meilleure information de leur clientèle sur ce qu'il faut attendre d'une telle formation.

Ceci pose le problème de l'informatique dans le grand public.

### **2.3. Donner à tout le monde une idée de ce qu'est l'informatique et de ce qu'on peut en attendre nous paraît essentiel.**

Page 60

Ce n'est pas ce qu'il y a de plus facile à faire, tant s'en faut. Nous sommes aussi très peu à même d'imaginer comment la chose peut être réalisée : les deux presses, écrite

et parlée, sont évidemment au coeur du problème. Hélas, la publicité des constructeurs, des sociétés de service, des marchands de tout ce qui peut être vendu sous le couvert de l'informatique produit un bruit de fond très élevé qui fait que les messages qui mériteraient de l'être ne sont pas en général entendus. Pire une certaine fièvre informatique a été entretenue par des déclarations gouvernementales et des mesures hâtivement prises pour pousser à une informatisation trop rapide.

On est dans une situation difficile :

- la désignation de l'informatique par certaines des plus hautes instances de l'Etat comme un des enjeux majeurs des luttes économiques de la fin du siècle, jointe à une intense publicité des innombrables sociétés qui vendent produits et matériels informatiques, naturellement a engendré un violent désir chez tous de savoir, chez les jeunes d'apprendre, chez les parents de voir leur progéniture faire de l'informatique,
- pour l'instant ce désir, en lui même positif, ne peut s'assouvir : l'enseignement public ne satisfait pas à la demande ainsi exprimée et il faudra du temps avant qu'il soit en mesure de le faire si l'on songe à ce que représente l'équipement de tous les établissements, le recyclage et la formation de tous les personnels nécessaires. Les industriels français sont débordés : s'ils ont des matériels bien conçus et bien adaptés ils manquent de logiciels et des infrastructures pour diffuser ceux-ci dans un large public. Les administrations qui traditionnellement s'adressent précisément à un large public ont des problèmes d'informatisation interne qu'elles ont bien du mal à résoudre, et l'on peut en dire autant des éditeurs qui sont spécialisés dans la diffusion grand public.
- tout cela ouvre la porte à tous les malentendus, tous les excès, et aussi tous les charlatanismes qui ne manquent pas de prospérer sur un terrain aussi favorable. Les opinions les plus contradictoires s'expriment dans la presse et s'annulent mutuellement, les projets les plus fous sont pris au sérieux, les plus sérieux sont déclarés fous, on refuse pour la formation de quelques ingénieurs dont la France a vraiment besoin ce que l'on accorde pour des entreprises de sensibilisation du public dont l'issue est douteuse, on propose aux mêmes futurs ingénieurs des matériels qui sont peut-être adaptés à la sensibilisation du public mais certainement pas à une formation sérieuse.

Nous ne voulons jeter la pierre à personne, dans cette affaire. Tous les membres de la mission souffrent, pourtant, de la situation de fait ainsi décrite, que ce soient des enseignants qui font face à des flux d'étudiants qui dépassent largement les possibilités des unités d'enseignement auxquelles ils appartiennent ou des industriels pressés de faire vite et bien des choses qui devraient mobiliser des effectifs très supérieurs à ce qu'ils sont actuellement. C'est ainsi assez impuissants que nous assistons à un débordement informatique que nous n'avons aucun moyen d'arrêter, ni même de freiner, mais qui nous paraît aussi préjudiciable à la qualité de la recherche qu'à l'efficacité de l'industrie et à l'information de tous les citoyens.

# CONCLUSIONS

Page 62

Il nous semble au terme de ce rapport que ce dont souffre sans doute le plus l'informatique en France est de ne pas être vraiment prise au sérieux par la plupart des gens, et, hélas, par beaucoup de chefs d'entreprises, d'universitaires puissants et de décideurs. A nos yeux ce qui se passe à l'Ecole Polytechnique est tout à fait paradigmatique : les élèves dont on peut parier à coup sûr que 90 des moyens informatiques ne reçoivent qu'une initiation très rapide au cours de laquelle on ne peut leur montrer que du matériel déjà ancien. L'idée qui prévaut et perpétue cet état de fait est que l'informatique est une discipline ancillaire que les élèves auront bien le temps d'apprendre quand ils en auront besoin, par exemple dans les écoles d'application (où hélas l'informatique n'est en général pas beaucoup mieux traitée) . De toute façon on opère ce faisant, à l'inverse de ce qui se passe aux Etats-Unis, en Angleterre, au Japon : là on cherche à donner le plus tôt possible à tous les élèves et étudiants une familiarité avec l'outil informatique suffisante pour qu'ils puissent l'intégrer dans leur univers mental, réfléchir longuement au cours de leurs études aux emplois possibles de cet outil et le jour venu l'utiliser bien et pour certains l'enrichir d'applications originales et efficaces.

Ce qu'apparemment les dirigeants de cette école, comme ceux de la plupart des écoles et universités, ne voient pas c'est que l'informatique induit une nouvelle façon d'aborder des problèmes extrêmement variés que ce soient des manipulations de données nombreuses ou l'approche par des voies heuristiques de questions réputées insolubles (parce qu'elles le sont, de fait, à la main) . On finit par attendre de l'informatique ce qu'elle ne peut donner, une réponse universelle à tous les problèmes, et à négliger ce qu'elle peut apporter, des réponses astucieuses à certaines catégories de problèmes.

Ce qu'apparemment beaucoup de gens ne perçoivent pas c'est que ces réponses partielles mais efficaces à un grand nombre de problèmes exigent énormément de travail. L'image de l'informaticien "compétent" qui vient, qui regarde ce qu'il faut faire, préconise une "solution" et s'en va est une image à proscrire. Elle est tout aussi pernicieuse que l'image de l'ingénieur, non informaticien, qui a écrit 100 lignes de BASIC, qui croit savoir l'informatique et préconise une solution qui, fondée sur des connaissances floues et incertaines, n'est pas bonne. Un bon système informatique qui permet un progrès réel dans le traitement de problèmes réels exige plus d'efforts que cela et une collaboration étroite entre des informaticiens qui, outre la maîtrise de leur outil, possèdent une faculté de s'intéresser à des applications, et des spécialistes du domaine qui ont , outre une parfaite connaissance de celui-ci , une meilleure connaissance de

Page 63

l'informatique que celle que donnent 20 heures d'initiation. Evidemment il s'ensuit qu'un bon système informatique coûte cher voire très cher, et certainement l'on n'a pas assez investi en France pour en créer. Nous connaissons beaucoup de projets, excellents dans leur principe, qui faute de réunir un nombre suffisant de gens compétents ne peuvent pas aboutir (concurrents et rivaux de projets similaires poursuivis dans des pays étrangers mais mieux dotés en hommes et en matériel, ils n'ont aucune chance de triompher). On peut évidemment discuter indéfiniment sur l'intérêt, la profondeur la longévité des concepts informatiques dont nous croyons l'enseignement indispensable : au regard des mathématiques, l'informatique, vieille d'à peine 40 ans, est bien petite fille et nul ne sait ce qu'elle sera dans 10 ou 20 ans. Disposera-t-on alors des machines "spécialisées" et "intelligentes" qui répondront aux questions qui se posent ou bien faudra-t-il encore que chacun apprenne péniblement à se servir d'un ordinateur ? (Ceci est un débat sans fin).

Mais, aujourd'hui, face à l'expansionnisme des industries informatiques américaine et japonaise il faudrait que l'informatique acquière vraiment droit de cité dans nos écoles, dans nos universités, dans le chœur des sciences établies. Cela suppose des locaux, du matériel, du personnel ; presque toutes les formations universitaires en informatique s'asphyxient dans des locaux trop étroits, ne disposent que de matériels périmés, croulent sous le nombre des étudiants (avec des disparités entre les charges d'enseignants d'informatique et enseignants d'autres disciplines qui dépassent de beaucoup les limites du tolérable).

Ceci suppose aussi que toutes les opinions cessent d'être admises, dès qu'il s'agit d'informatique, surtout si ce sont celles de gens tout à fait ignorants (dont la culture informatique se résume à la lecture du Scientific American et à l'écriture d'un petit programme sur une calculatrice de poche). Des décisions importantes engageant l'avenir sont prises sans que soit consulté le moindre informaticien : nous avons déjà dit mais on ne saurait assez le répéter que bien des erreurs eussent été évitées si l'on avait consulté l'un d'entre eux à l'époque.

Maintenant il reste le problème de former vite un grand nombre d'informaticiens et pour cela de former des formateurs : il y aurait certainement très grand danger à faire cela trop vite et trop hâtivement. Une année pleine de formation (800 heures dont la moitié de travail personnel sur un ordinateur) semble un minimum pour que quelqu'un puisse se dire "formateur en informatique". La moitié, dont 200 heures de travail personnel est le chiffre adopté par les universités américaines pour former des "utilisateurs éclairés" c'est-à-dire spécialistes d'autres disciplines qui ont une bonne connaissance de l'outil informatique. Enfin 100 heures sont certainement un minimum pour l'initiation à l'informatique que devrait recevoir tout futur ingénieur ou tout futur technicien. Il est certain que pour assurer tous ces enseignements on ne peut pas beaucoup compter sur les informaticiens déjà en poste dans les universités ou les grandes écoles : il est patent qu'ils sont déjà surchargés de travail. Malheureusement ingénieurs et techniciens de l'industrie le sont aussi. Nous avouons n'avoir pas de solution à préconiser sauf à favoriser par tous les moyens l'enseignement de l'informatique dans les universités, dans les écoles, dans les IUT, dans l'enseignement secondaire.

Là il faut se rendre compte qu'outre le manque de personnel, et celui de locaux, il

y a un manque stupéfiant de moyens matériels : les efforts très réels du CNRS pour augmenter les dotations des laboratoires de recherche en informatique du secteur des Sciences Physiques pour l'Ingénieur se sont traduits par des améliorations substantielles. Il n'en reste pas moins vrai que des laboratoires de physique, mécanique et informatique de ce secteur ce sont les troisièmes les moins bien dotés avec des différences par rapport aux autres qui sont de facteur 2, 3 ou 4. Est-ce raisonnable si l'on pense que le développement de l'informatique est un des enjeux importants de la prospérité industrielle de la France ?

On peut alors ouvrir le numéro de janvier des Communications de l'"Association for Computing Machinery" américaine. Il y a là une vingtaine de pages d'offres d'emplois d'enseignants d'informatique dans diverses universités et des collèges dont personne n'a jamais entendu parler. Et l'on s'aperçoit que tous ces collèges, toutes ces universités assez obscures ont des moyens de calcul supérieurs à ceux des deux universités de Paris 6 et Paris 7 réunies. Que des départements dans lesquels il n'est pas sûr qu'il existe un chercheur de classe internationale possèdent en propre des VAX 780 et ouvrent des enseignements de circuiterie (VLSI) ou de conception assistée (CAO) ou d'intelligence artificielle, enseignements que l'on ne peut ouvrir en France qu'au compte-goutte faute de moyens appropriés (et là il ne s'agit même plus d'informatique, il s'agit de disciplines entières, de pans entiers de la physique, de la chimie, de la biologie, ou des sciences humaines qui pour progresser ont un besoin crucial de tels équipements) .

Page 65

Notre question est vraiment :

- comment a-t-on pu laisser se créer une situation où les deux universités scientifiques de Paris Centre disposent de moins de moyens de calcul que l'Université du Massachussets à Amherst, le Clarckson College de Postdam (N.Y.) , l'Université Xavier, fondée et gérée par les Jésuites, de Cincinnati (OH) , le collège presbytérien de Jamestœm dans le Dakota du Nord ? A cette liste nous rajouterions volontiers l'Université de Hsing-Chu, à Taiwan, que nous eûmes récemment l'occasion de visiter.
- qui peut vraiment croire que partant avec un handicap semblable, chercheurs et ingénieurs français vont pouvoir obtenir des résultats traductibles en succès commerciaux ? A fortiori quand on sait, ce qui n'est pas niable, ni difficile à découvrir, que des langages tels ADA et PROLOG de conception française font l'objet en France de moins de travaux qu'en Hollande ou au Danemark pour ne pas parler des Etats-Unis ou du Japon.
- comment espère-t-on lutter sur un plan industriel et commercial avec les Japonais qui après un projet national concernant les circuits intégrés de grande dimension qui leur ont permis de s'emparer de 70 ou 80% du marché des mémoires à accès aléatoires (RAM) en lancent un autre, le plan de 5ème génération de calculateurs, qui mobilise effectivement toutes les énergies aussi bien d'enseignants chercheurs que d'ingénieurs et techniciens avec des possibilités d'équipement et d'investissement considérables ; on peut ainsi parier à coup sûr que si PROLOG trouve dans la constitution et l'interrogation de bases de données ou la mise au

point de terminaux réputés intelligents ( en ce sens que leurs utilisateurs disposeront d'une base de connaissance aisément accessible et facilement manipulable) , cela se fera au Japon et ce sera l'industrie japonaise qui en encaissera les bénéfices.

Ce rapport est et veut être un cri d'alarme : en informatique comme ailleurs le succès que l'on cherche, c'est-à-dire la conception et la mise au point d'appareils et de systèmes qui sont légèrement supérieurs (au plan de l'efficacité ou du rapport qualité/prix) à ceux de nos concurrents, exige beaucoup de compétence, beaucoup de travail, de l'astuce, et un investissement important. Nous n'avons guère aujourd'hui que de l'astuce, ce qui est manifestement insuffisant. Il semble être temps de rassembler autour de choix clairs le trop faible nombre d'informaticiens que la France recèle : aucun de ces choix ne peut être fait dans le cadre de cette mission. Leurs multiples implications nécessitent une large concertation et une étude approfondie. Nous sommes convaincus que tous les informaticiens sont prêts à y participer voire y consacrer toute l'énergie que leur donne le désagréable sentiment d'être à la traîne.

