

Informatique et Société

Rapport à l'Académie Interdisciplinaire de la ville de Paris

Pierre Bernhard

Juillet 1998

La société N ayant achevé, avec le concours d'un grand cabinet conseil, de préparer son système informatique pour le passage à l'an 2 000, elle décida de le tester en vraie grandeur. Pour ce faire, il fut décidé de fonctionner un week end en étant fictivement en 2 000. Les collaborateurs furent priés d'être tous à leur poste de travail ce samedi à l'heure habituelle, et les calendriers furent changés pour démarrer une exploitation. Las, panne totale d'alimentation électrique ! Plus de courant, alors que tous le personnel était présent, au tarif des heures supplémentaires bien sûr !

Appel du dépannage d'urgence, recherche fébrile... C'était une panne "de l'an 2 000". Il s'avéra en effet que l'onduleur qui alimentait l'entreprise était muni d'un boîtier électronique de commande qui recevait la date du système informatique général, et la comparait à la dernière date de maintenance qu'il conservait aussi. En cas de dépassement d'un certain délai, il devait afficher un message. Là il trouva un délai négatif, cas non prévu par le programme et qui le mit en défaut, provoquant un ordre d'arrêt complet de l'onduleur.

Cette anecdote véridique est exemplaire. Elle révèle à la fois qu'il y a désormais du code informatique qui s'exécute aux endroits les plus inattendus, que les spécifications en sont d'habitude mal connues et souvent imparfaites, que les problèmes de maintenance de code sont très différents des problèmes de maintenance traditionnelle,... et que le souci du "bug de l'an 2 000" est fondé, (nous y reviendrons).

Examinons un peu systématiquement ces divers aspects.

1. Étendue et universalité de la numérisation

Le phénomène majeur qu'il faut prendre en compte est celui de la *numérisation*. Bien qu'il soit un lieu commun de souligner son ampleur, nous voulons y revenir, car elle dépasse sans doute ce que bien des gens, même cultivés, imaginent.

1.1. Les hautes technologies

C'est dans les domaines technologiques que la numérisation s'est d'abord répandue, et c'est là qu'elle étonne le moins aujourd'hui. Donnons néanmoins quelques indications.

Les constructeurs de voiture ont été parmi les premiers, dans les années 80, à acquérir des "super ordinateurs" comme on disait à l'époque, -des CRAY 1 qui valaient

des centaines de millions de francs et avaient une puissance de calcul comparable à une station de travail de bureau d'aujourd'hui, valant 20 à 30 000 F.-. L'objectif était de faire des calculs d'aérodynamique, comme les avionneurs en faisaient déjà. Mais une voiture n'est pas un avion de combat ! Il faut croire que les gains espérés justifiaient cet investissement. Puis les bureaux d'étude ont eu besoin de plus de puissance de calcul pour étudier les problèmes de bruit dans la voiture. Aujourd'hui, les calculs de bruit sont eux-même peu de chose par rapport à ceux de tenue de la structure en cas d'accident (les calculs de "crash").

Puisque j'ai évoqué les avionneurs (domaine que je connais un peu), on considérait jadis que dans le coût de la conception d'un avion de combat, il y avait pour moitié la cellule et pour moitié le réacteur. Aujourd'hui, l'informatique embarquée représente plus du tiers du coût de développement, et plus de la moitié des aléas. Et dans la conception des avions de ligne, le temps de soufflerie, très onéreux, a été divisé par 10, tandis que le nombre de configurations et de formes "essayées" (certes majoritairement en simulation) décuplé. Et un avion comme le Boeing 777 a été entièrement conçu, dessiné et défini avec le système de Conception Assistée par Ordinateur (CAO) CATIA, conçu par Dassault et distribué par IBM.

Mais ce ne sont là que des domaines classiques d'utilisation de l'informatique. Plus de technologie avancée qui y échappe aujourd'hui : l'imagerie médicale a été bouleversée, la chirurgie elle-même avec la laparoscopie, la synthèse chimique totalement renouvelée, etc.

1.2. Les domaines de "basse" technologie

Plus surprenant peut-être, des domaines dont on ne croirait pas qu'ils soient de haute technologie ont été totalement renouvelés, voire bouleversés, par la numérisation. La typographie en est un. Une page comme celle-ci, ou pire comme celle jointe (une page de mathématiques) représente des débauches de calcul. Qu'on y songe : en fonction de la donnée d'une suite de caractères à imprimer, de leur police, leur corps, leur graisse, puis d'un fichier décrivant pour chacun d'eux sa forme, calculer les espaces libres, les crénages et les ligatures pour les plus beaux systèmes, pour finalement calculer pour chaque point de la page, avec une définition de plus de six millions de points pour cette page-ci, s'il doit être blanc ou noir. Sans parler de la gestion des numéros de page, de notes de bas de page, de chapitres et paragraphes, et, pour des systèmes comme LaTeX, des noms d'équations, de sous parties, de références bibliographiques, etc. Et chacun connaît les possibilités étonnantes de systèmes comme Express ou d'autres, qui permettent des mises en page fantaisie, des écritures déformées, tout cela n'est que puissance de calcul.

Notons aussi qu'un nouveau type de document est apparu qui doit tout à l'informatique: l'hyper-texte. Les facultés de lettres les plus éclairées ont commencé à enseigner l'art d'écrire ces documents, ce qu'on appelle l'écriture non linéaire. Mais bien sûr, les grandes références manquent !

Et qui aurait cru que l'art de retrouver un dossier dans un placard devienne un art noble, puis une science ? C'est pourtant tout ce dont parle la technique des bases de données. Et avec les systèmes d'information d'entreprise, c'est une technique vieille comme le monde, celle de l'organisation, qui est remise en question. Comment éditer la fiche de paye de tous les employés d'une entreprise sans se tromper. De la haute technologie ? Oui, sans doute, mais nous touchons là un problème sur lequel nous reviendrons in fine.

Il faudrait encore citer la vente par correspondance -l'informatique a révolutionné le travail de La Redoute, Les Trois Suisses et consort- et plus généralement la fonction commerciale de la distribution. Les "Galeries Lafayette" ont été parmi les premiers adhérents au W3C, le consortium international chargé de veiller à l'évolution ordonnée des standards du World Wide Web (dont nous parlons plus loin).

On trouve en fait peu d'activités industrielles ou économiques qui n'aient vu leur fonctionnement plus ou moins profondément affecté. La possibilité de *simuler* des processus est au cœur de bien des (r)évolutions. C'est déjà de cela qu'on parle en aérodynamique, mais je ne crois pas savoir citer d'activité économique où cette possibilité soit absente ni indifférente.

On pourrait citer aussi toutes les professions libérales. Une mention particulière peut-être pour les architectes. Non seulement ils en ont fini avec les plans qu'on "gratte" pour faire une modification, mais le dessin d'antan est devenue une véritable activité de "construction" quand les objets dessinés se sont dotés d'une autonomie et d'un contenu sémantique. Ainsi peut-on déplacer une cloison avec tout ce qu'elle porte (portes, conduits, etc.) de quelques mouvements de souris, et obtenir en même temps le nouveau métré, puis le devis quantitatif estimatif. On voit qu'il s'agit de beaucoup plus que d'aider au dessin : la numérisation et l'informatique apportent beaucoup plus qu'une table à dessin virtuelle, ce qui était déjà beaucoup.

Un mot pour ne pas oublier les jeux, puisque c'est à la fois un phénomène de société...et un marché monumental. (Et, pour moi, un souci.)

1.3. Les télécommunications

Tout ce que nous avons évoqué jusque là est sans doute peu de choses par rapport à la révolution qui est en train de s'accomplir dans les télécommunications.

1.3.1. Des télécommunications nouvelles

Prenons le téléphone portable. Mon fils aîné part pour une semaine en Australie. Un coup de téléphone à son agence, et voici son numéro de portable étendu au monde entier. 9h du matin, il est 19 h là bas, c'est le bon moment pour le joindre. On fait son numéro de portable sur notre clavier, et le voilà en ligne. Ce qui m'étonne, ce n'est pas tant que je puisse l'entendre parler à 15 000 km. Mais comment le système téléphonique mondial "sait"-il que ce jour là, ce numéro SFR là, c'est depuis une antenne située en Nouvelles Galles du Sud qu'on doit l'appeler ? Voici la réponse. Tant que votre téléphone est en "veille", il écoute les longueurs d'onde sur lesquelles émettent les balises (fixes)

locales. Sur l'une d'elle, il dit (toutes les 10 secondes en gros) qui il est et qu'il est là. Cette information reçue par la balise en Australie est immédiatement acheminée par le réseau téléphonique sol au site central de son opérateur. Quand quelqu'un appelle ce numéro, la requête arrive à ce site central qui "sait" que ce numéro se trouve dans le domaine d'écoute de telle balise en Australie et achemine l'appel vers cette balise.

Ceci est une grosse simplification de ce qui se passe en réalité, qui prendrait tout un cours à expliquer. Et je vous fais grâce de ce qui se passe quand les locuteurs se déplaçant, ils changent de balise en cours de conversation, sans le savoir bien sûr. Mais imaginez qu'il en va ainsi de *tous* les portables qui circulent. Ainsi la planète est un vaste réseau d'échanges que parcourent en permanence des centaines de millions de signaux disant "je suis là", "il est là". A l'évidence, seuls des ordinateurs peuvent s'acquitter de faire transiter et traiter un tel flux de signaux. Sous peu, des constellations de satellites en orbite moyenne offriront un service équivalent. La débauche de technologie n'en sera que plus grande.

Au titre des nouveaux moyens de communication, il faut bien sûr citer le fameux INTERNET. Pour des raisons pas mystérieuses du tout, le public français ne le découvre que depuis un an, avec pas mal de retard sur les autres pays européens. Mais mes collègues et moi avons déjà nos adresses INTERNET sur nos cartes de visite en 1980, car c'était devenu en peu de temps le moyen de communication normal. Ce réseau mondial fonctionne selon un principe tout à fait inconcevable à l'époque des télécommunications analogiques, c'est à dire sans numérisation. En effet, l'information à transmettre, voix, texte, image, programme,... est découpée en "paquets" de quelques centaines ou milliers de bits. Ces paquets sont "emballés" (précédés et suivis) dans des informations de service comme les adresses d'origine et de destination. Puis chaque paquet est envoyé sur le réseau où des "routeurs" -des ordinateurs spécialisés- calculent par où les envoyer en fonction de l'état de leur "connaissance" -des tables donnant des voies vers d'autres routeurs, remises à jour grâce aux informations reçues des routeurs voisins et des paquets reçus- et de l'encombrement des lignes. Ainsi, des paquets successifs peuvent emprunter des chemins différents. Comme ils sont numérotés, l'ordinateur de destination peut les ré-ordonner, et signaler ceux qui manquent, qui peuvent être ré-émis.

Parmi les faits nouveaux considérables contenus dans cette brève description, signalons le fait que les données ainsi transmises peuvent contenir aussi bien du son (voix ou musique) que des images, fixes ou animées, du texte, des données structurées comme un tableur, etc. D'où la notion de communication multimédia, qui ouvre des perspectives qu'on entrevoit à peine.

Elle peuvent aussi transporter un hypertexte, ce qui est encore quelque chose de différent. C'est le World Wide Web, qui a forcé la porte de la forteresse France en dépit des efforts des gardiens du temple, et fait découvrir l'INTERNET aux français. Un hypertexte à l'échelle du globe associé à un moyen convivial de le consulter: les "feuilleteurs" (en anglais, "browsers") comme Mosaic (le premier), Netscape Navigator ou Microsoft

Explorer. L'importance des enjeux est telle que c'est autour de la compétition entre ces deux derniers que se focalise la bataille judiciaire Tout-le-monde contre Microsoft.

J'aurais pu parler des communications très haut débit, comme permettent l'ATM ou plus simplement le "relais de trames" (frame relay), des communications satellitaires, largement dépendantes de la numérisation, ou de tout cela combiné, de Numéris ou de l'ADSL.

1.3.2. De nouveaux usages

Ces nouveaux moyens techniques suscitent naturellement de nouveaux usages, et c'est là que se situe la révolution en marche. Quelques exemples, encore à la surface des choses.

A-t-on remarqué la plus grosse modification qu'apporte le téléphone portable. Ce n'est pas tant de pouvoir joindre quelqu'un à toute heure et à tout endroit. C'est que dorénavant, le numéro est *attaché à une personne* et non plus à un lieu. La jeune génération a immédiatement intégré cette révolution. "Tu sais où est Untel ? Non, mais j'ai son numéro de portable". C'est une nouveauté sociologique dont on commence seulement à percevoir les effets. Nous y reviendrons.

Le commerce électronique est présent en France depuis des décennies grâce au remarquable MINITEL. Le succès même de ce moyen a ralenti l'arrivée du nouveau commerce électronique, avec galeries marchandes, catalogues en couleurs et animés, animation de vente et promotions...

Le travail de groupe sans se réunir pénètre lentement les organisations. Les moyens techniques sont là. Le savoir utiliser avance moins vite. Mais il avance de manière certaine et irréversible. Il n'y a pas longtemps qu'on peut faire une conférence téléphonique à plusieurs devant un même téléphone juste posé sur la table. C'est encore grâce à l'informatique qui permet de traiter le signal reçu par le téléphone pour en retirer les échos. (On calcule en temps réel dans la modulation reçue ce qui est le signal d'origine et ce qui provient d'échos et on soustrait cette dernière partie. Un petit exploit technologique que nous utilisons banalement sans le savoir.) Mais on va bien au-delà maintenant, avec des textes élaborés à plusieurs, des annotations qu'on s'échange, bref tout une série de protocoles de travail, regroupés sous l'anglicisme "groupware", traduit en "collecticiel".

Pour en finir avec ce paragraphe sur les usages nouveaux, la grande affaire, l'INTERNET. INTERNET a d'abord été conçu pour transférer des fichiers plutôt importants (le ftp). Mais ce qui en a fait le succès initial a été le courrier électronique. A la fois instantané -les messages arrivent à l'autre bout du monde dans la minute- et asynchrone - contrairement au téléphone il n'est pas besoin que le destinataire soit présent-, il s'est rapidement enrichi de cent compléments comme la commande "reply" qui prépare une réponse sans avoir à regarder l'adresse, "quote" qui cite dans la réponse des parties du message initial, faire-suivre, les alias, les listes de distribution systématiques,... C'est très vite devenu l'outil de communication standard de toute une communauté, voire de transmission des instructions dans des organisations (comme l'INRIA). A ce moment là,

l'usage qui en est fait n'a plus rien à voir avec le courrier classique ni le téléphone. Un nouvel outil a créé de nouveaux usages. Sans parler des phénomènes sociologiques divers qui vont avec, que nous évoquerons plus loin.

Mais à nouveau ceci est sans doute peu de chose par rapport au "phénomène" web.

Je pars la semaine prochaine à Würzburg, Allemagne, pour un petit colloque sur invitations. 50 participants, rien de grandiose. Les organisateurs ont, comme toujours, installé un petit site "web" avec les informations de base que nous pouvons ainsi tous consulter depuis notre bureau. Naturellement, sur ce site ils ont cité le site de Würzburg. D'un clic souris, voici le site de la ville, donc des plans, la localisation des hôtels, etc. Prudence, j'imprime le plan de la ville avec la localisation de mon hôtel, et je range cela avec mon dossier pour le colloque. Notez que ce plan est à jour : c'est la ville de Würzburg elle-même qui le tient à jour. Naturellement la ville a cité les Chemins de fer fédéraux. Je ne sais pas un mot d'Allemand, mais d'un clic souris, voici les horaires des Deutsch Bahn. Francfort Airport-Würzburg tel jour vers telle heure (le dialogue en Anglais me rend la vie facile), et j'imprime les horaires dont j'aurai besoin suivant que mon avion est à l'heure ou en retard. Idem pour le retour. En 15 minutes j'ai réglé la question de mon déplacement. Ai-je pensé à vous le dire ? Je ne sais pas même où est Würzburg. C'est ce qui m'a été le plus difficile à trouver, le ville avait omis de mettre un plan de toute l'Allemagne, ou de toute la Bavière, pour se situer.

Pour qui a pris l'habitude de servir du Web, le gain de temps pour trouver des informations d'une incroyable diversité est extraordinaire. Parce qu'on s'habitue à ce qu'elles soient disponibles, on va les chercher quand on en a l'usage. On travaille mieux et plus vite. Une certaine sociologie fait qu'on peut deviner l'adresse (l'URL) du service recherché, quitte à tâtonner, ou à le demander à un moteur de recherche.

Là est peut-être le plus extraordinaire. Comme toute cette information disponible à qui veut aller la consulter est encodée sous forme numérique (nous aborderons plus loin le débat sur sa pertinence), on peut laisser à des programmes le soin de parcourir le réseau et de trier, classer, et nous aider à retrouver ce qu'on cherche. Les disques des moindres PC de bureau sont en giga octets, les grosses installations ont des téraoctets adressables. Une bible fait à peu près 40 méga octets: il en faut 100 pour faire 4 gigaoctets. On voit la quantité d'informations, les indexes dans tous les sens, qu'on peut stocker dans des mémoires pareilles.

2. Impact technologique: des problèmes nouveaux

2.0 Domaine scientifique

Il n'est pas question d'aborder ici les problèmes de l'informatique théorique. On se doute bien que, de même que la machine à vapeur a précipité l'étude de la thermodynamique, de même des pans entiers de mathématiques se sont développés pour mieux comprendre

ce qu'est un programme et ce qu'on peut faire faire à une machine. Je ne suis pas informaticien moi-même, mais automaticien, c'est à dire mathématicien dans une branche qui comme beaucoup d'autres a été totalement rénovée par l'existence des machines. Des questions de nature mathématique sont apparues qu'on ne se serait jamais posées si on n'avait pas eu cette possibilité de calculer.

Puisque d'aucuns -jusqu'au ministre en charge- ont émis des doutes à ce sujet, je veux seulement proclamer : oui, il y a bien une science informatique, et un impact considérable de l'informatique sur de nombreuses sciences, et au cœur même des mathématiques.

Et ceci fait, passer à ce qui est vraiment mon propos : non pas des problèmes nouveaux mais des problèmes d'une nature nouvelle.

2.1 Concevoir une abstraction

Un programme est une abstraction, mais une abstraction opérationnelle. Les problèmes de conception en sont totalement différents de ce que la civilisation industrielle avait conçu. Jusque là, et depuis la nuit des temps en fait, la démarche de conception fondamentale était par "essais et erreurs". Les cathédrales, par exemple, magnifiques monuments au savoir construire de leur époque, ne doivent à peu près rien au calcul et à peu près tout au processus d'essais et d'erreurs. (Les erreurs s'appellent Beauvais, et de bien d'autres noms qui ne nous sont pas restés.) Et pour construire un grand édifice, il suffit de mettre beaucoup de monde au travail pour faire monter les murs de beaucoup de côtés à la fois.

Cette philosophie a échoué pour la conception des grands programmes. Le grand échec le plus célèbre est sans doute "OS360", le système d'exploitation des IBM 360. On a cru qu'il était possible de confier les divers morceaux du système à suffisamment de développeurs puis d'assembler le tout. Quand le développement a pris du retard, on a ajouté des développeurs, et le retard n'a fait que s'aggraver. (Ceci est magnifiquement décrit dans le livre "The mythical Man-Month" de Frederick P. Brooks Jr.) On estime que les modèles 360 sont sortis avec des dizaines de milliers d'erreurs dans leur système d'exploitation, lequel n'a jamais été totalement débogué. ("Bogue" est la traduction française admise de "bug", défaut d'un logiciel qui le fait se comporter d'une façon on conforme à son objet.)

Le phénomène fondamental est que la complexité des logiciels croit de façon combinatoire avec leur taille. De sorte que la difficulté de spécifier et développer un grand logiciel n'est pas "maquetable". Le modèle réduit n'apprend rien sur le système grandeur nature.

Ainsi, le seul problème de *spécifier* ce qu'on attend du logiciel à développer s'est révélé être extrêmement difficile, et a du faire l'objet de recherches. Il n'est absolument pas résolu, ou du moins sa solution n'est absolument pas dans la pratique industrielle courante, concernant des logiciels qui, comme un système d'exploitation, un autocommutateur, un système de com-mande de vol,... doit fonctionner en permanence en répondant de façon adéquate à des stimuli extérieurs. (Par opposition avec les programmes qui prennent un paquet de données en entrée, font un traitement dessus puis rendent un résultat et s'arrêtent là.)

On a inventé des méthodes de spécification, puis des langages de spécification... puis on a pensé à exécuter directement la spécification écrite dans ce langage ! On voit qu'il ne s'agit donc que de remonter dans le niveau d'abstraction afin d'écrire des choses plus simples qui échappent ainsi à l'explosion combinatoire. Mais surtout, on a conçu des ateliers logiciel qui sont des programmes guidant le développeur dans le développement de ses programmes... Non seulement ces ateliers essaient de repérer au vol certaines erreurs de programmation qui peuvent l'être au moment de l'écriture, par opposition à celle qui ne peuvent l'être qu'à l'exécution, mais surtout, ils essaient de donner au développeur un cadre dans lequel la méthode qu'il utilisera sera conforme aux règles de l'art.

Puisqu'il faut bien sourire de ce qu'on ne maîtrise pas, citons ici le célèbre théorème du à Hofstadter :

Loi d'Hofstadter : développer un grand logiciel prend plus de temps que ce qu'on avait prévu, même en tenant compte de la loi d'Hofstadter.

La difficulté de spécifier ce qu'on attend d'un logiciel se paye immédiatement quand un incident sérieux se produit, comme l'échec du vol Ariane 501 par exemple. Qui est responsable ? Si le logiciel était conforme à sa spécification, c'est le donneur d'ordre. Si au contraire l'accident provient d'un comportement non conforme aux spécifications, c'est bien sûr le développeur. Évident ? Et bien non. Car dans un grand système complexe comme Ariane 5, -au demeurant beaucoup moins complexe que le système du téléphone par exemple- il est extrêmement difficile de définir ce qu'est la spécification ! On voit la nature très nouvelle des problèmes posés, et que le système social est actuellement inapte à les traiter correctement. (Personne n'a été déclaré responsable de l'accident d'Ariane 5 et sanctionné pour cela.)

Et dans un exemple comme celui que je cite, que dire des procédures d'essais de validation. Le public s'étonne : comment n'avait-on pas essayé ce programme ? Gilles Kahn, l'informaticien de la commission d'enquête, (élu depuis à l'Académie des Sciences) fait ce parallèle : vous fabriquez un additionneur. Prétendez-vous l'essayer de manière exhaustive, c'est à dire lui présenter toutes les combinaisons possibles de deux nombres pour vérifier s'il donne toujours le bon résultat ?

On voit que du fait de leur nature combinatoire, ces systèmes, qu'on a bien de la peine à spécifier, ne peuvent être testés exhaustivement, du moins n'est-on jamais sûr de l'avoir fait. Dans le cas d'Ariane 5, certes les tests auraient pu être un peu plus complets et révéler le défaut. Mais la plate-forme à inertie dont le logiciel a été mis en défaut avait volé exactement dans la même configuration sur d'innombrables vols Ariane 4 sans jamais être cause de problèmes. Elle était donc considérée comme éprouvée -si non prouvée. (L'ironie est que par sûreté, on avait donc évité de la modifier pour l'adapter à Ariane 5, et c'est dans une partie de code inutilisée par Ariane 5 que la panne fatale a pris naissance.)

Or nous ne sommes pas dans le "marginal". Ainsi, par exemple, on estimait autrefois que le développement d'un avion de chasse comportait deux grandes parties, de coût

sensiblement comparable : la cellule et le réacteur. Aujourd'hui, il y a trois grandes parties la cellule, le réacteur, et les logiciels de vol. Des trois, c'est la dernière qui représente le plus gros investissement, et la plus grande incertitude sur le délai de développement. Un général de l'Armée de l'Air US a ainsi pu déclarer au Congrès : "sur les développements logiciels nous avons un historique parfait : nous avons été en retard et en dépassement de coût sur tous les systèmes d'armes."

2.2 Maintenance

2.2.1 Entretien.

Quel drôle d'objet qu'un logiciel, un composant cher, qui n'a ni masse ni encombrement (ou presque), et qui ne s'use pas en servant, contrairement à tous les objets manufacturés. Et pourtant il faut prévoir qu'on devra l'entretenir. Soit que les spécifications attendues seront revues, voire carrément modifiées, c'est par exemple le cas des chaînes de paye qui doivent incorporer les incessantes modifications des lois et règlements qui gouvernent les salaires, soit qu'on découvrira des imperfections qui devront être corrigées. Un cas typique est le désormais célèbre problème "de l'an 2000". Il mérite que nous y consacrons un paragraphe spécial plus loin.

La nécessité de pouvoir entretenir les logiciels impose une contrainte absolument majeure: celle de les documenter. A quelle partie des spécifications correspond chaque morceau de code, que sont les variables introduites, comment elles sont réutilisées, etc. Il convient aussi de rédiger les programmes de façon qu'y retrouver ce qu'on est susceptible d'y chercher soit facile. Ainsi, pour "régionaliser" un logiciel, c'est à dire l'adapter à un nouveau pays, il est essentiel que tous les messages qu'il est susceptible d'envoyer à l'utilisateur soient regroupés et commentés.

Un problème pas vraiment résolu actuellement est celui de repérer les morceaux de code "morts", c'est à dire qui, par suite de modifications dans l'écriture ou la vie du programme, se trouvent ne plus jamais être utilisés. Il serait pourtant bon pour l'encombrement et surtout la lisibilité du programme de les supprimer !

2.2.2 Panne

Mais pour nouveaux que soient ces problèmes, ils sont de moins de conséquence que ce qui est arrivé au concept de panne.

Gilles Kahn raconte l'étonnement du directeur général de l'ESA quand il lui a expliqué le détail de la panne d'Ariane 501. "Alors" disait-il, "si on avait tiré dix fois dans cette configuration, on aurait eu dix échecs". Classiquement les pannes sont des événements fortuits, résultat, souvent, de causes extérieures exceptionnelles, ou d'un défaut de fabrication aléatoire, et non moins exceptionnel. Ici rien de semblable. Un défaut comme celui d'Ariane 5 a le caractère d'une panne en ce qu'il se manifeste de façon imprévue en opération après des dizaines de tirs réussis du même dispositif, mais il a le caractère d'une erreur de conception en ce qu'il n'y a rien d'aléatoire dans sa manifestation.

Les spécialistes de la qualité ont développé des outils conceptuels d'analyse du concept de panne, et de quantification, fondés sur des notions statistiques, et donc probabilistes.

Mais cette approche s'est trouvée impuissante à décrire la notion de "panne logicielle". De ce fait, les méthodes classiques d'assurance qualité sont également mises en défaut, surtout tout ce qui est basé sur des mesures d'échantillons.

Le mécanisme fondamental qui assure la qualité d'un compilateur, par exemple, ou d'un traitement de texte, est qu'il est utilisé par des milliers d'utilisateurs très divers qui signalent à l'éditeur les anomalies qu'ils rencontrent à l'usage. Ainsi, au bout d'un certain temps, on peut penser qu'il n'en reste plus guère, encore que le mécanisme des corrections et améliorations successives donnant naissance à des versions (des "releases" en Anglais) successives vienne contrarier le processus de maturation. Mais ce mécanisme n'est pas disponible pour les logiciels critiques, dont peu d'exemplaires sont en utilisation, et pour lesquels une panne est catastrophique, mettant en jeu la mission, et souvent la vie humaine. Qu'on pense aux logiciels de vol d'un avion de ligne par exemple.

Actuellement, la solution utilisée sur les avions de ligne consiste à avoir en vol plusieurs versions du logiciel, programmées sur les mêmes spécifications par des équipes différentes, et s'effectuant sur des architectures matérielles différentes. Il faut encore une procédure de vote quand deux calculateurs donnent des résultats trop différents, c'est un point faible de cette approche. Le procédé est rustique, on le voit, pas totalement satisfaisant, et trop coûteux pour des systèmes produits en encore plus petite quantité et n'engageant théoriquement pas la vie des utilisateurs. Mais qu'on ait dû se résoudre à cette solution indique suffisamment combien le processus de création des logiciels complexes critiques est mal maîtrisé.

2.3 Le problème de la variabilité

2.3.0. Les faits

Un problème tout à fait nouveau aussi est posé à cette industrie par la vitesse inouïe à laquelle évolue la technologie. Quelques chiffres d'abord: on parle de doublement de la puissance tous les 18 mois, à coût décroissant. Cela veut dire un facteur 1 000 en 15 ans. On observe en fait plus que cela sur les quinze dernières années. En 1983, j'ai fait acquérir pour l'INRIA Sophia Antipolis une machine MULTICS DPS 68 de 7 millions de Francs de l'époque, dont on discutait de savoir s'il fallait la caractériser comme faisant un million d'instructions par secondes, ou plus près de deux. Certes elle était un peu chère pour sa puissance, et d'autres considérations entraient en jeu, de politique industrielle nationale (drôle de machine française qu'il fallait alimenter en 60 hertz...) et d'homogénéité avec la maison mère de l'INRIA. Aujourd'hui, pour 10 millions de francs, il convient d'exiger au moins 10 Gigaflops, soit à peu près 50 milliards d'opérations par secondes, soit 25 000 fois plus. Il en va de même des capacités de stockage : je me souviens avoir, à la même époque, réuni le conseil de labora-toire pour décider de l'acquisition d'un disque de 80 méga-octets. On ne dérangerait guère cette instance pour moins de 80 giga-octets aujourd'hui.

2.3.1. Le cycle de conception

L'industrie n'avait jamais travaillé dans de telles conditions d'instabilité technologique. Si développer un produit doit prendre trois ans -qu'on se souvienne ici de la loi d'Hofstadter-

c'est une génération de machine ultérieure qui sera en service au moment de la mise en service du produit.

Imaginons ce qu'il en serait de l'industrie de la voiture automobile dans des conditions pareilles. Que faire d'une structure commerciale organisée pour vendre des objets d'un million de francs pièce quand le produit à vendre coûte dix mille francs ? Quelle aubaine pour l'industrie du transport, mais quel casse-tête pour l'industrie automobile !

C'est exactement ce qui s'est passé. Au moment même où l'on parlait tant de la "crise de l'informatique", l'industrie informatique ne s'était jamais si bien portée. Les constructeurs subissaient une crise grave, mais ils ne sont pas "l'industrie informatique" à eux seuls, ils n'en sont même qu'un maillon économiquement très minoritaire. Le nouveau géant, Micro-soft, n'a jamais produit une machine. Mais il faut bien que quelqu'un en produise, et il ne faut pas s'étonner que ce segment industriel là aille de crise en crise, et de coup de tonnerre en coup de tonnerre. Le dernier en date est le rachat de Digital Équipement Corporation, il n'y a guère le numéro 2 des constructeurs, par Compacq, un producteur de PC, c'est à dire à l'origine un vague "copieur" extrême oriental d'IBM sur un segment "grand public", jadis méprisé.

Ce phénomène a aussi des répercussions profondes sur la recherche. Ainsi, tous les efforts pour concevoir des machines parallèles ont-ils été victimes du fait qu'une fois la nouvelle machine développée, les processeurs "de base" avaient tellement progressé que la puissance recherchée via le parallélisme était devenue disponible sur des architectures classiques. Dans ces conditions, seules des idées "génériques", logicielles, et applicables sur toute machine classique, avaient la possibilité d'aboutir.

2.3.2. Cycle de vie : le long terme

Les informaticiens se sont habitués à vivre dans cette situation où une machine de trois ans est "vieille". Mais ces machines et leur logiciel équipent des systèmes industriels destinés à durer beaucoup plus longtemps. Puisque, comme nous l'avons vu, il faut entretenir les logiciels, et bien sur aussi les matériels, on se trouve devant le problème d'entretenir ce qui est considéré comme des antiquités.

Ainsi par exemple, un système d'armes majeur (un porte avions par exemple) est en service une trentaine d'année. C'est presque l'âge de l'informatique, et assurément un ensemble matériel et logiciel de cet âge est quelque chose que nos élèves sortant d'école aujourd'hui ignorent totalement. Où trouver les personnels compétents pour faire cet entretien ? Je con-nais mieux le problème logiciel que matériel, il est considérable. Selon toute vraisemblance, les langages utilisés ont totalement disparu des enseignements et des développements. Au reste c'est souvent de l'"assembleur", un langage de très bas niveau, donc très difficile à maintenir, propre au processeur matériel, donc plus disponible nulle part, que dans ce système d'armes. On est amené à refondre totalement l'informatique de tels systèmes, et ce qui précède laisse deviner le coût d'une telle opération, essentiellement parce qu'il est devenu impossible à maintenir.

Ce problème est au cœur de la réflexion stratégique d'entreprises comme Thomson. Mais

si c'est un directeur de cette entreprise qui me l'a signalé, c'est que les systèmes d'armes ont été parmi les premiers grands équipements à utiliser massivement l'informatique. Au vu du développement qu'elle a connu depuis, et que j'ai essayé d'indiquer au début de ce rapport, on comprend que le plus gros des problèmes est devant nous. Et sans doute est-il plus considérable qu'on ne le pense. Je suis convaincu que nous accumulons des charbons ardents sur notre tête. Ce qui suit en est une indication.

2.3.3. Le "bug de l'An 2 000"

Tout le monde a entendu parler du problème de l'an 2 000, "Y2K" (pour Year 2 Kilos). Mon exemple introductif indique à quel point c'est un vrai problème. Mais qu'on y réfléchisse, ce n'est qu'un exemple du type de problèmes qui vont résulter du conflit entre une industrie de la novation permanente et la gestion du long terme. Au demeurant, d'autres phénomènes du même type sont en vue, par exemple le passage de l'indice Dow Jones au-dessus de 10000 points, qui devrait se produire avant le 1er janvier 2000.

Pourquoi y a-t-il un problème, dont le coût est évalué suivant les auteurs en centaines ou en milliers de milliards de dollars ? Il suffit pourtant de regarder dans les programmes existants les endroits où une date a été codée avec deux chiffres seulement pour l'année, et de les remplacer par des dates à quatre chiffres, en complétant automatiquement les deux chiffres actuels par un 19 devant.

J'espère qu'arrivé à ce point, il est clair pour tous que ce "il suffit" est ironique. Les grandes chaînes de paye, par exemple, représentent des dizaines ou des centaines de milliers de ligne de code. Les dates sont susceptibles d'y être manipulées sous des noms aussi expressifs que A1, A2 et A3,... être reçues d'autres programmes, tout aussi complexes, et les traitements qui sont faits avec peuvent être arbitrairement étranges. Le problème de la documentation des grands programmes montre ici son acuité. Mais il était beaucoup moins bien perçu il y a vingt ans qu'aujourd'hui. Ces grands programmes n'avaient pas de spécification explicite rassemblée en un seul endroit organisé. Ceci d'autant moins, pour les chaînes de paye par exemple, qu'ils sont le résultat des modifications incessantes que la réglementation a imposées. Dans d'autres cas, les pires, le "source" du programme c'est à dire son texte en langage de haut niveau, a disparu. Seul reste alors l'"exécutable", c'est à dire le programme en langage machine engendré par le compilateur à partir du source. Dans ces cas, il faudra ré-écrire le programme, c'est impossible de le modifier.

Mais l'anecdote de l'introduction montre qu'il y a pire : on ne sait même pas où sont tous les programmes à corriger. Dans le cas de cette anecdote, personne dans la société ne savait qu'il y avait du code dans le contrôleur de l'onduleur.

Le problème est si sérieux que les compagnies aériennes sont en train d'annoncer les unes après les autres qu'elles ne voleront pas le 1er janvier 2 000. Trop de risque qu'une panne apparaisse à un endroit imprédictible, qui mette en péril la vie des passagers. Et même si ce n'est pas dans le transport aérien, il est clair qu'il y aura d'innombrables surprises dans les premiers jours 2 000. Personne ne croit qu'il soit possible de trouver

à l'avance et de corriger toutes les causes possibles.

D'ailleurs, méfiez-vous de votre propre ordinateur familial. Il comporte une horloge et utilise la date pour décider quelle est la dernière version de vos fichiers. Je vous conseille de faire l'expérience suivante: constituez un petit fichier, sauvegardez-le et fermez le logiciel qui vous a servi à le créer. Ensuite, allez passer la date courante de votre machine à 2000 -si elle veut bien, sinon, ce sera 00. Relancez le même logiciel, rouvrez votre fichier et modifiez-le, sauvegardez-le à nouveau, et refermez votre fenêtre de travail. Enfin, rouvrez à nouveau le même document, et regardez si la modification que vous venez de faire y est. Ce n'est pas sûr. En tout état de cause, sauvegardez tous vos fichiers importants sur une disquette avant le 1er janvier 2000.

2.4. De l'immatunité de la jeunesse

J'ai décrit dans les quelques paragraphes qui précèdent un nombre important de problèmes posés par l'informatique mal résolus et susceptibles d'avoir des répercussions importantes sur la société "civile", je veux dire au-delà du monde de la haute technologie. Il me semble qu'une morale se dégage de cela. Voici mon sentiment.

La possibilité de *numériser et de calculer* dont nous disposons est d'une telle conséquence, offre de telles perspectives, que la société toute entière s'est précipitée dessus et s'en est servi massivement alors que la discipline était trop jeune, pas digérée par une réflexion de fond ni scientifique ni méthodologique.

Qu'on ait pu écrire des dizaines de milliers de lignes de programme en 1970 sans se soucier du fait qu'ils étaient inaptes à passer l'an 2 000 est à peine croyable. C'est ce que j'appelle une erreur méthodologique, que seule l'absence totale d'une tradition industrielle et de règles de l'art codifiées, enseignées et pratiquées, a permis. C'est un trait d'immatunité de la techno-logie.

Il en va de même au niveau scientifique et technique. Les problèmes de conception et de test que j'ai mentionnés sont fondamentaux pour toute technologie. Mais il y a des programmes dans le moindre contrôleur d'onduleur avant que la réflexion théorique soit arrivée au point où l'on sache simplement spécifier ces objets. Les problèmes que la société vient poser à un organisme comme l'INRIA suggèrent irrésistiblement cette analyse, qu'on s'est servi de la technologie numérique alors qu'elle est encore totalement immature.

Ce sentiment est d'autant plus fort pour l'automaticien que je suis. L'Automatique est une branche des mathématiques appliquées, qui a près de deux-cents ans. L'existence de l'informatique y a eu une influence majeure en ce qu'elle a dégagé la discipline de l'électronique, et en lui offrant la possibilité de faire toutes sortes de calculs a révélé sa vraie nature mathématique. Mais pour autant son mode de vie, d'évaluation de la recherche, ses références, sont ceux des mathématiques fût-ce-t-elles appliquées. Ceci induit des cultures très différentes chez les deux communautés, les uns ne comprenant pas qu'on attribue une valeur à des travaux "de concours Lépine" (le Web rentre dans cette catégorie), les autres ne comprenant pas qu'on puisse servir son temps en

n'étant pas quotidiennement bousculé par l'actualité technico industrielle et pressé de questions urgentes par l'industrie.

Je ne prétends pas trancher une éventuelle querelle. Leur situation historique est différente. Mais à n'en pas douter, l'informatique est dans celle de l'immaturité de la jeunesse.

3. Impact économique

Ce chapitre devrait être à lui seul aussi développé que tout le reste du rapport, tant est massif l'impact économique des technologies numériques. Il ne sera qu'esquissé parce que c'est sans aucun doute un aspect bien connu de la question, et qu'il n'est guère besoin de surenchérir sur le sujet.

3.1 Toutes les activités économiques sont touchées

La conséquence de ce que nous disions au premier paragraphe sur l'étendue et l'universalité du phénomène de la numérisation, c'est qu'on ne sait guère citer d'activité économique significative qui ne soit touchée, d'habitude profondément, par l'irruption des technologies de l'information. Il ne s'agit pas juste de "gains de productivité". La technique ayant apporté des biens nouveaux et de nouvelles formes de consommation, les marchés sont aussi bouleversés que les méthodes de production.

On voit en particulier un phénomène sans doute peu classique dans l'organisation économique, que des producteurs (l'industrie de l'offre de télécommunication, de logiciels professionnels,...) ne connaissent pas les limites de leur marché, au point de parler non plus (seulement) en termes d'études de marché mais d'étude des usages : on offre un service ou un produit, et on observe les choses tout à fait imprévues que les utilisateurs font avec...

Ceci a aussi des répercussions dans le vieux problème du "transfert technologique", -le mécanisme d'interaction entre recherche, innovation et marché- mais c'est là préoccupation de fonctionnaires de la recherche, que nous ne développerons pas.

Il faut cependant insister sur un point qui me paraît particulièrement important. Il faut absolument se garder du contresens consistant à évaluer l'impact économique de l'informatique en considérant le "secteur informatique", constructeurs et sociétés de logiciel. (On a même vu des gouvernants jugeant l'importance du secteur à la seule aune du secteur des constructeurs. Qu'on se souvienne que Microsoft, l'ennemi public N°1, n'a jamais construit une seule machine.) Il y a sans doute plus de personnes "faisant de l'informatique" chez Thomson CSF (secteur de l'électronique militaire) ou Aerospatiale (transport) que chez les grandes sociétés de service françaises, qui sont pourtant parmi les grandes du monde.

3.2 Des investissements nouveaux

Les enjeux économiques sont tels qu'ils motivent, à l'évidence, des investissements colossaux. Citons les constellations de satellites en orbite moyenne pour le téléphone: Iridium Globalstar et leurs frères représentent tous des investissements en milliards de dollars, et des projets comme Teledesic ou Skybridge, pour la transmission de données à haut débit, seront en centaines de milliards de dollars. (Chacun représente plusieurs centaines de satellites.) La demande est telle que les analystes doutent que Wall Street ait la capacité de financer tous les projets de ce type lancés.

Quant aux processeurs, si j'ai pu évoquer l'immaturation de la discipline, cette industrie est

déjà entrée dans le cycle des restructurations avec diminution drastique du nombre des acteurs, car les investissements sont là aussi gigantesques.

Mais le plus nouveau est ailleurs. Il est à nouveau lié au cycle de vie des produits. Un nouveau processeur est toujours issu d'un nouveau gain dans la densité des circuits intégrés c'est à dire de finesse de gravure. On en est aujourd'hui au quart de micron. Les développements nécessaires pour faire ces progrès sont toujours plus coûteux, sans parler de la conception de processeur de la complexité d'un Pentium 2 ou d'un PowerPC. Or, chaque génération n'est "en pointe" que 18 mois actuellement. La production de 18 mois ne peut amortir des années de développement. Il y a donc tout un jeu nouveau de glissement des produits d'un rôle à un autre, de processeur des postes de travail avancés à composant enfoui dans des produits industriels plus ou moins nobles, lesquels ne changent pas aussi souvent.

On le voit, la rentabilisation des investissements, même de pointe, repose sur une stratégie qui met en cause tout le marché des produits industriels. On comprend que ceci ne soit possible que dans une méga-économie très intégrée comme les USA. Au reste, si le Japon a pu un moment s'assurer le monopole de la production des mémoires vives -il est aujourd'hui concurrencé par la Corée-, il a échoué dans ses tentatives pourtant colossales de s'imposer sur le marché des processeurs. (Il a aussi échoué dans sa puissante tentative de prendre le leadership dans le domaine du logiciel, sans doute pour des raisons plus culturelles -qui l'ont conduites à des choix techniques perdant- qu'économiques.)

4 Impact sociologique

Au fur et à mesure que j'avance, je suis de plus en plus en "terra incognita" pour ce qui me concerne. Tout ce qui précède est là pour éclairer le débat qui commence ici, débat que je ne peux pas mener à un terme raisonnable par ignorance où je suis de la sociologie de ses concepts et de ses avancées. Je me contenterai donc de lancer quelques pistes.

4.1. Des espoirs et des dangers plus ou moins bien connus

4.1.1. Le Web se laisse écrire

On a beaucoup loué le nouvel accès à l'information rendu possible par le Web, et c'est en effet un phénomène sans doute comparable en importance à l'invention de l'imprimerie. (On voit que je ne marche pas !) On sait que les historiens font dépendre de ladite imprimerie la plus grande révolution intellectuelle des temps modernes, la Réforme. Pour le réformé que je suis, ce n'est pas peu dire. Quel mouvement d'idées va résulter du Web ?

On a aussi beaucoup entendu la critique évidente : toute cette information disponible au bout des doigts n'est-elle pas sujette à caution ? Bien sûr que si ! Le Web est un dazibao à l'échelle du globe. Chacun peut écrire ou publier ce que bon lui semble et le rendre accessible au monde entier. Ensuite, vient le lire qui veut, et qui sait comment y accéder, volontairement ou en se "promenant" (on dit en surfant) de référence (hypertexte) en référence. On peut donc y mettre absolument n'importe quoi, c'est un danger majeur.

On devrait donc l'interdire, ou tout au moins renoncer à s'en servir, et l'imprimerie aussi.

En effet, le papier aussi se laisse écrire, et les régimes totalitaires ont bien essayé d'interdire les moyens d'édition, machines à écrire, photocopieuses, micro-ordinateurs.

Un problème un peu particulier est posé par la protection des enfants. Il y a en effet aussi des sites très violents ou pornographiques, qui bénéficient même de l'image animée (nous avons failli envoyer à la France entière l'adresse d'un site de particulièrement mauvais goût en voulant donner celle ... des horaires des bus desservant Sophia Antipolis !) Il y a aussi des journaux pour ce genre de choses, mais un journal, il faut l'acheter à un vendeur -pire, une vendeuse- et cela constitue une barrière sociale qui est absente quand l'enfant est seul devant sa machine. On met en place en ce moment la technologie permettant à des agences autonomes de "noter" des sites, et au propriétaire d'une machine de réserver les accès aux sites "notés" comme il l'entend par les agences de notation de son choix.

4.1.2 Informatique et libertés

Ce titre est désormais bien connu en France, ce qui me dispensera de lui consacrer beaucoup de temps. Oui le risque existe, que l'exploitation systématique de fichiers "croisés" viole d'une manière insupportable la vie privée des gens.

Sait-on, par exemple, ce qu'on peut retirer d'un enregistrement de la consommation

d'eau d'un foyer minute par minute ? Une compagnie qui avait fait ces enregistrements pour des besoins d'étude de la clientèle s'est obligée à détruire les enregistrements individuels tant l'indiscrétion était manifeste. En croisant cette information avec le courant électrique, les habitudes de consommation,... on peut tout savoir de la vie d'un ménage.

La loi française nous protège assez bien. J'ai le droit, par exemple, en déclarant mon fichier, de tenir à jour pour mon église un fichier des protestants de Grasse et de ses environs. Un parti politique n'en a pas le droit, car ça n'a pas de rapport -officiellement- avec son objet, et j'avoue que ça me rassure. Et pensez au fichier du consistoire judaïque de votre ville.

La difficulté est de l'appliquer. Lequel d'entre-nous a pensé à faire une déclaration simplifiée du fichier de ses amis tenu sur son micro-ordinateur familial. C'est pourtant obligatoire, et il serait souhaitable que cette obligation fût respectée.

4.1.3. La complexification: coût et dangers

Je profite par contre du forum qui m'est donné pour dénoncer une fois de plus une dérive que seule l'informatique a rendue possible, celle de la complexification effarante des règles et règlements.

Prenons la CSG. Voilà une idée simple: on va prélever un pourcentage fixe de tous les reve-nus. Ah! trop simple pour nos gouvernants. On a donc décidé de prendre pour assiette 95% des revenus (ou quelque chose d'aussi absurde: autant changer le pourcentage prélevé) et on y a ajouté juste ce qu'il faut de règles bizarres pour que personne ne soit plus capable de calcu-ler son propre impôt.

Cet exemple est simple. Il est devenu impossible à un particulier d'établir la feuille de paye d'un salarié. Une association, peuplée de bénévoles, dont je m'occupe a eu l'idée d'employer un(e) CES puis de la faire passer en "emploi consolidé", payé un peu au-dessus des fatidiques 120% du SMIG. Sa feuille de paye ne tient pas sur le verso du formulaire vendu en librairie.

Pareilles extravagances ne seraient pas possibles sans l'informatique. S'il fallait établir à la main les feuilles de paye des employés de Renault, il y faudrait une armée, et les voitures coûteraient donc une fois et demie plus cher.

Ces excès ont un coût, et je reste aussi stupéfait que scandalisé que nos gouvernants se com-portent comme s'ils l'ignoraient. On imagine les heures de programmeurs passées à modifier, tester, valider, les chaînes de paye, les chaînes de traitement des feuilles d'impôts, etc.

Je ne résiste pas à raconter une anecdote à ce propos. L'INRIA a changé il y a peu d'années son système informatique de paye. L'agent comptable a exigé qu'on fasse deux mois de suite la paye en double -sur les deux systèmes- et qu'on compare exhaustivement tous les bulle-tins sortis. (Environ 2000 par mois). L'axiome sous-jacent est évidemment que l'ancienne chaîne était correcte, et devait servir d'étalon à la

nouvelle. Las ! La vérification a montré que cet axiome était faux! Depuis des années des calculs de paye étaient faux, de quelques francs ou centimes. La fin de la vérification exigée par l'agent comptable a consisté à introduire dans la nouvelle chaîne de traitement les erreurs de l'ancienne pour bien vérifier que là était l'origine des écarts constatés, puis bien sûr à rétablir cette nouvelle chaîne dans son intégrité. L'orthodoxie administrative aurait voulu que l'Administration procédât à des rectifications sur toutes les années écoulées depuis...Mathusalem. On y a bien sûr renoncé dans la plus parfaite illégalité.

Tout ceci ne fait qu'illustrer la dépendance quasi religieuse de l'informatique dans laquelle notre société s'est laissée enfermer par la complexité des règles qu'elle s'est donnée à la faveur justement de l'informatisation.

4.2. Une nouvelle culture

Qu'une nouvelle culture soit en train de voir le jour est une évidence. Mesure-t-on l'ampleur du phénomène ? Culture de l'image et de l'imaginaire. Citons quelques indices.

Je suis très inquiet de l'impact qu'ont les jeux type "Nitendo" ou autre "Playstation". Je suis convaincu qu'un certain nombre d'enfants qui ont commis des actes de violence inouïs ces dernières années sont tout simplement incapables de discerner la "vraie" vie du monde des jeux électroniques dans lesquels plus on a tué de gens plus on marque de points. Et les jeux qui captivent ainsi nos jeunes sont bien rustiques par rapport aux jeux en "réalité virtuelle" qui vont arriver d'ici deux ou trois ans.

Nous observons que les promotions de jeunes qui entrent à l'École d'informatique de l'Uni-versité de Nice-Sophia Antipolis veulent dans une proportion croissante faire l'option de traitement d'images. Ceci bien au delà de la demande industrielle. Ils sont fascinés par les images comme je l'étais à cet âge (et encore aujourd'hui!) par tout ce qui vole.

Je l'ai dit plus haut, un nouveau style littéraire a fait son apparition: l'hyper-texte, ou écriture non linéaire. Il inclut l'utilisation des images, voire du mouvement ou du son. En parcourant des documents hypertexte (principalement le Web en ce qui me concerne), on "voit" bien qu'il y a de beaux sites et des sites médiocres. Mais qu'est-ce qui fait qu'un site est "beau", convivial,... C'est aussi difficile à analyser qu'un beau style en littérature.

4.3. De nouvelles relations

Encore une évidence : changer les possibilités de communication entre les personnes change les relations qu'elles sont susceptibles de nouer. Si on change ces possibilités radicalement, on peut s'attendre à des modifications profondes. J'y reviendrai au paragraphe 4.5. Voici seulement quelques remarques de détail .

Depuis Jules Ferry, l'école impose une séparation entre les enfants et leur famille pendant le plus clair de la journée, au moins cinq jours par semaine. Ceci joue un rôle

important dans la modalité de distanciation de l'enfant à ses parents, de coupure du cordon ombilical. Les "pagers" (Tatoo, Tamtam,...) sont venus reconstituer en partie ce cordon ombilical. Tous nos collégiens et lycéens sont équipés de ce petit appareil, qui permet à maman de s'enquérir si le petit n'a pas oublié son mouchoir.

Un autre détail. Le courrier électronique est un médium fabuleux, c'est d'ailleurs lui, bien avant le Web, qui a assuré le démarrage d'INTERNET. Il présente la particularité d'être instantané, comme le téléphone, et asynchrone comme le courrier. Instantané dans son délai d'acheminement, mais aussi dans la façon dont on y répond. On le lit, par définition devant son écran, et une simple pression sur le bouton "répondre" et quelques lignes hâtivement tapées, voici une réponse envoyée. On répond donc avec la vivacité de l'oral. Mais à l'autre bout, le récipiendaire a un écrit. Ceci a été cause cause de bien des frictions. Une réponse orale peut être un peu vive, si on choque son interlocuteur, on le voit, et un sourire, une correction, la suite du dialogue, évitera le quiproquos. Avec le courrier électronique, la réponse partie avec la même vivacité est reçue par son destinataire seul, lequel peut lire, relire, ruminer cette réponse.

Tant de problèmes sont nés de cette situation nouvelle que la communauté a dû inventer un signe qui dit "ceci est dit pour plaisanter". Ce sont les "smiley faces" du type :=) Tournez la page de 90° dans le sens des aiguilles d'une montre, et vous comprendrez.

Du coup, on a inventé mille variantes, y compris le signe contraire :=(Mais le point important est la nécessité où nous nous sommes trouvés d'inventer de nouveaux signes, de nouvelles règles de politesse. Il y a un usage poli du courrier électronique, la "netetiquette" en Anglais.

2.4. De nouvelles organisations

Je ne vais parler ici que d'organisations de production, avec un exemple sociologique. Certainement on devrait étendre ce paragraphe à bien d'autres organisations.

A titre d'exemple, donc, voici la fable de la cathédrale et du bazar.

On enseigne depuis des années maintenant comment organiser la production d'un grand logiciel, j'en ai parlé plus haut. C'est la cathédrale. Une architecture bien définie, un ordre dans lequel se font les choses, une belle organisation.

Et puis voilà que naissent sous nos yeux de grands systèmes de logiciel qui sont le produit d'un processus complètement différent : le bazar.

L'exemple type en est LINUX, un système d'exploitation UNIX pour PC. LINUX a commencé avec un petit noyau, bien écrit par un universitaire Finlandais, mais comme un produit universitaire. Donc hors des belles techniques de génie logiciel industrielles. LINUX a connu un accueil favorable, et d'autres personnes aux quatre coins du monde (qui est sphérique) ont écrit des morceaux de code pour compléter le LINUX d'origine. Des gens ont pris sur eux d'assembler un LINUX et des compléments de ce genre bien acceptés, jugés efficaces par suffisamment de gens, et en ont fait des ensembles

cohérents distribués globalement. Typiquement "Red hat" est une telle "release", il y en a pas mal d'autres. des quantités de code ont été écrits pour compléter LINUX qui n'ont jamais été retenus dans un tel ensemble, et sont restés connus de l'auteur seul ou d'un petit cercle. Des morceaux qui avaient été retenus ont été soumis à trop de critiques et ont été retirés.

Progressivement, par un mécanisme quasi biologique de consensus, dans un monde où les informations et les opinions circulent vite, des grands ensembles ont émergé, qui ont une qualité industrielle. C'est le freeware. Typiquement, un PC exploité sous le système Micro-soft Windows tombe en panne une fois par jour. Mon LINUX tourne des mois d'affilée sans jamais avoir de panne. Et quelque soit le composant logiciel dont je puis avoir besoin (j'ai des usages simples, sauf pour l'édition de texte mathématique où LaTeX règne en maître), je -ou plutôt un collègue- le trouve sur le réseau INTERNET et je peux le télécharger dans la minute.

4.5. De nouvelles solidarités ?

Le ciment des sociétés est fait des solidarités que les individus acceptent. Le jour où nos journalistes sportifs diront "nous avons gagné" pour une victoire de Milan contre Denver, l'Europe sera une nation.

L'INTERNET et la numérisation des informations permet a de nouvelles communautés de se créer, de développer des solidarités. Des gens se connaissent sans s'être jamais rencontrés, mais se considèrent comme des oiseaux du même plumage, selon l'expression consacrée. Des groupes de pressions extrêmement puissants se forment, des débats vifs s'engagent.

INTERNET est notamment le refuge d'une communauté "soixantehuitarde" libertaire, con-testée par des "modernes". Ces gens ont vraiment le sentiment de partager des valeurs.

Une dernière anecdote. Un doctorant de mon laboratoire avait mis dans un bulletin lisible dans le monde entier un message qui se voulait humoristique, mais était d'un xénophobe (anti algérien) insupportable. Le tout par une transaction portant la signature du laboratoire d'origine. J'ai pris une sanction en apparence sévère, et l'ai fait savoir par une transaction dans le même support. Ce qui était prévisible s'est produit : pendant une semaine, une avalanche de réactions très vives, mais des deux types que vous imaginez, toutes aussi tranchées.

C'est bien des solidarités qui s'exprimaient. Solidarités des libertaires, solidarité des docto-rants face au pouvoir scientifique, solidarité des politically corrects, des antiracistes, des...

Un nouveau type de nation est-il en train de voir le jour sous nos yeux?

5. Conclusion

"Aujourd'hui nous voyons comme dans un miroir" (lire "dans le flou")

Le sujet n'est bien sûr qu'esquissé ici. J'espère avoir apporté quelques faits pour le nourrir, ou plutôt l'instruire. On peut pourtant avancer une conclusion.

Oui, nous ne voyons pas clairement l'avenir, mais il est absolument certain que les modifications qui vont se produire dans notre société sont considérables. Dès lors, quels repères, quelles certitudes, quels guides ?

Il faudra inventer. Seule une anthropologie très forte permettra de discerner ce qui est bon de ce qui ne l'est pas. Le mot "bon" est là à dessein : c'est bien de valeur, de morale, qu'il s'agit.

Les fondements des uns et des autres peuvent être différents, philosophiques, théologiques, que sais-je ? Ce qui importe est qu'ils soient solides et assurent une convergence pour l'homme.

Pour moi, mon choix personnel est que *"maintenant ces trois choses demeurent, la foi, l'espérance et l'amour, mais des trois, l'amour est le plus grand"*.