

C

**A Lake Placid,
aux Etats-Unis,
lors des Jeux
Olympiques de**

h

a

**1980, un skieur remporte une compé-
tition de ski de fond d'une durée
d'une heure avec seulement un cen-
tième de seconde d'avance sur le
second. Quelques années auparavant,
il aurait été impossible de départager
les deux concurrents. Le temps que
nous passons à de multiples activités se
contracte et s'affine toujours plus vite.**

**Le temps
contracté**

p i t r e

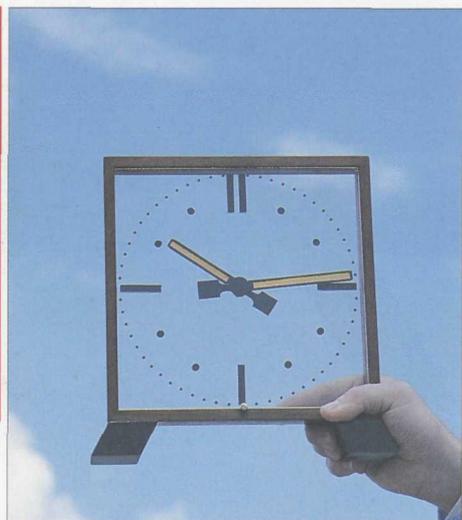
7



Il nous faut moins de temps pour nous déplacer, moins de temps pour fabriquer des objets, moins de temps pour calculer ou pour entrer en communication avec un autre humain. L'observation d'un

usager d'ordinateur est révélatrice du changement d'état d'esprit qui découle de cette contraction du temps : alors que sa machine s'apprête à réaliser en une minute ce qui lui aurait pris plusieurs heures sans elle, il peste parce que l'accès à la mémoire électronique prend quelques secondes de trop... Le même usager trouvera également anormal de ne pas entrer sur le champ en communication téléphonique avec la succursale de Tokyo.

D'une certaine façon, le progrès technique est un lent cheminement vers la maîtrise du temps. La photographie et le cinéma permettent de le remonter ou de le revivre, les machines et les véhicules de l'économiser. Le gramophone, ancêtre du magnétophone, fut souvent présenté à ses débuts comme une



▲ Le moteur de l'horloge a disparu mais le temps est encore là.

machine à faire revivre les morts en écoutant leurs paroles. Le téléphone, le visiophone, le télécopieur ont pour avantage principal de faire gagner du temps de transport.

La conquête du temps a commencé depuis très longtemps. Nos lointains ancêtres se transmettaient leur histoire, comme le font encore quelques sociétés dites primitives, par tradition orale. Les jeunes apprenaient par cœur les récits des anciens et y ajoutaient leur propre témoignage. Le dessin, puis l'écriture ont permis de franchir une étape, la fixation du message hors de l'individu. L'histoire, d'un seul coup, existait alors objectivement, puisque le lecteur avait sous les yeux la trace directement transmise, la "preuve" du passé, et non plus le résultat d'une longue suite de réinterprétations déformées.

Les avancées les plus récentes de l'astrophysique scrutent aussi le passé. Edwin Hubble, qui a donné son nom à un télescope spatial - appelé

aussi la machine à remonter le temps - a montré que les galaxies s'éloignent les unes des autres à une vitesse proportionnelle à leur éloignement. En découle la conception d'une histoire globale de la matière dont l'origine, le Big Bang, remonterait à quelque quinze milliards d'années. L'histoire de l'univers tout entier se concrétise. Et de l'observation des étoiles résulte un regard nouveau sur l'histoire, puisque la lumière qui nous parvient aujourd'hui de ces astres fut émise dans les premiers temps de l'univers. L'homme apprend à manipuler

Autrefois, l'astrolabe servait à repérer la position des astres. ▼



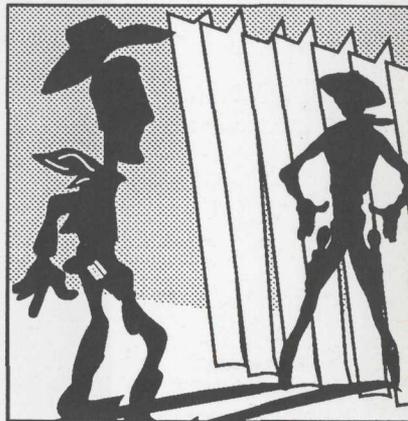
■ **Le simple fait d'observer des étoiles lointaines devient un moyen de regarder dans l'histoire : la lumière qui nous parvient aujourd'hui de ces astres fut émise dans les premiers temps de l'Univers.**

■ **Le laser femtoseconde permet de pénétrer au cœur des réactions chimiques du vivant. On découvre le monde au ralenti.**

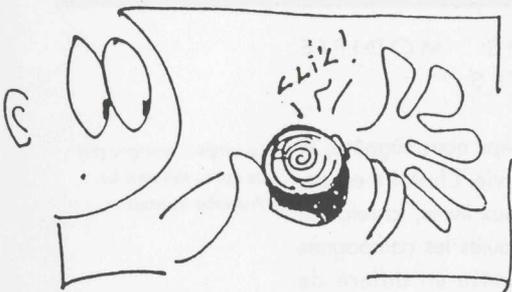
des échelles de temps qui échappent à toute comparaison : jusqu'au siècle dernier, le monde, conformément aux thèses de l'Eglise, était vieux d'à peine 6 000 ans. Au vingtième siècle, la géologie et l'astronomie introduisent le million puis le milliard d'années. Parallèlement, notre connaissance du temps s'oriente vers l'infiniment bref. En 1600, Galilée parvient à mesurer des intervalles de l'ordre du dixième de seconde en s'aidant du pouls humain ; au dix-neuvième siècle apparaît la milliseconde ; les années 1970 commencent avec la conquête de la picoseconde et les lasers "femtosecondes" travaillent aujourd'hui sur des intervalles de temps du même nom. Ces découvertes essentielles modifient toute notre perception de la vie. Seules des machines complexes mesurent de telles divisions du temps, qui échappent définitivement à l'œil et à l'entendement

humains. L'homme décortique et structure le temps toujours plus finement. Si le va-et-vient du balancier est une donnée palpable, que signifie pour l'homme la femtoseconde ?

C'est un nouvel univers qui reste à découvrir. Ainsi, il est désormais possible d'observer au ralenti les vibrations des molécules dans un cristal ou les processus biologiques dans les gènes. Le laser femtoseconde, utilisé comme un stroboscope, permet de pénétrer au cœur des réactions chimiques du vivant qui étaient, jusqu'à maintenant, inaccessibles. On observe alors le mouvement des molécules comme s'il s'agissait de boules de billard. En biologie, le fonctionnement de très grosses molécules, comme les protéines, ne peut être compris qu'en tenant compte des propriétés dynamiques dues aux incessantes vibrations d'atomes autour d'une position moyenne. Depuis le début des années 1970, on peut observer, en direct, la multiplication des cellules vivantes depuis l'œuf initial jusqu'à l'être complet. Aujourd'hui, il devient possible de voir véritablement se dérouler le processus de fabrication, non plus des cellules, mais de leurs composants élémentaires. Ainsi, on commence à observer la fabuleuse mécanique qui fait se reconnaître et s'emboîter les molécules composant le code génétique, avant que commence la construction de la double hélice de l'ADN et que, de proche en proche, se reconnaissent et s'assemblent les constituants du futur être vivant.



▲ En hommage à Morris.



AVEC LA FEMTO-SECONDE
IL FAUT ARRÊTER SA
MONTRE POUR LIRE L'HEURE

QUELQUES REPÈRES CHRONOLOGIQUES SUR LA CONTRACTION DU TEMPS DANS L'HISTOIRE

On a commencé à parler de dixième de seconde (10^{-1}) en 1600, de centième de seconde (10^{-2}) en 1800, de milliseconde (10^{-3}) en 1850, de microseconde (millionième de seconde, 10^{-6}) en 1950, de nanoseconde (milliardième de seconde, 10^{-9}) en 1965, de picoseconde (millième de milliardième de seconde, 10^{-12}) en 1970, de femtoseconde (millionième de milliardième de seconde, 10^{-15}) en 1990, d'attoseconde (milliardième de milliardième de seconde, 10^{-18}) en 2020.

Ce cadran solaire, à Ségovie, rythmait le temps du seizième siècle.



LA PERCEPTION DU TEMPS MODIFIE L'ORGANISATION DES SOCIÉTÉS

Cette décomposition sans cesse plus fine du temps nous suggère, et nous impose parfois, de modifier nos modes de vie. L'histoire est accélérée par l'invention de l'imprimerie : grâce aux livres, la réforme protestante s'étend en moins de dix ans dans toutes les campagnes d'Europe ; la révolution de 1789 est transmise en différé de quelques jours par la presse (environ 500 journaux périodiques sont créés entre 1788 et 1790 en France) ; le réseau de télégraphes Chappe sillonne la France dès 1791 et sauve plusieurs fois la République en transmettant en quelques heures les nouvelles de Lille à Marseille. Plus récemment, le taylorisme introduit les chaînes de montage où les gestes sont mesurés au dixième de seconde. Les ho-

*Le temps n'épargne pas ce qui se fait sans lui.
Proverbe français.*

L'ÉTERNEL RETOUR

"La question du temps a été depuis toujours au centre des préoccupations humaines. Des spéculations ont mis en cause l'idée de nouveauté, affirmé l'inexorable enchaînement des causes et des effets. Des savoirs mystiques ont nié la réalité de ce monde changeant et incertain et ont défini l'idéal d'une existence qui permette d'échapper à la douleur de la vie. Nous savons d'autre part l'importance dans l'Antiquité de l'idée de temps circulaire, revenant périodiquement à ses origines. Mais l'éternel retour lui-même est marqué par la flèche du temps comme le rythme des saisons ou celui des générations humaines". (Ilya Prigogine et Isabelle Stengers, *Entre le temps et l'éternité*, Fayard, Paris, 1988).

raires et les cadences de travail font l'objet de vives luttes entre patrons et ouvriers qui débouchent peu à peu sur l'abandon du travail aux pièces. Le développement des chemins de fer, qui harmonise les heures locales, inaugure une nouvelle manière de dire le temps, précise à la minute près et basée sur le cycle de vingt-quatre heures : il est dix-huit heures quarante-cinq et non plus sept heures moins le quart. Le carcan du temps enserre même aujourd'hui les activités agricoles qui, traditionnellement, se plaçaient sur une autre échelle, celle du "rythme de la nature". Désormais, les horaires d'ouverture du guichet bancaire ou l'heure des journaux télévisés cadencent à la minute près l'activité de l'exploitant agricole, cependant que le clonage végétal permet de dupliquer en quelques mois, à des millions d'exemplaires, les nouvelles espèces dont la

■ **L'effondrement du célèbre "jeudi noir", en 1929 à New York, avait mis plusieurs jours à se propager à travers le monde. En septembre 1987, le krach a affecté la planète en quelques instants.**

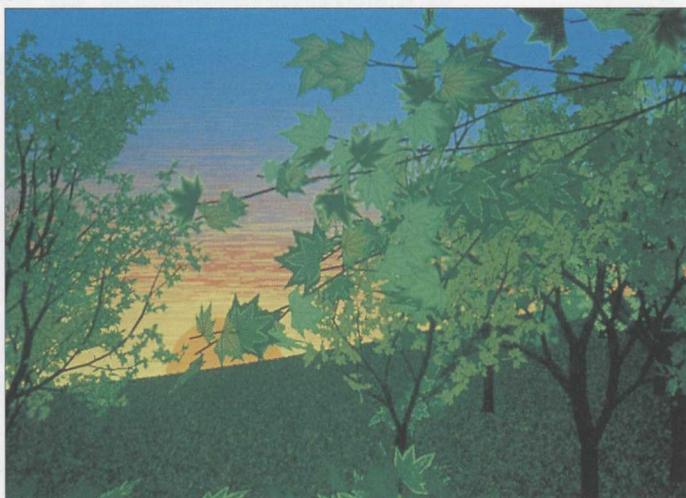
multiplication aurait pris plusieurs dizaines de cycles annuels il y a seulement trente ans. L'inscription des personnes et des événements du passé, qui s'était déjà affirmée en passant de la peinture à la photographie, devient plus exacte encore avec le cinématographe et surtout la vidéo légère, outil de base du reporter contemporain. Ainsi la chaîne de télévision CNN fait systématiquement appel à des reporters vidéo amateurs... La peinture était marquée de la subjectivité de l'artiste. Le reportage prétend, quant à lui, avoir toutes les apparences de la réalité. Sous les apparences de l'objectivité, son hyperréalisme laisse la porte ouverte à la désinformation. Si l'image monte en épingle des faits dûment sélectionnés, sa diffusion, sans cesse plus large et plus rapide fait s'emballer l'histoire. Ce phénomène commence avec l'arrivée du télégraphe électrique, du téléphone, des liaisons par câbles transatlantiques puis par voie hertzienne et, enfin, explose avec les émissions de radio et de télévision retransmises en direct sur la planète entière. L'accroissement du volume des informations, l'augmentation des vitesses de transmission et celle du nombre de personnes touchées rendent la société humaine sans cesse capable de réactions plus rapides : krachs boursiers, guerres, révolutions et coups d'états ont des durées qui sont passées de la dizaine d'années à l'heure en une vingtaine de siècles et de l'heure à la minute en moins de cinquante ans. L'effondrement du célèbre "jeudi noir", en 1929 à New York, avait mis plusieurs jours à se propager à travers le monde. En septembre 1987, le krach a affecté l'ensemble des places boursières de la planète en quelques instants. De même, la révolution russe de 1917 s'est déroulée en plusieurs semaines alors que la révolution roumaine de 1989 s'est jouée sans aucun délai, en direct, à la télévision.

Cette contraction du temps, évidente pour l'histoire économique, militaire et politique fonctionne tout autant dans le domaine des sciences et des techniques. En 1990, il faut trois mois pour concevoir et réaliser entièrement un nouveau prototype de carrosserie automobile, là où trois ans suffisaient à peine en 1950. Quelques minutes suffisent à obtenir l'ensemble des articles scientifiques, des brevets, des décisions de justice concernant, à l'échelon planétaire, un nouveau produit chimique. Il y a trente ans, cette recherche n'aurait tout simplement pas été engagée car elle



*Temps gagné, tout gagné.
Proverbe allemand.*

*La maîtrise du temps
permet la création
d'univers artificiels ▼*





▲ Les projections holographiques en relief accroissent encore le réalisme et la force des images.

aurait mobilisé une lourde équipe de documentalistes pendant plusieurs années. Une découverte scientifique, de nos jours, est diffusée en quelques heures, par les réseaux de messageries électroniques, et ceci dans le monde entier.

Les effets de la contraction du temps pénètrent le champ politique (le charnier de Timisoara) tout comme le champ scientifique (la fusion froide, la mémoire de l'eau) : les faits annoncés et retransmis si rapidement ne reflètent pas la réalité mais l'histoire se transforme cependant, parfois temporairement et parfois sans possibilité de retour, comme si les informations étaient exactes. La guerre des rumeurs a toujours existé. Elle prend, à cause de la contraction du temps, une telle importance qu'elle constitue la première forme de combat du vingt-et-unième siècle. L'art militaire n'est plus à cette époque d'anéantir, mais de persuader (l'ennemi qu'il est vaincu).

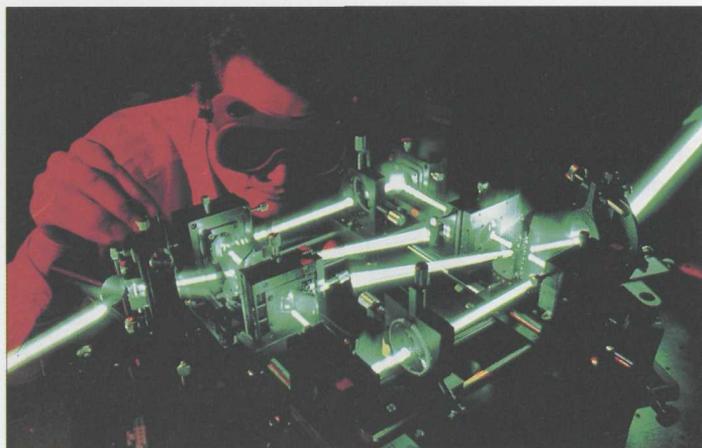
On peut se demander si ces effets pervers de la contraction du temps dans la collecte et la

transmission des informations ne constituent pas l'amorce d'un phénomène pathologique généralisé qui ramènerait l'individu face à l'histoire dans la position de ses lointains ancêtres : ne pouvant plus se fier à aucune des "histoires" qui lui sont racontées, même sous l'apparence objective du reportage vidéo, l'individu considère tous les récits comme des légendes. Seuls des privilégiés ont le temps et les moyens de s'intéresser également à l'origine et au traitement de l'information : cette dernière acquiert une "épaisseur" qu'elle ne possédait pas. Nous passons d'un monde sous-informé à un monde sur-informé où la passivité du spectateur est encouragée. Saturé d'informations, de suggestions, d'interprétations, l'individu est déconnecté de la réalité. Il se réfugie dans le jeu, le simulacre. En même temps, il protège la bulle confortable de son environnement immédiat qui est "vrai" parce que perçu sans inter-

■ **Ne pouvant plus se fier à aucune des "histoires" qui lui sont racontées, même sous l'apparence objective du reportage vidéo, l'individu considère tous les récits qui lui sont faits comme des légendes.**

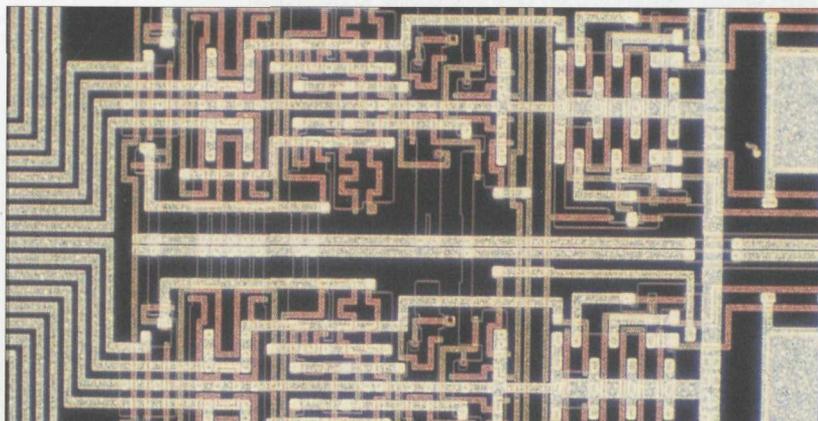
■ **Alors l'individu perd par la même occasion, sa capacité de décision et d'intervention démocratique sur la société. Icare s'est brûlé les ailes.**

■ **Les effets de la contraction du temps pénètrent le champ du politique tout comme le champ du scientifique : la réalité annoncée et retransmise si rapidement n'était pas la réalité, mais l'histoire s'est transformée.**



Dans l'ordinateur optique, l'information circule à 300 000 kilomètres par seconde.

médiaire. Mais l'individu perd aussi, par la même occasion, la capacité de décision et d'intervention démocratique sur la société que la technologie lui avait pourtant offerte. Icare s'est brûlé les ailes.



▲ L'horloge d'un circuit intégré bat à plusieurs dizaines de millions de coups par seconde.

L'INFORMATIQUE STRUCTURE LA MICROSECONDE

Ce voyage de l'homme dans l'infiniment petit a engendré des technologies, des industries toujours plus complexes ; informatique, électronique et télécommunications ont des caractéristiques communes : elles mettent toujours plus rapidement à la disposition du demandeur des quantités d'informations toujours plus grandes. Depuis longtemps ces technologies de l'information concernent tant le contenu que sa distribution. Dès l'Antiquité, le calcul est présent partout : en Mésopotamie, en Egypte, en Grèce, en Chine, chez les Indiens d'Amérique. La réalisation du premier automate de calcul date du dix-huitième siècle. Aujourd'hui, le microprocesseur entre dans les objets les plus quotidiens, comme la montre ou la carte à puces. Le nombre de circuits intégrés contenus sur une même puce (une surface de quelques millimètres de côté) se multiplie. Il passe de quelques unités au début des années 1960 à un millier en 1970. En 1990, les mémoires électroniques comportent plus de quatre millions de circuits. Et la course à l'intégration est loin d'être terminée, confirmant ainsi la loi de Moore, établie en 1964, qui prévoyait un doublement de l'intégration au moins tous les deux ans. Dans le même temps, alors que les capacités de traitement augmentent, les prix baissent. En 1990, les systèmes de réservation aérienne ont la possibilité de traiter jusqu'à 1750 opérations en parallèle. Les super-ordinateurs sont capables de traiter plusieurs millions d'instructions par seconde. L'accroissement de la capacité de traitement des ordinateurs n'est pas sans répercussion sur la vie quotidienne de chacun. Les ordinateurs domestiques, présents dans vingt pour cent des foyers américains, possèdent les capacités des super-ordinateurs du milieu des années 1960. Les prix continuent de baisser, la miniaturisation s'accroît et les capacités de traitement ne cessent d'augmenter. La poursuite de la baisse des coûts conduit, en 2010, à la commercialisation d'ordinateurs personnels d'une capacité analogue à celle des super-ordinateurs de 1990. Cette progression de la puissance brute, mesurée en vitesse de traitement, s'accélère encore. Et l'ordinateur

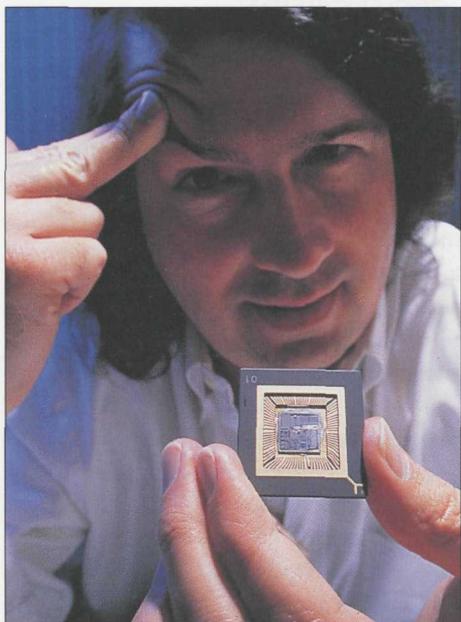
optique, dans lequel la lumière remplace l'électricité, augmente encore la vitesse d'un facteur mille dès 2030. En plus, il dispose, comme nos deux hémisphères cérébraux droit et gauche, de capacités de traitement complémentaires. D'un côté le calcul et la déduction analytique, de l'autre la vision globale et l'induction. La communication entre les deux se fait par des transformations mathématiques sur les images et les sons dérivées de la transformation de Fourier.

LA SOCIÉTÉ DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Depuis Pascal, les machines semblaient vouées au calcul numérique, militaire ou civil. Elles le font, en 1990, infiniment plus vite que des humains. Ces résultats ont été rendus possibles par les travaux théoriques de Boole, Babbage et Turing qui ont montré l'identité complète entre une modélisation du calcul numérique et sa concrétisation à l'aide d'assemblages de composants électroniques simples. Dès le début de

l'informatique, de nombreuses tentatives sont menées pour tenter d'automatiser d'autres fonctions humaines. Par exemple raisonner, parler, lire des textes manuscrits, traduire. Pour ce faire, la machine doit réaliser des opérations non plus sur des nombres (identifiés à des courants dans des circuits électriques), mais sur des symboles (les lettres, puis les mots). Les premières expériences donnent naissance à une nouvelle discipline, l'intelligence artificielle, porteuse de très grands espoirs. Les prototypes présentent des capacités, apparemment importantes, d'imitation des comportements cognitifs humains. Ces espoirs sont vite déçus. La machine devrait être capable de manipuler non seulement les symboles, mais aussi ce qu'ils véhiculent : le sens des mots, leur contexte d'utilisation, etc., toutes choses intuitives qu'on ne sait pas formaliser. L'homme bute sur la description de

ses propres raisonnements¹. Cependant, avec l'intelligence artificielle se développent de nouvelles techniques de programmation des ordinateurs, qui donnent des résultats acceptables dans des contextes très restreints et assez bien formalisés : les maladies de la tomate, les déplacements à l'intérieur d'une usine, les descriptions de couches géologiques, l'analyse du bilan comptable d'une entreprise. La machine se comporte alors comme un expert à qui l'on demanderait son diagnostic. Cependant, elle est, à la différence de l'homme, toujours incapable d'inventivité car elle ne peut s'échapper des règles et des informations qui lui ont été inculquées. Elle ne sait pas apprendre même si elle commence à raisonner sur des situations et des faits non encore totalement décrits. Or, bien des problèmes ne se résolvent qu'en apprenant avant, mais aussi pendant qu'ils sont étudiés. C'est le cas, par exemple, de la traduction automatique. Chacun sait qu'une traduction



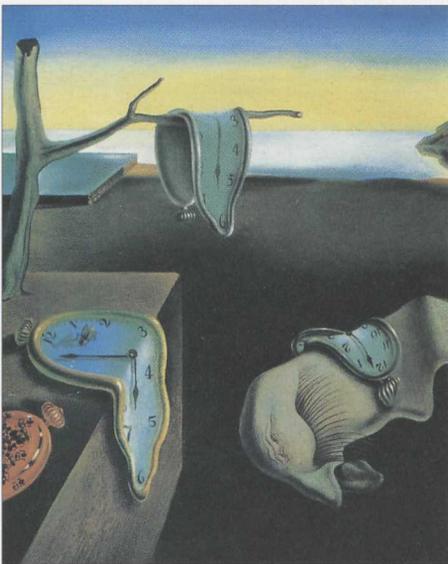
▲ Ô génial Lucifer !
Il n'y a que toi pour
avoir de pareilles idées...

¹ Hubert Dreyfus,
*L'intelligence artificielle,
mythes et limites,*
Paris, Flammarion, 1984.

■ **L'ordinateur optique augmente encore la vitesse d'un facteur mille dès 2030. En plus, il dispose, comme nos deux hémisphères cérébraux droit et gauche, de capacités de traitement complémentaires.**

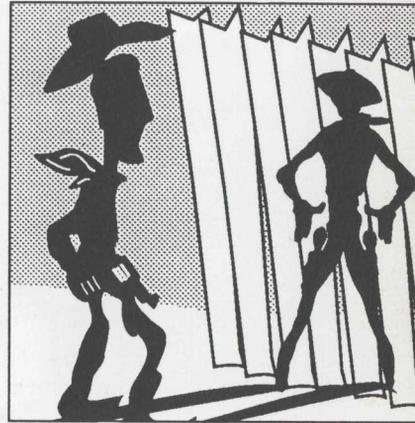
■ **A la différence de l'homme, la machine est toujours incapable d'inventivité car elle ne peut s'échapper des règles et des informations qui lui ont été inculquées.**

Il est difficile d'empêcher le temps de s'écouler. ▼



mot à mot, avec l'aide d'un dictionnaire, ne donne pas de bons résultats. Le dictionnaire n'est jamais complet car la richesse et la puissance de la langue sont inhérentes, entre autres, au fait que le sens de chaque mot se modifie en permanence. Une traduction ne se situe pas au niveau du mot, mais à celui d'un ensemble de mots placés dans un contexte scientifique, commercial, historique ou poétique indescriptible à l'avance et que la machine devrait donc pouvoir maîtriser avant de commencer à traduire, puis en traduisant. La prise de conscience de la nécessité d'inclure l'apprentissage chez les ordinateurs est récente. On pensait qu'il suffisait de donner des instructions à exécuter. On sait maintenant que cette démarche "autoritaire" de l'homme vis-à-vis de la machine est insuffisante, et contredit les fondements de la logique. Depuis vingt ans à peine et surtout depuis le début des années 1980, l'informatique flirte avec la psychologie, la sociologie, la neurologie pour former les sciences cognitives. Comme pour l'intelligence artificielle à ses débuts, des résultats prometteurs sont obtenus. Ainsi, la machine à lire l'écriture manuscrite voit industriellement le jour avant l'an 2000. Mais les chercheurs, échaudés par les échecs de l'intelligence artificielle, font preuve d'une grande prudence en matière de prospective. Dans les années 1990, ils considèrent que la réalisation, par une machine, de tout ce que sait faire un enfant âgé d'un an serait un immense

progrès. Les compétences d'un traducteur restent bien supérieures à celles d'une machine. Le rythme d'accroissement des connaissances sur les mécanismes cognitifs est néanmoins soutenu. Mariés à l'apparition de nouvelles architectures d'ordinateurs capables, comme le cerveau humain, de manipuler en parallèle d'énormes quantités d'informations visuelles, auditives, tactiles, ces nouveaux savoirs permettent l'apparition de machines totalement nouvelles. D'abord spécialisées, comme le robot qui balaye le quai des gares en présence des voyageurs, elles acquièrent progressivement des capacités plus larges et passent d'environnements spécifiques (le robot qui surveille et répare les tubulures dans la centrale nucléaire) à des environnements communs (le robot qui entretient la maison ou le jardin).



TOUTS LES HOMMES SONT VOISINS

En 1879, Jules Verne, dans *Les cinq cents millions de la Begum*, imagine les téléconférences, trois ans après l'invention du téléphone par Graham Bell. "Grâce au téléphone, nous pouvons tenir conseil à Franceville en restant chez soi... Le docteur toucha un timbre avertisseur qui communiqua instantanément son appel au logis de tous les

*L'ignorant parle,
le savant déduit.
Proverbe persan.*

membres du conseil. En moins de trois minutes, le mot "présent", apporté successivement par chaque fil de communication, annonça que le conseil était en séance." Le système de téléconférences ne se concrétisera qu'un siècle plus tard... A l'origine, le téléphone sert surtout à la retransmission des spectacles de théâtre ou d'opéra. Ses débuts ne sont pas sans évoquer ceux du minitel, un siècle plus tard : il a aux yeux des notables, qui freinent alors son développement, la réputation d'être un outil de libertinage, de débauche favorisant les conversations amoureuses...

Depuis, la conception que la société se fait du téléphone est revenue aux idées de Jules Verne. La planète entière est un immense réseau, relié par fil ou par satellite. Les limites ne sont plus celles des distances à parcourir

mais des richesses et, plus encore, des volontés politiques locales. Dans les pays industrialisés et démocratiques, où le téléphone est considéré sans arrière-pensée, la grande affaire des années 1990 est l'explosion du téléphone mobile. Le téléphone quitte le foyer, devient nomade. Il est possible de téléphoner dans la rue, en dehors de toute cabine téléphonique, depuis le TGV ou à bord d'un avion. Comme la montre au vingtième siècle, le téléphone portable fait partie du prêt-à-porter du vingt-et-unième siècle. Toutefois, en 1990, l'utilisation reste encore essentiellement professionnelle, car les équipements sont chers (de l'ordre de 500 dollars) et les services aussi (un abonnement de 125 dollars par mois). A moyen terme, l'émergence des technologies numériques entraîne une baisse des coûts et favorise une forte extension. En 2005, le taux de pénétration atteint 10% du marché aux Etats-Unis.

■ **Il est possible de téléphoner dans la rue, en dehors de toute cabine téléphonique, ou à bord d'un avion. Comme la montre au vingtième siècle, le téléphone portable fait partie du vêtement du vingt-et-unième siècle.**

■ **Tous les grands pays industrialisés sont en train de se doter de réseaux numériques. L'alignement sur un standard unique s'est engagé sans l'ombre d'une résistance, signe que ce développement est jugé inéluctable.**

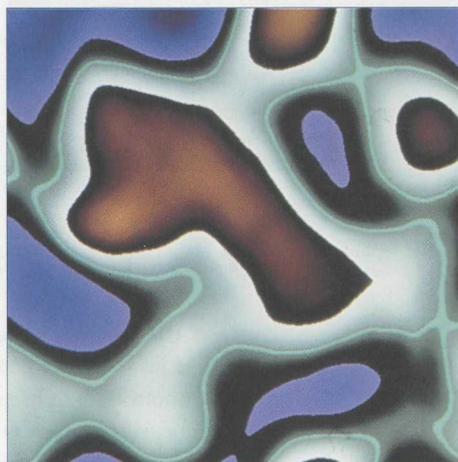


▲ La télécommunication portable progresse et connaît son apogée avec les émetteurs-récepteurs implantés derrière l'oreille.

L'AVENIR EST NUMÉRIQUE

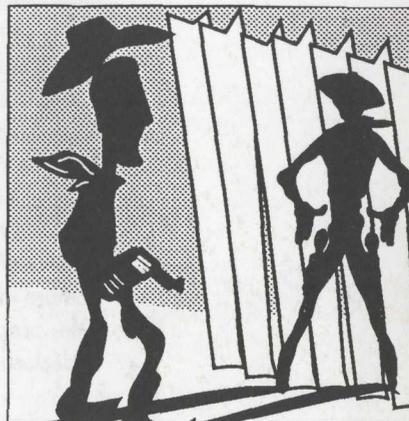
Parallèlement à son développement, le téléphone a engendré de nouveaux services comme le télex, la télécopie, le vidéotex ou la communication entre ordinateurs... L'écrit et l'image ont ainsi rejoint le son dans l'univers des télécommunications. Notre aptitude nouvelle à découper le temps en tranches infimes aboutit au numérique, qui apparaît partout, dans la Hi-Fi (les disques compacts, les magnétophones numériques), dans le téléphone (Numéris), dans la radio (RDS, Radio Data System). En technologie numérique, le signal est découpé en tranches, et chacune est mesurée et codée sous la forme d'un nombre. L'information ainsi numérisée se prête particulièrement bien à toutes sortes de manipulations par les systèmes informatiques. Pour une entreprise, cela simplifie tous les problèmes

Simulation numérique en météorologie. ▼



de connexion d'appareils divers, ordinateurs, télécopieuses, téléphones, télex sur le standard téléphonique commun. Le réseau numérique facilite l'utilisation commune des télécommunications et de la vidéo, déjà amorcé avec le minitel. Le gain est d'abord celui de la rapidité de travail. Au lieu de cinq secondes pour afficher un écran de minitel, il suffit d'un dixième de seconde avec un minitel numérique.

Nous n'en sommes qu'à la "bande étroite", permettant la transmission de données, la télé-écriture et la transmission d'images fixes ou d'animation lente. Depuis 1988, avec le Réseau numérique à intégration de services (RNIS), il est possible en France de transmettre simultanément sur une même ligne une conversation téléphonique de qualité Haute Fidélité, un dialogue de communication à grande vitesse avec un ordinateur et des images de qualité cinématographique. Tous les grands pays industrialisés se dotent de tels réseaux numériques, et, contrairement aux dures batailles normatives sur la télévision à haute définition, l'alignement sur un standard unique s'est engagé sans l'ombre d'une résistance, signe que ce développement est jugé inéluctable et que les services attendus le sont au niveau planétaire.



UNE SOCIÉTÉ ORGANISÉE EN RÉSEAUX NON CENTRALISÉS

Pour augmenter la capacité et la rapidité des transmissions, la fibre optique, transportant la lumière et non plus l'électricité, est déjà indispensable. Le réseau numérique de la seconde génération, appelé aussi à "large bande", l'utilise abondamment, le débit passant à une centaine de mégabits par seconde. Cette technologie s'est étendue à l'ensemble des pays industrialisés aux environs de 2020. Son aboutissement, c'est la transmission d'images animées et sonorisées, unissant en un seul appareil le minitel et le téléviseur. Après l'association de l'informatique et des télécommunications dans les années 1980, vient l'alliance entre les télécommunications et l'audiovisuel qui étaient jusque là séparés pour des raisons tant historiques que réglementaires. Les conséquences de cette seconde mutation sur la société sont importantes. Alors que la télévision transmet des images expédiées depuis un système central, le téléphone, puis le visiophone et le minitel-téléviseur permettent une multitude de connexions. Outil de domination doté d'un petit nombre d'émetteurs, le système de télévision traditionnel est l'image même de la centralisation. Avec le téléphone, tout le monde peut appeler tout le monde. Avec le minitel-téléviseur, tout le monde peut montrer tout à tout le monde... et il y en a qui ne vont pas s'en priver. Les émetteurs sont innombrables, le réseau n'a plus la forme d'une étoile, mais celle d'un maillage. L'expérience montre que cette évolution est source de développement économique : n'importe quelle entreprise travaille avec de multiples clients et de nombreux fournisseurs, suivant des modalités complexes et avec des rapports fréquents. A l'inverse, la domination d'une structure centralisée rigide est très

*Les paroles retentissent
plus loin que le fusil.
Proverbe maori.*

compromise par un tel maillage, difficile à contrôler : si tous les usagers sont connectés, il faut, dans un système policier, qu'un habitant sur trois écoute les deux autres, ce qui est évidemment impossible. Pratiquement, au-delà d'une ligne pour dix habitants, le pouvoir central se voit inévitablement contourné.

Devant cette véritable explosion des télécommunications, les réseaux, à la fois concurrents et interconnectés, ne sont plus la propriété des États. Parallèlement, les prix s'alignent progressivement sur les coûts réels. En revanche, l'idée que le téléphone est indispensable, comme l'eau et l'électricité, conduit à la notion du téléphone de survie. Un service CMI, la communication minimum d'insertion, est offert à la population, sous la forme d'un abonnement au réseau local ou d'un nombre minimum d'appels locaux gratuits. C'est d'ailleurs une vieille idée, proposée en 1990 : inclure le droit à la communication dans la déclaration des droits de l'homme.

■ **Tout le monde étant connecté, il faudrait, dans un système policier, qu'un habitant sur trois écoute les deux autres, ce qui est évidemment impossible. Pratiquement, au-delà d'une ligne pour dix habitants, le pouvoir central est inévitablement contourné.**

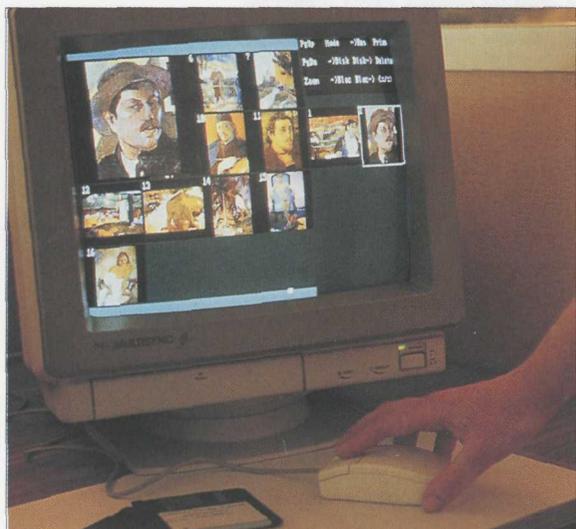
■ **La documentation de l'Airbus occupe, sous sa forme papier... deux fois plus d'espace que l'avion lui-même. Enregistrée sur disques optiques, elle tient dans une camionnette.**

TOUTE L'INFORMATION PARTOUT, ET VITE...

L'accroissement des capacités de traitement de l'information va de pair avec l'accélération des vitesses de transmission et des capacités de stockage de l'information. Les fibres optiques dans les années 1980, transmettent plusieurs milliards d'unités élémentaires d'informations par seconde. Après l'an 2000, elles en véhiculent jusqu'à cent milliards en trois secondes environ, soit l'intégralité de l'Encyclopedia Britannica, gravures et images comprises. Les disques compacts, pour leur part, stockent cinq cents millions d'informations élémentaires, soit six cents fois le volume stocké sur les disquettes communément utilisées avec les micro-ordinateurs de 1990. Un disque compact peut aussi stocker des données informatiques (il s'agit du CD Rom, disque compact à mémoire morte, sur lequel on n'écrit qu'une fois et du CDI ou disque compact interactif, qui révolutionne l'enseignement après 2010), au lieu des sons pour lesquels il était initialement utilisé. Il contient alors jusqu'à 200 000 pages de textes, soit l'équivalent de

■ **L'écran mural relié aux réseaux et à l'ordinateur domestique remplace la chaîne hi-fi, le téléviseur, le magnétoscope, le bureau, la bibliothèque, le téléphone...**

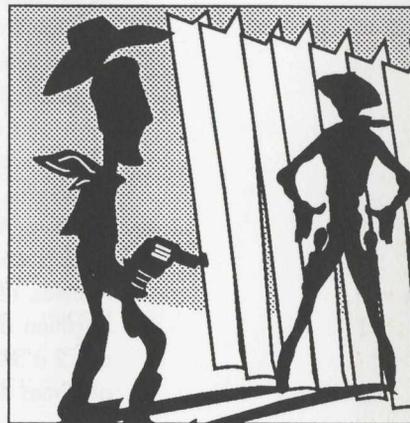
Avec une souris et un écran, on peut "naviguer" dans la musée. ▼



300 livres de la taille de celui que vous lisez en ce moment. Des bibliothèques entières peuvent donc passer sur disques optiques. Le premier avantage est celui du volume : la documentation de l'Airbus occupe, sous sa forme papier... deux fois plus d'espace que l'avion lui-même. Enregistrée sur disques optiques, elle tient dans une camionnette. Mais le gain fondamental concerne le temps d'accès à une information qui tombe à quelques secondes au lieu de quelques minutes, quelques minutes au lieu de quelques heures.

Qui a le temps a la vie.
Proverbe français du
XVIII^{ème} siècle.

Encore faudrait-il savoir ce que l'on veut savoir... et, d'une certaine manière, avoir prévu les processus de recherche. Empiler les informations sur un support, optique ou autre, ne sert à rien. Il faut aussi les structurer, prévoir et apprendre la "navigation dans les savoirs". Cette expression, promue par le constructeur d'ordinateurs Apple dès 1987, représente en effet un enjeu majeur du siècle. Savoir naviguer dans ces concentrés d'informations devient, dès les années 2020, un enseignement obligatoire à l'école primaire. Car, ce dont a besoin l'utilisateur, au-delà de l'information elle-même, c'est d'économiser du temps dans son voyage à travers l'exhaustivité, la fraîcheur et la mise en forme de l'information. Et celui qui ne sait pas le faire est immédiatement mis sur la touche, pour cause d'illettrisme. C'est l'écran, d'ordinateur ou de télévision, qui est le principal moyen d'accès à l'information. Le cœur du foyer n'est plus la cheminée depuis l'irruption de la télévision. A la chaleur de l'ancien temps est venue se substituer la



▲ Les cartes routières sont enregistrées sur des disques compacts. Un calculateur d'itinéraire aide alors le conducteur.

danse inquiétante et froide des lutins sur l'écran cathodique. L'écran mural est relié aux réseaux large bande et à l'ordinateur domestique multi-fonctions dont la puissance est sans commune mesure avec la taille. Il remplace la chaîne hi-fi, le téléviseur, le magnétoscope, le bureau, la bibliothèque, le téléphone... Il gère la maison et commande les tâches ménagères aux différents robots. Il met à la disposition du consommateur culturel le savoir de l'humanité et aussi ses passions. Que choisir ? *Elephant man* ou *Massacre à la tronçonneuse* ? *L'empire des sens* ou *La nuit des morts vivants* ? *Le grand bleu* ou *L'exorciste* ? *La guerre des étoiles* ou *Nuits et brouillards* ? *Love story* ou *Dracula* ? L'hyperchoix est là, omniprésent. L'homme du vingt-et-unième siècle est-il vraiment un forçat de la communication, un drogué des médias ? Toute l'économie l'y pousse. Mais on voit aussi se développer des réflexes de protection. Comment retrouver son intimité, découvrir son être profond ? On recherche des ambiances favorables. L'exploration se retourne vers l'intérieur, la communication est suspendue.

UNE ÉCONOMIE IMMATÉRIELLE GAGNE LA PLANÈTE

La crise mondiale a engendré une nouvelle économie fondée sur l'échange des services. Après la civilisation agricole, puis la société industrielle, place à la révolution du tertiaire, où l'information devient matière première et la communication enjeu stratégique. C'est l'un des secteurs vitaux de l'économie mondiale, en attendant qu'il devienne le premier dans les pays industrialisés. L'électronique mondiale englobait 2,5% de l'activité industrielle totale en 1970. Elle représente, en l'an 2000, plus de 8%. Cette même année, 60% des

emplois dans la Communauté Européenne s'exercent dans le domaine de la communication. Mais, surtout, ces nouvelles activités influencent l'ensemble des activités humaines : l'industrie, la culture et la formation. Dans la valeur ajoutée d'un produit industriel, le traitement de l'information représente en 1990 environ 50% du coût total contre 13% au début du siècle.

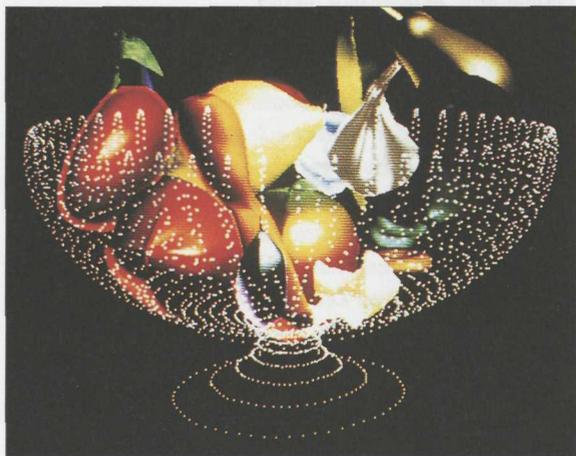
La partie physique d'une automobile (la tôle, le plastique) ne représente plus qu'une part modeste de son coût. Le gros des dépenses d'un fabricant concerne l'investissement sur la recherche et le développement, le design, le commercial, la publicité. En un mot, les dépenses portent plus sur la matière grise que sur le matériau. Les matières premières, qu'elles soient minérales, agricoles, brutes ou transformées, ne sont plus primordiales. Les matières nécessaires à la fabrication des circuits intégrés les plus récents ne représentent plus que 2 à 3% de leur prix de revient. La fabrication de cinquante kilogrammes de fibres optiques, qui transmettent à distance égale autant de messages téléphoniques qu'une tonne de cuivre, nécessite vingt fois moins d'énergie mais suppose la maîtrise d'un savoir-faire autrement plus complexe. La révolution de l'intelligence est en marche. La nouvelle économie tertiaire réduit la dépendance vis-à-vis des pays fournisseurs de matières premières et l'appareil de production devient de plus en plus flexible. Il est plus facile de déplacer des logiciens et des banques de données qu'une chaîne de montage.

Dispersés dans les bureaux d'études ou sur les chaînes robotisées, les réseaux interconnectent de plus en plus l'ensemble des activités de l'entreprise. Des commandes et de la prévision au stockage en passant par la conception assistée par ordinateur, la fabrication, la maintenance des équipements, l'usine devient un réseau d'informations. Dans le secteur de la distribution, les technologies de la communication jouent également un rôle majeur.

Prenons le cas d'un magasin. Voici une quincaillerie qui vend, sur une centaine de mètres carrés, du matériel de bricolage. Elle gère une dizaine de milliers de produits, répartis sur plusieurs centaines de fournisseurs. Le client entre. Il porte sur lui une carte d'identification magnétique, directement enregistrée par les détecteurs de l'entrée. Il prélève dans les rayons les produits dont il a besoin : une clé à molette, de la colle... Il se dirige vers la sortie et les détecteurs repèrent les produits. L'ordinateur vérifie l'approvisionnement du compte en banque et procède au débit. Les vendeurs n'interviennent plus que pour donner des conseils, et créer un contact humain personnalisé. Ce sont des passionnés de bricolage. La comptabilité est tenue automatiquement à jour, les statistiques de vente établies en temps réel, les fournisseurs appelés par l'ordinateur lorsque les

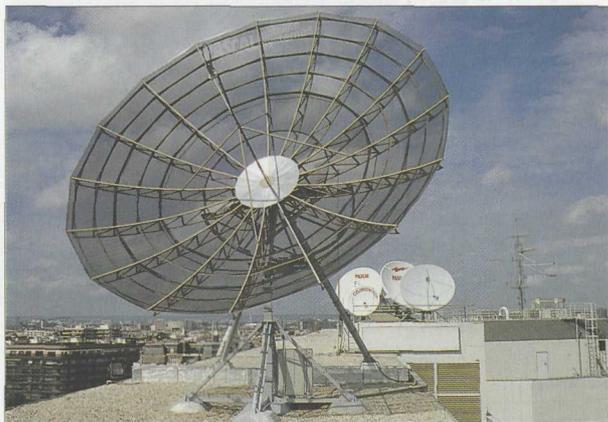


▲ Image, son et données sont transportés par des fibres optiques.

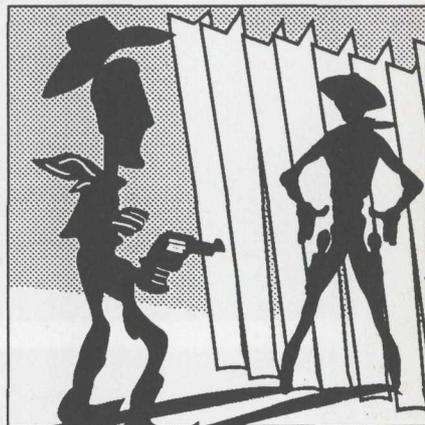


▲ Au supermarché, en 2027, acheter des fruits électroniques avec des cartes de paiement électroniques est devenu monnaie courante.

stocks baissent. Le rôle du commerçant est d'aménager le cadre, de détecter les nouveautés. Il est de moins en moins comptable, gestionnaire ou manutentionnaire et de plus en plus artiste.



▲ L'information tombe du ciel à jet continu.



L'automatisation massive est aussi de règle dans le système financier mondial. Le calcul et le paiement des revenus des titres, la tenue des listes d'investisseurs, la transmission en temps réel des ordres de vente et d'achat sont indispensables au fonctionnement des bourses, qui brassent des millions de transactions par jour. Dès 1990, le réseau interbancaire Swift assure 24 heures sur 24 la liaison télématique entre 1 200 banques, dont les 500 premières mondiales, et achemine ainsi 600 000 transactions par jour dans une quarantaine de pays. Au début du vingt-et-unième siècle, tous les établissements financiers et les banques sont connectés.

LES PAUVRES DEVIENNENT ENCORE PLUS PAUVRES

Sur le terrain de l'électronique, de l'informatique et des contenus informationnels s'engagent les plus violentes hostilités de la planète. En 1990, les Etats-Unis maintiennent encore leur suprématie sur le marché de l'informatique (IBM à elle seule représente 45% du marché), mais leur supériorité dans l'électronique a été balayée par les Japonais, suivis des nouveaux pays industrialisés d'Asie, la Corée du Sud, Taïwan, Hong Kong. Il n'y a plus de fabricants américains de postes de télévision aux Etats-Unis depuis 1987. Le rachat par Sony de Columbia et de CBS illustre la volonté des multinationales japonaises de contrôler le marché mondial des équipements électroniques et aussi celui des contenus informationnels. Les dessins animés japonais déferlent aujourd'hui sur le monde entier comme ceux de Walt Disney il y a trente ans. L'Europe, berceau de la photographie et du cinéma, a du mal à s'organiser entre Dallas et Goldorak. Attaquée sur le marché des contenants, elle s'est fortement engagée dans les projets de télévision haute définition qui laissent encore espérer une opportunité historique de rééquilibrage : malheur au perdant qui subira une domination généralisée à moyen terme. Quant à la bataille sur les contenus, la mondialisation de la société du spec-

■ *Les nouvelles technologies de l'information participent lourdement au début du siècle, à l'élargissement du fossé entre pays riches et pays pauvres. Le village planétaire a sa banlieue misérable.*

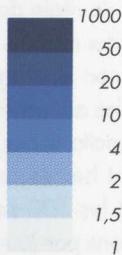
LE SOUS-ÉQUIPEMENT EN...

téléphones et visiophones

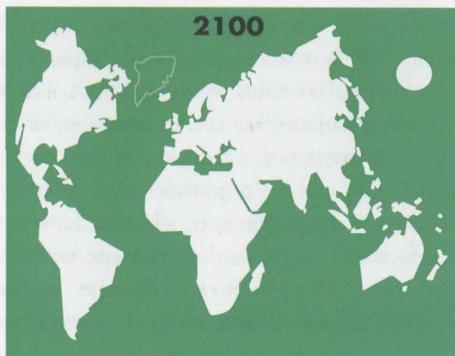
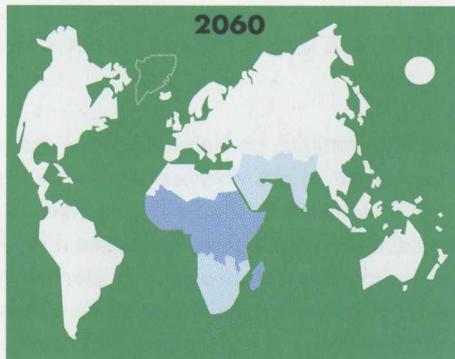
écrans (télévisions, ordinateurs, écrans muraux)



nombre d'habitants
pour un poste
ou un écran



A partir de 2040 téléphones, visiophones et écrans sont totalement intégrés et indissociables. Les cartes qui suivent présentent cette synthèse.



Le sous-équipement en moyens de communications modernes est un frein important au développement et à la démocratisation. Le monde aide l'Afrique à s'équiper massivement à partir de 2020 : le village planétaire prend forme.

*On conquerra le monde
entier par la parole,
mais non par un sabre tiré.
Proverbe géorgien.*

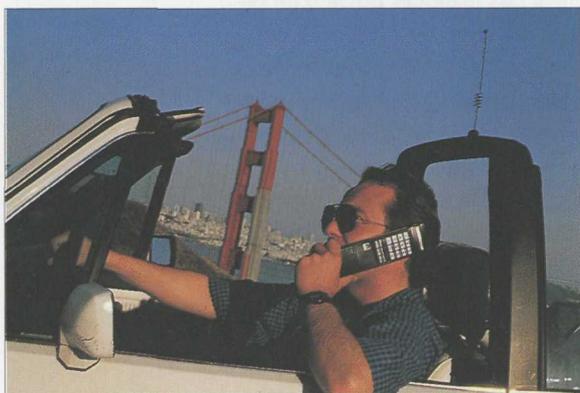
tacle donne encore à l'Europe de multiples occasions d'offrir, aux côtés du cinéma indien et du documentaire cubain, sa participation à l'œuvre de création planétaire, par de nouvelles expressions de ses grandes traditions mythologiques. La pensée n'est plus seulement celle du "vieux continent". Elle se décline en de multiples formes, adaptées à des publics nouveaux et diversifiés. Les Schtroumpfs voisinent avec le Ramayana et Tarkovski avec Kurosawa.

En matière d'information scientifique et technique, les Etats-Unis ont une position dominante depuis la fin de la seconde guerre mondiale : ils détiennent 90% du marché des banques de données scientifiques, techniques et industrielles en 1990. Leur domination subsiste jusqu'en 2020 lorsque l'ouverture massive des réseaux d'information est rendue obligatoire par l'importance des déséquilibres Nord-Sud.

Jusqu'à cette date, en effet, les nouvelles technologies de l'information participent lourdement à l'élargissement du fossé entre pays riches et pays pauvres. Le village planétaire a sa banlieue misérable. En 1990, la carte mondiale du téléphone correspond, à quelques exceptions près, à celle du développement économique.

Quelques pays asiatiques ont pris de l'avance, comme Hong Kong où, dès 1990, toute la population se promène avec un téléphone portable. Singapour possède, à cette même époque, le réseau le plus numérisé du monde. En revanche, la plupart des pays non industrialisés sont incapables, dans un premier temps, de réaliser les importations massives d'équipements nécessaires à la mise en place des réseaux. C'est

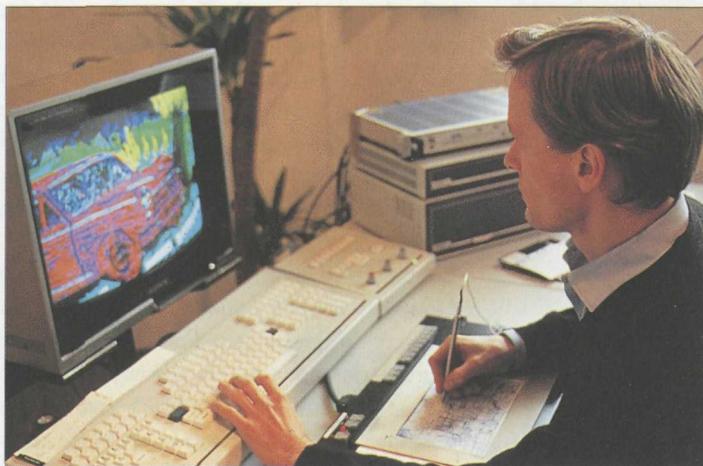
seulement entre 2020 et 2060 que les zones en voie de développement s'ouvrent dans leur ensemble au monde moderne. Il n'est plus possible alors maintenir ce secteur des télécommunications à l'état de chasse gardée des pays riches. La mise en place des réseaux communicant par satellites, accompagnés d'équipements au sol très légers et difficilement identifiables, court-circuite les stratégies traditionnelles de contrôle et rend inopérantes les politiques restrictives. L'utilisation massive des télécommunications à des fins éducatives conduit nécessairement à repenser les stratégies nationales. Il devient suicidaire de limiter la circulation de l'information alors qu'elle occupe une place centrale dans l'économie devenue, à tous les niveaux, neuro-mimétique. Restreindre ses télécommunications, au vingt-et-unième siècle, équivaut à s'amputer d'une partie de son système nerveux. Les technologies mobiles permettent aux pays en voie de développement de faire un saut de génération dans la mise en place des télécommunications interpersonnelles. Les infrastructures sont moins coûteuses. En 2020, les pays de l'Est européen ont rattrapé leur retard, suivis quelques an-



▲ En 1990, le téléphone portable est un privilège de riche.

■ **La carte de paiement électronique personnelle est devenue tellement importante dans la seconde moitié du siècle que son implantation dans le corps humain est sérieusement envisagée.**

nées plus tard par l'Amérique latine. En 2050, chaque ménage en Inde et en Chine peut disposer d'une ligne téléphonique. Quant à l'Afrique, en retard sur les autres, elle est équipée à partir de 2010, sur la base d'un programme d'aide volontaire et massive des pays industrialisés. Il n'est alors plus tolérable qu'un continent entier soit laissé à la traîne.



▲ A l'aide de sa palette électronique, le designer esquisse un objet à venir.

L'HOMME NOMADE SUR LE PAS DE LA PORTE...

Dès 2020, les télécommunications mobiles dépassent en importance les matériels fixes. Le taux d'équipement des ménages passe d'un ou deux abonnements à quatre ou cinq. A partir de 1996, les nouveaux téléphones sont de la taille d'une calculatrice. Ils ont un écran à cristaux liquides sur lequel le correspondant appelant peut inscrire son nom. Ils sont aussi munis d'une mémoire et fonctionnent comme répondeurs. De la sorte, chacun peut se protéger des appels importuns et prendre les messages stockés quand il le souhaite. Ils comportent également, si nécessaire, un terminal d'ordinateur avec une imprimante. Un numéro personnel permet d'être joint où que l'on soit. D'abord dans les pays industrialisés et enfin n'importe où sur le globe, on peut toujours se connecter. Les cartes à puces multi-services remplacent la monnaie-papier et, par le déclenchement des virements bancaires dans les sites à péage, permettent de reconstituer la journée de quiconque. Quel bonheur pour un état policier ! La carte de paiement électronique personnelle est devenue tellement importante dans la seconde moitié du siècle que son implantation dans le corps humain est sérieusement envisagée. Ainsi les risques de perte sont fortement limités d'autant qu'elle vient en complément indispensable de la puce Télécom, couramment greffée derrière l'oreille depuis 2050 et des lunettes-écran de visualisation que chacun a dans la poche.

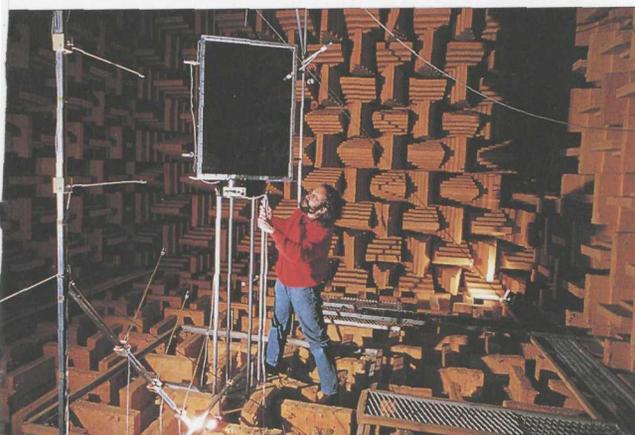
Ce mode de vie "branché", désormais accessible au plus grand nombre des habitants des pays riches, n'est pas sans poser de redoutables problèmes de protection de la vie privée. Très vite, bon nombre d'entre eux refusent d'entrer dans le système et imposent des législations limitant les atteintes à l'intimité. Déjà en 1990, la moitié des abonnés du téléphone en Californie était sur liste rouge. Et la plupart des répondeurs téléphoniques ont pour fonction première de sélectionner les appels. Quant au téléphone numérique, la publicité explique que l'un de ses avantages est de visualiser sur un petit

■ **Ce mode de vie "branché", désormais accessible au plus grand nombre des habitants des pays riches, n'est pas sans poser de redoutables problèmes de protection de la vie privée.**

écran le numéro de l'appelant, ce qui complique la tâche des prospecteurs commerciaux et des amateurs de canulars téléphoniques (le revers de la médaille concerne les réseaux d'appel anonyme tel SOS-amitié ou SOS-sida). On peut imaginer mille et une astuces pour garantir quelques moments de vie intime à ces Terriens continuellement connectés ; chacun fonctionne alors comme un neurone parmi les dix milliards d'un cerveau planétaire. On invente des systèmes experts miniaturisés, capables de filtrer la communication, sortes de secrétaires électroniques. Responsable des pollutions du mental humain, la technologie est sollicitée pour y remédier, dans un phénomène désormais classique de fuite en avant.



V ERS UNE SOCIÉTÉ DE CRÉATION



▲ Les murs d'une chambre anéchoïque absorbent entièrement les sons, ce qui permet d'effectuer des mesures très précises de vibrations.

Art et informatique peuvent-ils faire bon ménage ? Les images traitées par ordinateur sont devenues familières sur le petit écran. C'est particulièrement vrai dans la publicité et les vidéo-clips. Mais c'est aussi le cas dans les longs métrages avec, notamment, la séquence de 37 secondes du *Retour du Jedi* illustrant en hologramme une planète flottant dans l'espace. La palette électronique offre aux arts graphiques un champ

d'expériences nouveau et immense. Réservés tout d'abord à cause de leur coût aux professionnels, ces nouveaux outils de création sont accessibles au grand public dès 2000. L'ordinateur vient s'installer aux côtés de la plume et du pinceau. Cela ne change rien au fait que la création artistique réside ailleurs que dans l'outil.

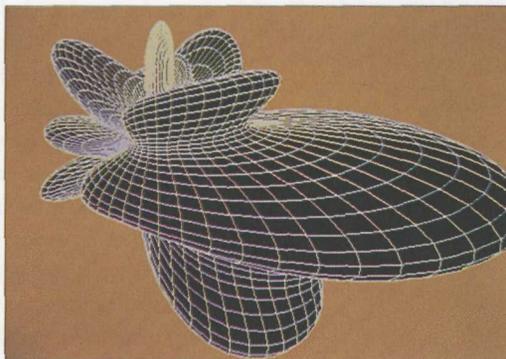
Cependant ce n'est pas un hasard si, pour prendre l'exemple de la littérature, des artistes reconnus comme Raymond Queneau ou Italo Calvino¹ se sont exprimés alors même que le traitement informatique des textes prenait son essor. Les ouvrages de ces auteurs sont très fortement inspirés par la vision structurée de la langue qui dominait la linguistique depuis le début des années 1950. L'outil façonne l'artiste et réciproquement.

L'ordinateur peut être utilisé pour le traitement des mots et des images, mais aussi des sons. Dès 1965, la musique est peut-être l'art le plus spectaculairement investi par l'informatique et l'électronique. En 1990, plus de deux tiers des musiques de films, d'accompagnement de spots ou de séquences télévisées dépendent des ordinateurs et des machines électroniques tant pour la composition que pour l'exécution ou la diffusion. Les instruments de musique électroniques ont encore souvent la forme des instruments anciens (piano, guitare,

¹ Ces auteurs font partie, avec Georges Pérec et plusieurs autres écrivains, de l'OULIPO, Ouvroir de littérature potentielle, qui respecte des contraintes de forme d'écrit très strictes.

batterie). Sous cette apparence, ils offrent des possibilités tout à fait nouvelles : pluralité des sonorités qui permettent à un piano électrique de devenir clavecin, piano bas-tringue ou instrument de concert en restituant des ambiances de boîte de nuit, d'église ou de salle de spectacle ; pluralité des traitements de la musique elle-même avec la transposition, l'accompagnement, la mise en rythme, la mémorisation automatique de séquences. Les qualités acoustiques de ces instruments dépassent, à prix égal, celles des instruments classiques et ils offrent des fonctions qui en facilitent considérablement l'apprentissage et l'utilisation. De nouveaux instruments apparaissent aussi à un rythme étonnant. Ils commencent à pouvoir s'interconnecter pour donner au praticien la possibilité de jouer de plusieurs instruments et réaliser ainsi, d'une nouvelle manière, le rêve de l'homme orchestre.

Beethoven et Chopin n'ont pu exprimer leur génie que parce que la technologie de l'époque passait du clavecin au piano forte. Les avancées actuelles amènent également une nouvelle génération de compositeurs. Après plus d'un siècle d'immobilisme, l'arrivée de la guitare électrique, combinée à l'extension des médias, a permis l'expression de Jimmy Hendrix, des Beatles et de plusieurs centaines de compositeurs qui ne s'inscrivent pas seulement dans la tradition occidentale mais dans des lignées issues des musiques africaines, indiennes ou autres. Un gigantesque brassage est en cours, qui donne le meilleur et le pire, comme l'opéra italien qui produisit des milliers d'œuvres toutes plus mauvaises les unes que les autres entre 1750 et 1880, mais aussi celles de Verdi. Cependant, la seule existence de ce brassage permet de prédire un renouvellement profond. Les deux générations d'êtres humains apparues depuis 1950 peuvent à loisir réécouter n'importe quelle œuvre dans n'importe quel lieu et sont plusieurs heures par jour imbibées de musiques. Elles constituent ainsi un substrat complètement neuf dans l'histoire de la musique. En 2000 l'évolution des instruments électroniques entre dans sa phase de maturité, de l'interconnexion des instruments est généralisée, de nouveaux Mozart apparaissent.



▲ Du brassage musical planétaire jailliront les nouveaux Mozart.

Chacun interprète à sa manière la musique des cieux.

Proverbe chinois.

UN MONDE ARTIFICIEL NOUS TEND LES BRAS

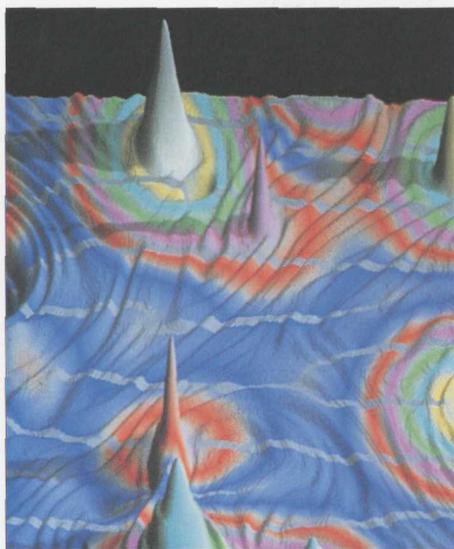
La grande révolution du vingt-et-unième siècle dans le domaine social, c'est la dissociation entre le lieu de travail et l'acte de travailler. De plus en plus, les salariés ne se regroupent plus dans leur entreprise. La catégorie des travailleurs indépendants se développe. Seuls, ils sont assistés de leurs "secrétaires électroniques". L'équipement informatique s'occupe du lien avec l'extérieur, note et filtre les appels, gère les dossiers, cherche les informations.

Ainsi, une partie importante de la population active attachée au traitement de l'information se trouve partiellement affranchie des horaires

■ **Un gigantesque brassage est en cours, qui donne le meilleur et le pire, et qui débouche sur un renouvellement profond de la musique.**

■ **L'écran devient un intermédiaire indispensable entre l'objet et l'homme. Mais, surtout, l'ordinateur transforme la manière de voir la réalité et par conséquent modifie le système de valeurs.**

de bureau et de la servitude des déplacements quotidiens entre le domicile et le lieu de travail unique. La présence exigée est remplacée par des obligations de connexions (téléconférences), de résultats (stockés en mémoire) et des relations directes avec la clientèle. L'homme n'est pas moins stressé. Mais il apprend à gérer des stratégies de coupure et de présence/absence. Il peut se permettre de faire deux choses à la fois en programmant à l'avance ou à distance certains travaux. L'ubiquité est devenue presque réelle, le risque de schizophrénie aussi. Dans le même temps, le travail devient abstrait. Les rapports de l'homme avec la nature et les objets se modifient. Avant-hier le cheval et le sol, hier l'outil et l'établi, constituaient l'univers de nos ancêtres paysans, artisans ou ouvriers. Aujourd'hui, l'écran devient l'intermédiaire indispensable entre l'objet et l'homme. Souris ou crayon optique, tableur et agenda électronique, graphiques et logiciels de gestion de fichiers, images et sons composent l'environnement professionnel. Mais, surtout, l'ordinateur transforme la perception de la réalité. Les maladies du vingt-et-unième siècle sont des maladies mentales. Les modes d'exploitation de l'homme par l'homme investissent le mental, le conditionnent et le saturent. Contre les abus, la résistance s'organise pour protéger ce que l'homme a de plus sacré : la liberté de son esprit. De même que dans les autres chapitres de cet ouvrage, nous sommes tentés de nous représenter la planète et l'humanité comme un immense être vivant qui régule ses comportements. Si la société informationnelle, devenant étouffante, ne permettait plus à l'espèce humaine de vivre et de se développer, alors celle-ci inventerait les moyens de bénéficier des avantages du câblage généralisé sans en subir les inconvénients. De même qu'existent aujourd'hui des parcs naturels dans lesquels l'homme limite ses interventions, on imagine des espaces laissés volontairement vierges de tous réseaux de communication.



▲ Les mécaniciens et les météorologues voient le monde à travers des images artificielles. Prévoir le temps quinze jours à l'avance est devenu fiable en 2063.

L'objet des technologies de l'information est de contracter le temps. Elles ne nous apportent rien d'autre. On peut décrire ce mouvement en trois phases, chacune commençant avant la fin de la précédente. La technologie rapproche d'abord les hommes par les télécommunications, de la simple conversation téléphonique jusqu'à la recherche d'informations assistée par ordinateur. Le savoir humain est disponible sur le réseau planétaire. Elle devient agressive ensuite, noyant l'individu dans un trop-plein d'informations et de sollicitations. Enfin, après avoir contracté le temps et abusé de ses pouvoirs, elle est mise en demeure de "décontracter son emprise". Lorsque nous avons appris à maîtriser le nouvel emploi du temps, elle nous ouvre alors un accès plus large à l'essentiel. ■

C

**Il ne s'agit déjà
plus de savoir si
oui ou non les
biotechnologies**

h

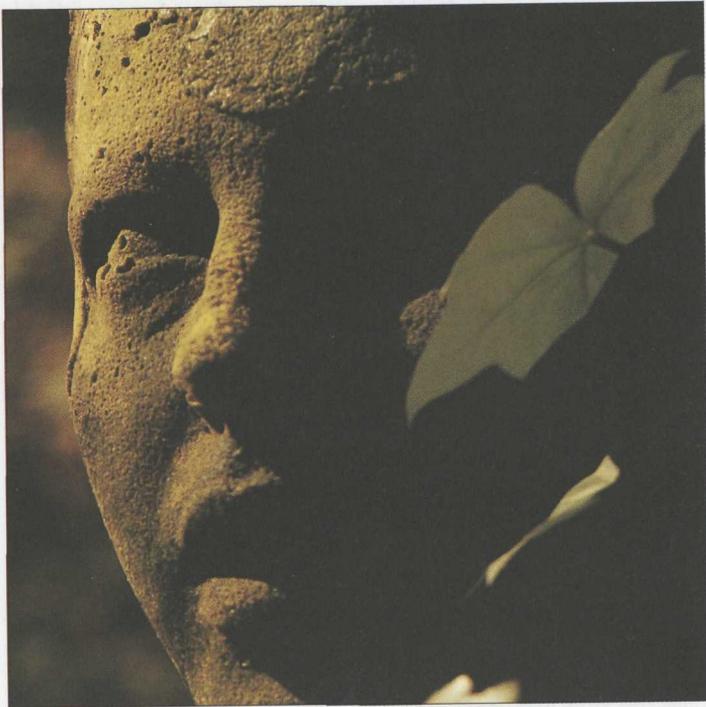
a

**vont "changer la vie". Elles y œuvrent
et depuis longtemps. Mais auront-elles
la nécessaire modestie qui semble de
mise en face des questions qu'elles
posent ? Quelle réflexion l'humanité
doit-elle mener ? Car les succès se trans-
forment parfois en échecs.**

**Le vivant
réquisitionné**

p i t r e

8



Ainsi, l'introduction de la myxomatose en Australie dans les années 1950 permit d'enrayer, pour un temps, la prolifération catastrophique des lapins ravageant les cultures. Mais une souche à peine



différente de cette même maladie, fortuitement introduite en Europe, ne put être contrôlée et provoqua des ravages considérables...

Affirmer en 1990 que le génome¹ humain est fini et comporte trois milliards de "paires de base" est juste. Proposer de le lire pour le transcrire sur papier représente une tâche énorme, mais accessible à la technologie actuelle en quelques dizaines d'années de travail. En revanche, prétendre le décoder entièrement prête à sourire. Déjà, le classement d'une très grande bibliothèque est difficile à concevoir. Et la complexité des effets du gène relève d'un ordre de grandeur supérieur : trois milliards de caractères, cela fait beaucoup de livres écrits dans une langue quasi inconnue.

Le pire peut aussi se produire. Les manipulations pourraient ainsi créer une algue dont la prolifération incontrôlable envahirait, en quatre ans, océans, rivières et ruisseaux, sur toute la planète... Ou un rétrovirus encore plus redoutable que celui du Sida.

Au mieux, les biotechnologies ne sont encore que du bricolage. Utile, certes : un rendement végétal amélioré entraîne le recul de la malnutrition ; ont été éradiquées des maladies autrefois mortelles. La science, à l'aube du vingt-et-unième siècle, se doit de vaincre le cancer et le sida. L'ironie de la complexité nous assaille dans un domaine a priori totalement "maîtrisé", l'informatique, où apparaissent des "virus" qui se reproduisent et annihilent les systèmes. La réalité n'a pas hésité à faire un pied de nez à une démarche intellectuelle parfois teintée d'arrogance.

Ce dernier exemple n'est pas déplacé. En Europe, on considère, avec Jacques Monod, que le vivant va de l'amibe à l'éléphant. Pour les Japonais, il va de la pierre à l'esprit. Les virus informatiques sont ainsi des êtres intermédiaires², quasi-vivants. Les entreprises peuvent aussi être considérées comme des êtres vivants neuromimétiques, reconnaissables à leurs connexions ou systèmes d'information.

Cette transformation - l'essence même du vivant devient informationnelle - est la représentation de la science moderne, après le vivant-machine du dix-huitième siècle et le vivant-usine chimique du dix-neuvième siècle. Elle implique une modification fondamentale de la

■ Le "bricolage" génétique permet de rendre d'immenses services comme faire reculer la faim et la maladie.

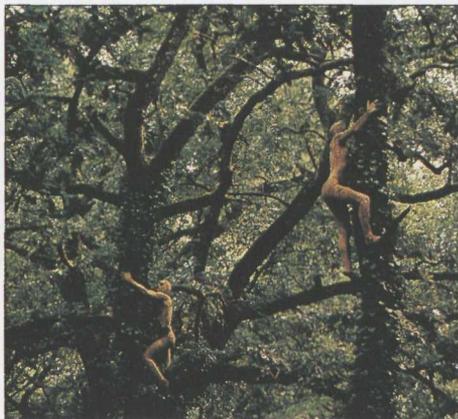
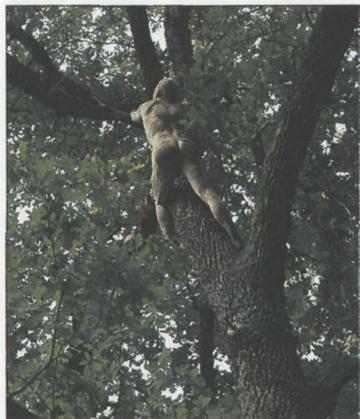
■ Les entreprises peuvent aussi être considérées comme des êtres vivants neuromimétiques, reconnaissables à leurs connexions ou systèmes d'information.

■ Les recombinaisons génétiques font appel à des "outils" biologiques pour lire, couper, coller, transcrire, fusionner des gènes.

¹Le génome est constitué de vingt-six paires de chromosomes, qui sont des regroupements de gènes. Un gène est fait d'assemblages de molécules de base, collées par paires et dont les séquences transcrivent le patrimoine génétique. Ce patrimoine est différent d'un individu à l'autre, sauf pour les vrais jumeaux. Les molécules de base sont au nombre de quatre. Donc une paire de base est comme une lettre choisie parmi 4x4 = 16 possibilités. Notre code génétique est, par suite, un énorme "mot" de trois milliards de lettres, choisies chacune dans un alphabet de seize.

²Philippe Quéau, *Metaxu*, Editions Champ Vallon, Seyssel, 1989.

perception de l'homme : la nature, vivante ou inanimée, devient domptable et l'homme peut, à terme, devenir le jardinier de sa planète, et créer sa techno-nature. Il a déjà commencé. Il lui reste à ter-



LES ARBRORIGÈNES

Ces sculptures les "arbrorigènes" sont des créations biotechnologiques. L'artiste plasticien, Ernest Pignon Ernest, leur a donné forme et vie en moulant des corps en éponge de polyuréthane et en y injectant des micro-algues. Ces sculptures ont ainsi la fonction chlorophyllienne, elles sont vivantes, de la même façon que les arbres sur lesquelles elles sont installées.

miner sa tâche, sans pour autant entrer dans la danse infernale de l'apprenti sorcier.

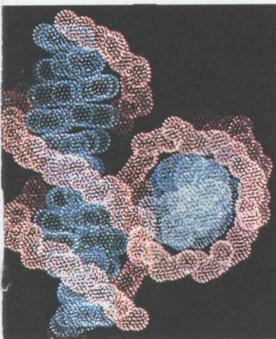
DE LA NATURE À L'HOMME, EN PASSANT PAR L'ENVIRONNEMENT

Ce que beurre ni whisky ne peuvent guérir est incurable. Proverbe gaélique.

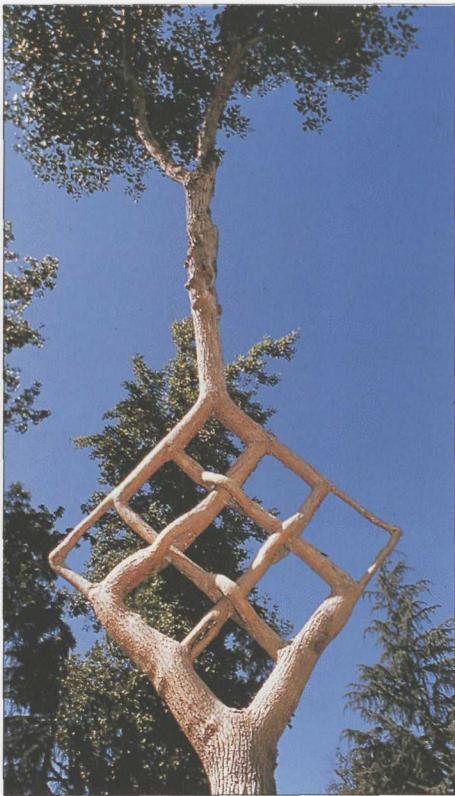
Depuis l'après-guerre, une révolution a bel et bien eu lieu : celle par laquelle il est devenu possible d'intervenir sur les mécanismes intimes de la vie. Deux bouleversements majeurs sont intervenus. Le premier est la mesure de l'infiniment petit, les macromolécules. On connaît les constituants chimiques du vivant, et même leur forme (la double hélice). Dans le prolongement de cette avancée, une seconde rupture, technologique, est survenue au début des années 1970, avec l'invention des outils pour couper et rajouter des morceaux de molécules : ce sont les ciseaux et la colle du texte génétique.

Au niveau des composants textuels élémentaires apparaît la profonde unité de la vie. En descendant à cette échelle, on peut désormais travailler conjointement sur toutes les espèces. La connaissance d'une mouche (la drosophile), celle de vers parasites ou celle de la bactérie *Escherichia coli* (le premier micro-organisme utilisé pour des expériences de recombinaison génétique) est transposable à l'ensemble du vivant.

Le deuxième bouleversement concerne les techniques. Pendant des siècles, l'homme n'avait d'autres moyens pour guérir, réparer ou modifier que l'intervention brutale pour amputer, couper, hybrider, ligaturer. Ces actions n'étaient pas sans rappeler la mécanique ou la plomberie. L'intervention suit désormais aussi les lois du vivant elles-mêmes. Elle en détourne les mécanismes et s'appuie sur eux pour agir. Les médicaments interviennent directement sur l'activité des cellules. Les recombinaisons génétiques font appel à des "outils" biologiques pour lire, couper, coller, transmettre, fusionner des gènes ; certains de ces outils sont peu "recommandables" : des virus, des bactéries ou des cellules cancéreuses.



▲ Les hélices des molécules de la vie s'enroulent voluptueusement.



▲ La simple greffe du jardinier crée déjà des arbres étranges.

Lorsque Cohen et Boyer parviennent, en 1973, à introduire un fragment de gène étranger dans le programme génétique d'*Escherichia coli*, ils ouvrent une possibilité d'intervention directe et rapide dans le programme génétique de toutes les espèces. Ce qui était lié au hasard des mutations génétiques - et se situait donc sur une échelle temporelle indéterminée - devient programmable par l'homme, court-circuitant ainsi les mécanismes de mutation-sélection naturelle. Ce n'est pas seulement la structure du vivant qui peut ainsi être remise en cause, mais aussi son rythme d'évolution, son cycle de reproduction, sa temporalité. Cette compression du temps, qui permet la mise en place d'une véritable ingénierie génétique, représente un élément majeur de la révolution biotechnologique à venir.

Ces ruptures ont créé une situation nouvelle. Sur le plan socio-économique d'abord : de nouveaux acteurs émergent et les relations entre les différents partenaires scientifiques, industriels ou économiques se modifient. Elles changent notre vision philosophique et peut-

être même religieuse du vivant. Elles exacerbent les craintes que suscite la technologie. La réquisition¹ possible du vivant réveille en nous des rêves ou des cauchemars secrets, peuple notre univers de mutants ou de clones, ressuscite les formes monstrueuses qui habitent nos mythologies. Elle ouvre aussi la voie à une rationalité eugénique, d'autant plus inquiétante qu'elle serait indolore.

■ IL FAUT RÉQUISITIONNER LA NATURE : LES BIOTECHNOLOGIES AUX CHAMPS

Au vingtième siècle, la révolution biologique n'a touché l'agriculture et l'agro-alimentaire que de manière superficielle. La mécanisation, puis l'utilisation d'engrais et de phytosanitaires d'origine chimique ont eu, depuis une cinquantaine d'années, un impact plus important. Les "révolutions vertes", pourtant déjà anciennes, ont, en fait, à peine commencé !

Depuis une trentaine d'années, sont apparues des techniques de multiplication rapide *in vitro* et de régénération des plantes. A partir d'un bourgeon de rosier, on obtient entre deux et quatre cent mille rosiers par an. Le développement plus récent de nouvelles techniques *in vitro* vient apporter une puissance accrue à la recherche d'hybridation de nouvelles espèces végétales.

Pour modifier les plantes cultivées, ces techniques créent plus rapidement de nouvelles variétés résistantes au stress (brutale absence d'eau, froid, salinité des sols...), mais aussi à certains herbicides,

■ *La réquisition possible du vivant réveille en nous des rêves ou des cauchemars secrets, peuple notre univers de mutants ou de clones, ressuscite les formes monstrueuses qui habitent nos mythologies.*

■ *A partir d'un bourgeon de rosier, on obtient entre deux et quatre cent mille rosiers par an.*

■ *Les nouvelles variétés sorties de laboratoire puisent directement l'azote dans l'air, évitant le recours aux nitrates polluants. La recherche est ici, non seulement au service de l'économie, mais surtout au service de l'écologie.*

¹ Réquisition évoque ici la notion de "Gestell" introduite par Heidegger, La question de la technique, in *Essais et conférences*, Gallimard, Paris, 1980.



▲ Les micro-organismes sont réquisitionnés, tels cette larve qui nage.

aux maladies fongiques, bactériennes ou virales, ayant des rendements accrus, etc. Ces plantes sont utiles dans nombre de pays en voie de développement.

La lutte contre les maladies des plantes a encore beaucoup de progrès à faire. Le grand espoir est de rendre possible la vaccination des végétaux, sur une vaste échelle. Pour lutter contre certaines maladies, des organismes vivants (bactéries, insectes stérilisés...) sont préférés aux produits issus de la chimie, considérés comme trop polluants. C'est le cas de la bactérie *Bacillus thuringiensis*, dont les effets toxiques se limitent aux insectes. On assiste à un élargissement considérable du champ de vision du biologiste, de l'organisme à l'écosystème. En 1990, les problèmes généraux de gestion des écosystèmes sont loin d'être résolus. Si nous connaissons relativement bien les dangers liés à l'utilisation excessive d'engrais, d'herbicides et de pesticides chimiques, nous ne savons presque rien des effets sur l'environnement ou sur l'homme de micro-organismes ou de plantes modifiées. Quant aux plantes modifiées elles-mêmes, nous ignorons, pour l'essentiel, leur degré de résistance aux maladies. Nous ne savons pas non plus si les méthodes culturales à mettre en œuvre bouleverseront profondément et dans quel délai l'agriculture.

Entre 1990 et 2000 apparaissent diverses biotechnologies dans le domaine végétal. La pénétration dans l'agriculture varie de 70%, pour les sondes qui diagnostiquent des maladies des plantes, à 30 ou 40% pour les plantes manipulées génétiquement et résistantes à tous les insectes. Vaccins, plantes résistantes aux herbicides, micro-organismes protégeant les plantes, nouveaux régulateurs de croissance, amélioration du taux protéique et biocontrôle des mycotoxines font partie des développements attendus qui touchent, entre autres, céréales, pommes de terre, betteraves et vigne.

L'amélioration des rendements, déjà forte - entre un et quatre pour cent par an depuis les années 1970 -, continue à un rythme compris au moins entre un et deux pour cent par an d'ici l'an 2005. Les biotechnologies produisent sans doute des plantes de meilleur "rendement", comme disent les agriculteurs. Elles permettent surtout, à partir de 2010, de se passer - ou presque - d'engrais. Les nouvelles variétés de laboratoire puisent directement l'azote dans l'air, évitant le recours aux nitrates polluants. La recherche est ici, non seulement au service de l'économie, mais surtout au service de l'écologie.



▲ *Phylodendrons* et *gardenia*-éprouvettes attendent d'être replantés.

L'ANIMAL RECOMBINÉ EST POUR DEMAIN

Les premières manipulations génétiques d'embryons animaux furent réalisées dans les années 1960, mais des résultats intéressants n'ont été obtenus qu'avec la maîtrise des techniques d'introduction de gènes étrangers dans le noyau de la cellule.

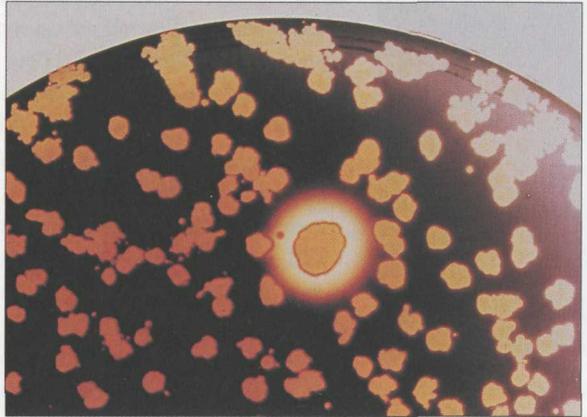
Les buts recherchés par ces modifications du patrimoine génétique sont multiples. Le premier d'entre eux est le plus trivial : le gène le plus

fréquemment introduit dans les œufs a été celui de l'hormone de croissance, qui permet d'obtenir des animaux nettement plus gros. En dehors de ces considérations quantitatives, les recherches actuelles visent aussi à modifier les caractéristiques des aliments à leur source même : lait plus digeste (permettant par exemple de surmonter les problèmes d'intolérance au lactose), viandes de meilleure qualité grâce à l'augmentation de certaines graisses, etc. De manière plus complexe, on a également cherché à résoudre divers problèmes liés à l'élevage : résistance aux maladies, notamment par protection préventive contre certains virus, dès le stade embryonnaire, nourriture plus économique (sans apport par exemple d'acides aminés comme la lysine), parage plus aisé.

Moyennant quelques bricolages génétiques, les organismes vivants deviennent de nouvelles filières de production. Plantes, animaux ou bactéries, parmi les mieux connus, fournissent des produits de toutes sortes, alcools, solvants, molécules rares, médicaments, insecticides, etc. Il est possible d'extraire du maïs environ trois cents produits différents. On passe du poulet en batterie à la domestication des bactéries. Dans une optique de production à l'ancienne, les enzymes et les bactéries se mettent au travail. Pour le plaisir, on crée de nouvelles orchidées chez soi. Apparaissent alors des chimères, êtres vivants génétiquement manipulés.

Ces "fermes moléculaires" constituent un débouché nouveau et particulièrement lucratif pour l'agriculture. Mais les technologies nécessaires restent longtemps hors de portée des paysans indépendants. Après 2020, les vendeurs de semences étendent leur catalogue en proposant des variétés aux gènes manipulés et dûment brevetés.

Comme dans le domaine végétal, l'élevage voit apparaître avant l'an 2000 des sondes diagnostic, des vaccins recombinés et des animaux transgéniques. Veaux, vaches, cochons, couvées sont touchés



▲ Le bacille subtil et manipulé, dégrade l'amidon, créant un halo industrialisable.

*D'un veau on espère un bœuf et d'une poule un œuf.
Proverbe français.*

La chimère poule-caille résulte de manipulations génétiques. ▼

La ponte d'œufs carrés, si elle satisfait l'industrie alimentaire, reste une pénible épreuve pour les gallinacées. ▼



dans des proportions qui varient entre 20% des cheptels - parfois - et 60-70% - le plus souvent - avec des taux d'amélioration des rendements atteignant 30% en 2005.



LA RÉVOLUTION AGRO-ALIMENTAIRE PERMET DE NOURRIR LA PLANÈTE

L'agro-alimentaire, plus que d'autres secteurs peut-être, est confronté à des demandes contradictoires. Dans les pays riches, priorité est donnée à la diminution des contraintes. Les aliments doivent être préparés le plus rapidement et le plus simplement possible, tout en se conservant sans difficulté. Ces demandes ont favorisé une certaine standardisation et la recherche de produits de substitution, qui débouchent sur une perte de la qualité organoleptique compensée par une meilleure stabilité. Un retour à des traditions fermières, accompagné d'une nouvelle recherche du goût, se dessine. Mais le gros du marché reste dominé par la production en grande série.

La valeur nutritive n'est plus la priorité, elle est même parfois évitée, comme dans ces produits dont la publicité nous dit fièrement qu'ils ne contiennent pratiquement aucune calorie. On s'attend à un aliment adapté, standardisé, contrôlé. Dans les pays pauvres, au contraire, les problèmes sont, hélas, toujours quantitatifs. Et l'urgence pousse à une mise en exploitation de souches à rendement rapide et élevé.

Les biotechnologies ont répondu à cette demande et fourni quantité de marqueurs, de tests de diagnostic et d'analyse toxicologique. Des recherches menées dans le domaine de la santé et de la pharmacie sont ainsi en passe de trouver de nouvelles applications dans le secteur agricole et agro-alimentaire.

En aval, on attend donc des biotechnologies qu'elles nous servent des plats idéaux, irréprochables sur le plan diététique, parfaitement ajustés à nos besoins, propres et de bon goût. En amont de la chaîne alimentaire, les biotechnologies sont sollicitées pour faciliter la production. Il faut industrialiser et robotiser.

■ Moyennant quelques bricolages génétiques, les organismes vivants deviennent de nouvelles filières de production. Plantes, animaux ou bactéries fournissent des produits de toutes sortes, alcools, solvants, molécules rares, médicaments, insecticides...

■ On attend des biotechnologies qu'elles nous servent des plats idéaux, irréprochables sur le plan diététique, parfaitement ajustés à nos besoins, propres et de bon goût.

Si l'industrie agro-alimentaire cherche à satisfaire les besoins de l'alimentation humaine, celle-ci doit intégrer quelques productions nouvelles. Certaines algues offrent des alternatives intéressantes pour régler des problèmes de malnutrition ou d'alimentation du bétail.

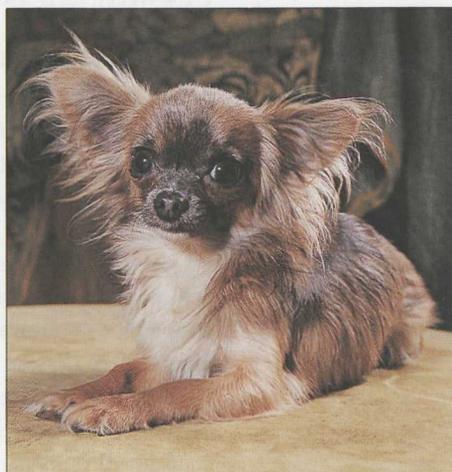


▲ Ces algues appétissantes sont cultivées en laboratoire.

Les conditions du marché décident de l'essor de multiples produits, dont la technologie est au point. C'est le cas par exemple des "POU", protéines d'organismes unicellulaires, pour l'alimentation du bétail, ou encore la culture de diverses plantes.

C'est donc seulement dans les années 2000 que les biotechnologies végétales prennent vraiment leur essor et, en particulier, les manipulations génétiques (les plantes transgéniques). Dans le courant du vingt-et-unième siècle, les performances de la BAO (Biotechnologie Assistée par Ordinateur) se font progressivement sentir de la manière la plus surprenante. Il avait fallu des générations de sélection patiente et têtue pour obtenir des animaux de compagnie, tels le pékinois, petit chien velu au minois enfantin, miroir de pulsions étranges.

Il descend du loup, comme tous les chiens, mais dans quel état ! Incapable de survivre sans l'homme, ce n'est plus, au regard des lois de la vie, qu'une caricature de ses nobles ancêtres. Mais voilà que les manipulations génétiques permettent de fabriquer sur commande des animaux domestiques : les pythons tendres, les paresseux multicolores, les pandas-nounours pour enfants. La régulation de leur agressivité les rend inoffensifs et la planète se peuple d'une faune fantasmagorique. De même, les plantes manipulées permettent le développement d'une agriculture urbaine et même d'appartement, sur terrain artificiel ou encore hors-sol. Les villes reverdissent.



▲ Ce petit chien, miroir des fantasmes humains, est le résultat de patientes sélections.

■ *Les pythons tendres, les paresseux multicolores, les pandas-nounours pour enfants : la planète se peuple d'une faune fantasmagorique.*

■ *Cette différence entre le traitement de la nature et celui de l'être humain ne se résorbe qu'à la fin du vingt-et-unième siècle.*

■ *L'éradication de maladies et l'établissement d'un "confort" somatique (disparition de la douleur, de la fièvre, des migraines, etc.) risquent d'être payés par l'émergence de maladies nouvelles.*

ASSISTER LA MACHINE HUMAINE EST UN IMPÉRATIF SOCIAL

Entre les mains du biologiste, l'homme est lui aussi objet. Chacun entend bien, d'ailleurs, que son corps soit confié à des spécialistes d'une parfaite efficacité, un service qui n'est pas sans rappeler celui du garagiste ou de la société de maintenance informatique. Le corps doit se faire oublier. A l'aube du troisième millénaire, si les domaines végétal et animal semblent encore dominés par un souci d'industrialisation et de standardisation, celui de la santé humaine témoigne du souhait d'échapper au déterminisme biologique (sexe,



patrimoine génétique...) comme aux maladies, à la vieillesse et à la mort. Cette différence entre le traitement de la nature et celui de l'être humain ne se résorbe qu'à la fin du vingt-et-unième siècle.

Les seuls produits réellement nouveaux et commercialisés, issus des biotechnologies, concernent la santé et la pharmacie. Les technologies très coûteuses de recombinaison génétique se sont, en effet, tout naturellement orientées vers des produits thérapeutiques à forte valeur ajoutée. Les recherches ont porté sur des produits anti-tumeurs, anti-cancers et anti-thromboses, qui concernent les maladies mortelles les plus fréquentes des pays industrialisés.

Les biotechnologies démultiplient les possibilités de l'industrie pharmaceutique, jusque là limitée à la sélection de nouvelles molécules. Les méthodes de sélection sont finalement aléatoires, et donc coûteuses, partant d'agencements complexes de molécules pour arriver

à des principes actifs hautement spécifiques. Or, les micro-organismes, par exemple, s'adaptent aux antibiotiques et sont capables de vivre et de se développer en leur présence, soit en fabriquant de nouvelles enzymes qui affaiblissent leurs effets, soit en devenant "antibio-résistants". La difficulté croissante à mettre au point de nouvelles catégories d'antibiotiques incite à d'autres trajectoires de recherche plus directes, en particulier celles de la recombinaison génétique.

*Trop de docteurs,
peu de médecins.
Proverbe français.*

GUÉRIR LE CANCER.

Les recherches menées depuis le début du vingtième siècle ont montré que les virus (rétrovirus) responsables de certains cancers apportaient moins une information génétique nouvelle qu'ils n'altéraient le matériel génétique existant. Des proto-oncogènes (du grec *onkos* tumeur) se trouvent ainsi activés sous l'influence de différents agents (virus, substances chimiques, nutritionnelles, hormonales, radioactives...) et conduisent à un développement anarchique de la cellule. Le dépistage précoce reste encore la meilleure méthode pour lutter contre le cancer.

La chimiothérapie classique cherche à créer des molécules capables de faire la différence entre une cellule cancéreuse et

une cellule saine. Cette discrimination sera toujours difficile à maîtriser en raison de la similitude fréquente entre les deux types de cellules et de la forte variabilité des cellules cancéreuses au sein d'une tumeur. Essayée depuis plusieurs années, une approche nouvelle en chimiothérapie consiste à choisir des agents toxiques, parmi l'éventail des molécules connues, et à les doter d'une "tête chercheuse" qui permet de les diriger uniquement ou de préférence vers les cellules cibles. D'autres recherches s'orientent vers la répression de l'oncogène ou l'inhibition de l'ARN messager.

Par ailleurs, la découverte des facteurs de croissance, le clonage des gènes correspondants et

leur séquençage ont également permis d'étudier les mécanismes de régulation de la croissance cellulaire. Les recherches sur les oncogènes et facteurs de croissance contribuent aujourd'hui à établir une théorie cohérente du cancer qui serait dû à l'altération d'un ou plusieurs gènes (gènes codants pour des facteurs de croissance, pour leurs récepteurs ou pour leurs messagers intracellulaires) impliqués dans la régulation de la prolifération cellulaire. Ces connaissances nouvelles pourraient permettre de bloquer la prolifération des cellules en administrant des antagonistes des facteurs de croissance ou des anticorps monoclonaux bloquant les récepteurs.

Nous n'avons aujourd'hui qu'une faible idée, malgré les tests sur les animaux et les tests cliniques préalables à toute mise sur le marché, des effets secondaires à long terme que peuvent occasionner ces

produits nouveaux. Pire, nous savons que nous nous sommes engagés dans une spirale sans fin. L'éradication de maladies et l'établissement d'un "confort" somatique (disparition de la douleur, de la fièvre, des migraines, etc.) risquent d'être payés par l'émergence de maladies nouvelles, nées de l'intervention de l'homme sur son environnement micro-organique.



▲ A sept semaines, l'embryon et son patrimoine génétique sont déjà sous le regard de la science.

LE DÉPISTAGE GÉNÉTIQUE ET SES DILEMMES

Les succès les plus marquants des biotechnologies portent sur le diagnostic. La médecine prédictive a été rendue possible grâce au développement du dépistage des gènes délétères. D'ores et déjà, on peut prévoir si un fœtus donnera naissance à un mongolien. La mère se trouve alors devant le dilemme : avorter ou pas ? Ce qui était autrefois imposé par la nature fait alors l'objet de choix éthiques difficiles. Chacun peut se trouver aujourd'hui devant de telles décisions. La prédiction pré- et post-natale permet de surveiller les individus vulnérables, de leur recommander certaines précautions hygiéniques et de leur prescrire un traitement précoce. Une quinzaine seulement de maladies héréditaires, parmi les plus graves, bénéficient en 1990 de moyens de diagnostic qui se révèlent parfois redoutables. En effet, s'il est possible de diagnostiquer, les moyens thérapeutiques font encore trop souvent défaut et l'unique recours reste souvent l'interruption de grossesse. Dans ce domaine de la santé, les progrès de la science sont visibles, mais ses limites aussi. Le choix éthique se pose parfois à des êtres humains qui ne sont pas préparés à l'assumer. Ceci pose un problème crucial. Car la manipulation génétique suit actuellement la demande du marché... Au nom de quels critères pourra-t-on souhaiter conserver ou non un futur enfant blond ou brun, noir ou blanc, grand ou petit, garçon ou fille..?

VERS DES THÉRAPIES GÉNIQUES

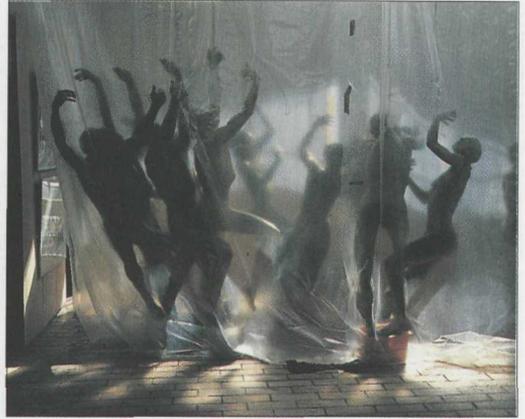
Environ trois mille maladies liées à des défauts génétiques plus ou moins graves sont aujourd'hui connues. On a pu localiser, sur la carte chromosomique, le gène responsable d'une dizaine d'entre elles. Les données épidémiologiques indiquent une augmentation du nombre des malformations héréditaires et congénitales. Elles sont à l'origine de plus de 30% de la mortalité pendant la première année de vie, y compris dans les pays où le taux de natalité est stable, voire en baisse.

■ *Quel cauchemar pourrait bien imaginer un dictateur disposant de la maîtrise partielle des gènes et des greffes dans le cerveau ?*

■ *La réduction du sommeil physiologique n'est pas l'éveil philosophique du spirituel. C'est peut-être même le contraire : une manière technologique de transformer l'homme en zombi, pour mieux le manipuler.*

■ *Outre de règles éthiques et d'une juridiction, nous avons besoin désormais d'une évolution générale des mentalités.*

Certaines thérapies géniques sont appelées des vœux de toutes les populations. Il en va ainsi de la maîtrise du cancer (2020), de la guérison des mycoses tenaces (2030), de la prévention et du traite-



ment des thromboses (2005) ou plus simplement des caries dentaires (2020). D'autres posent ou pourraient poser des problèmes éthiques : le contrôle de l'affect et de l'agressivité (2040), la maîtrise des greffes dans le cerveau (2050), la neutralisation des états de dépression (2050) ou le contrôle des processus de sénescence (2040). Et plus près de nous, que faut-il entendre par régularisation des réponses sexuelles (2020) ?

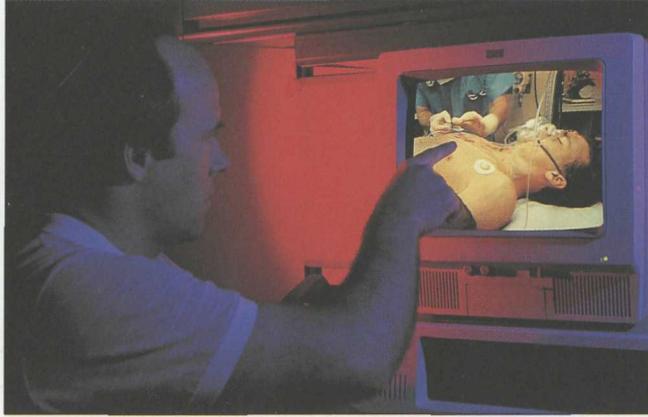
Quel cauchemar pourrait bien imaginer un dictateur disposant de la maîtrise partielle des gènes et des greffes dans le cerveau ? Que penser, par exemple, de la réduction du besoin de sommeil (2010) ? Derrière cette apparente question technique, se profile l'image d'un homme mobilisé, mais par qui ? La réduction du sommeil physiologique n'est pas l'éveil philosophique du spirituel. C'est peut-être même le contraire, une manière technologique de transformer l'homme en zombi, pour mieux le manipuler.

▲ Les arborigènes semblent danser avant leur installation dans les arbres.

REPRODUIRE L'HUMAIN À L'IDENTIQUE

Les premières recherches ont porté sur l'insémination artificielle peu après la seconde guerre mondiale. Le problème se complique depuis 1978 avec les possibilités de fécondation *in vitro*, hors de l'organisme féminin, puis de réimplantation de l'ovule fécondé dans la matrice. Une première question éthique s'est posée pour les ovules fécondés surnuméraires. Le taux d'échec étant important, plusieurs ovules sont prélevés et fécondés, alors qu'on sait qu'il ne sera possible d'en réimplanter qu'un nombre limité. Les autres sont-ils ou non des êtres vivants, humains ? Le serment d'Hippocrate est silencieux sur le sujet. Ces difficultés se trouvent renforcées lorsque l'ovule fécondé est réimplanté non chez la donneuse, mais chez une mère porteuse. A la question des ovules surnuméraires viennent s'adjoindre des problèmes psychiques et juridiques. Ce n'est pas seulement de règles éthiques et d'une juridiction dont nous avons besoin désormais, mais d'une évolution générale des mentalités. L'ampleur des débats est

signe d'une difficulté à appréhender ce nouvel ordre du vivant. Que se passera-t-il si l'on peut développer le fœtus entièrement à l'extérieur du corps féminin sans réimplantation de l'ovule fécondé ?



▲ Les simulateurs d'urgence médicale permettent l'entraînement des médecins.



▲ L'étude du cerveau autorisée en 2050 la maîtrise des greffes.

Quelles conséquences pour la femme et l'homme qui ont donné leurs ovules, leurs spermatozoïdes ou leur patrimoine génétique ? Quelles conséquences pour l'enfant ? Quelles représentations du couple, de la famille, naissent de ces possibilités ? Le prolongement futur des expériences actuelles ouvre la porte au clonage humain, c'est-à-dire à la reproduction asexuée d'individus. Quel usage fait-on des techniques consistant à réaliser des duplicata exacts des "parents", grâce à la transplantation de leurs patrimoines génétiques dans des

œufs humains servant de simples réceptacles (avoir un double qui est une banque d'organes disponibles est alors possible...la réincarnation artificielle se profile...) ? On peut en effet imaginer, même s'il n'est pas encore sûr que ce soit réalisable, qu'au lieu d'une fécondation, qui mélange les patrimoines génétiques des parents, une simple reproduction soit possible. Vous pourriez ainsi avoir un enfant qui soit votre vrai jumeau, avec quelques di-

zaines d'années en moins. C'est, en quelque sorte, une réincarnation artificielle. Dès lors, le choix entre le narcissisme et l'amour est posé en termes nouveaux. Quelle tentation de produire un autre soi-même enfant ! Quelles possibilités nouvelles de transmission d'expérience par sympathie et, peut-être, de progrès dans la sagesse ! Mais quel abandon aussi : le couple, l'union, l'autre complémentaire de soi, l'être achevé à deux. Le vingt-et-unième siècle interroge l'affectivité. Nous ne sommes plus devant une technique utilitaire, plate et rentable, mais devant des défis posés à ce qu'hier encore nous croyions l'essentiel.

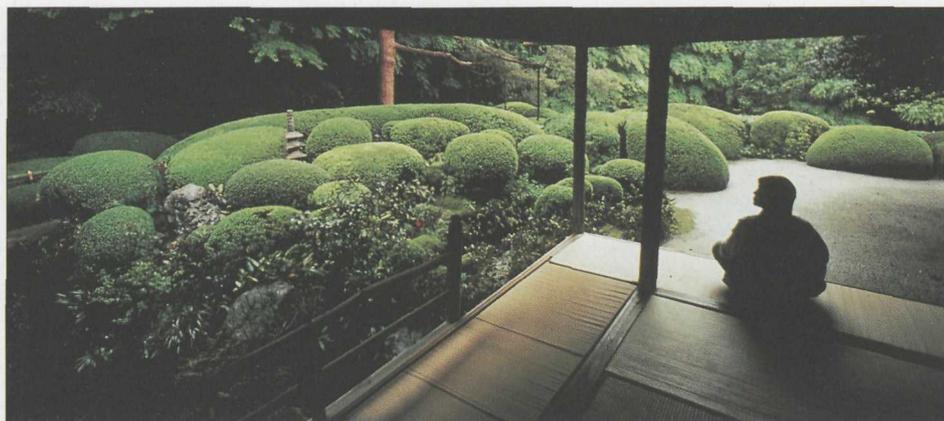
Ces technologies ne sont pas pour autant rejetées ; par un acte de



■ **L'homme est un explorateur incorrigible. L'aventure est tentée par quelques uns. D'autres crient au scandale.**

■ **Pour l'instant, il y a concurrence entre la "voie biologique" et la "voie matériel". A terme, ces deux voies ne font qu'une, lorsque le matériau vivant peut être reconstitué parfaitement.**

refus, l'ensemble du corps social ne tourne pas le dos à ces possibilités. L'homme est un explorateur incorrigible. L'aventure est tentée par quelques uns. D'autres crient au scandale.



LES PIÈCES DE RECHANGE DU CORPS HUMAIN

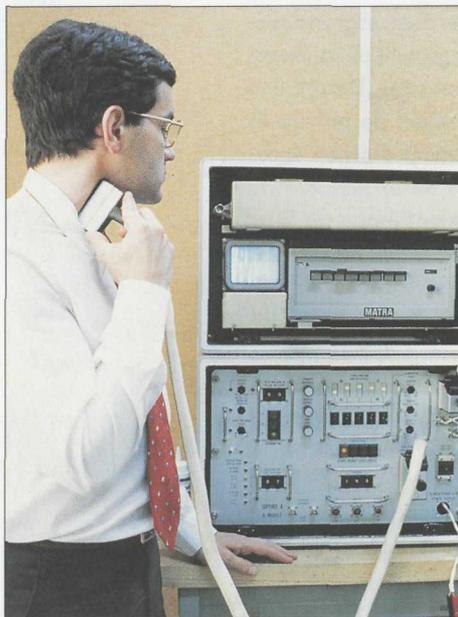
▲ La maîtrise de soi, l'harmonie avec la nature sont enseignées par les philosophies orientales.

L'ensemble de ces possibilités diagnostiques ou thérapeutiques permet d'intervenir au siège même des maladies ou des processus de reproduction. Il ne s'agit plus simplement de ravauder le squelette par quelque prothèse, mais de réparer la matière vivante.

La réparation physique du corps humain a fait, en quelques années, des progrès remarquables, que ce soit dans le développement de prothèses (orthopédiques, auditives, intra-oculaires ou cardio-vasculaires) ou dans le remplacement d'organes, de parties du derme et de l'épiderme. Certains biomatériaux sont des matières inertes, alliages divers ou céramiques, aux propriétés exceptionnelles n'entraînant aucun effet secondaire. D'autres sont biodégradables, servent

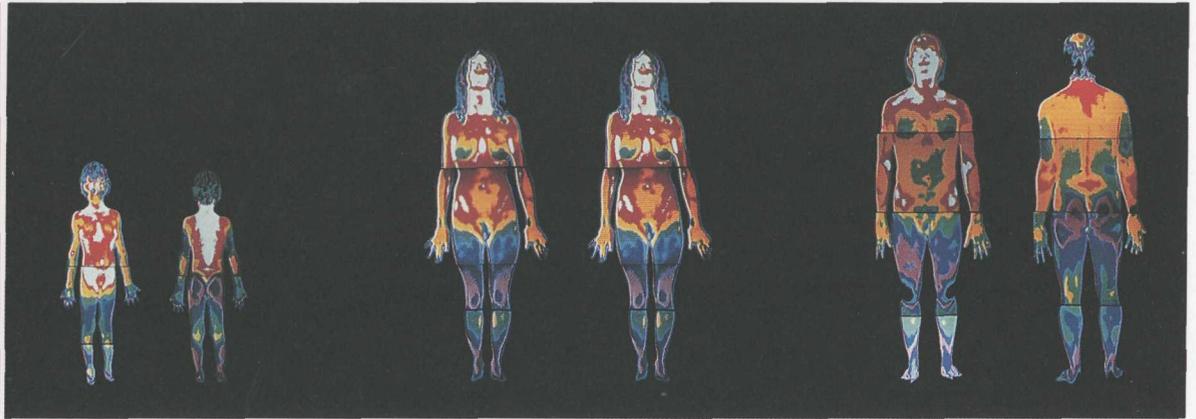
de pansement et favorisent la croissance de cellules avant de disparaître totalement. Ils peuvent aussi avoir la même structure que l'os, et se faire coloniser peu à peu par les cellules osseuses. Les techniques d'immunologie, de la biologie cellulaire et de l'ingénierie des matériaux se trouvent mises en jeu. Le rapprochement des deux technologies n'est pas encore terminé. Pour l'instant, il y a concurrence entre la "voie biologique" et la "voie matériau". Faut-il développer des matériaux pour remplacer la peau ou bien trouver les moyens de faire repousser, par culture de cellules, un derme et un épiderme naturels ? A terme, ces deux voies ne font qu'une, lorsque le matériau vivant peut être reconstitué parfaitement. Pour réparer une articulation osseuse, le matériau idéal, c'est l'os. On peut réaliser des organes artificiels indiscernables de leurs homologues naturels.

Automédication et auto-analyse deviennent courants et portables vers 2030. ▼



Tel père, tel fils.
Proverbe français.

Il ne s'agit pas de fabriquer par voie chimique un ersatz de matériau vivant, mais de créer du "presque vivant" en utilisant toutes les ressources des mécanismes biologiques. La maîtrise du développement



▲ La thermographie permet de visualiser parties chaudes et froides du corps. Elle sert par exemple à détecter des cancers du sein.

embryonnaire rend, à cet égard, beaucoup de services dans la régénération de tissus endommagés.

Ces procédés, relevant de techniques jadis totalement ignorées, ne touchent pas que la médecine. Ils conduisent à estomper la frontière nette qui existe entre le naturel et l'artificiel.

LA CONNEXION NEURONALE ET LES MALADIES DU CERVEAU

Le cerveau a, jusqu'à présent, échappé à cette mise en pièces du corps humain. Il ne se remplace pas si aisément. Les recherches avancent lentement et n'ont connu que de modestes succès. Les greffes n'ont encore jamais entraîné de découvertes importantes, malgré quelques résultats intéressants de greffes de neurones fœtaux.

Les maladies du cerveau constituent sans doute le dernier grand secteur de recherche de la science médicale. L'allongement de la vie est un des facteurs qui rendent ces recherches importantes. Devant une population vieillissante, il faut bien trouver le moyen de réduire la sénilité. L'intervention sur le cerveau offre un champ d'action énorme. Déjà, il est possible de retarder les effets de la maladie de Parkinson. On peut, de la même manière, restituer l'usage de leurs membres à des paralysés, ou modifier le comportement de certains malades mentaux. Bien sûr, ces manipulations ont, comme les tra-

voux sur le gène, de quoi effrayer et se trouvent confrontées elles aussi à des problèmes d'ordre moral. Mais si l'éthique refuse les altérations du comportement, elle accepte la guérison des maladies et l'utilisation de gadgets divers.

L'étude du cerveau devient le sommet de l'art biotechnologique, prenant la place qu'occupe actuellement le génie génétique. A l'information pure, matérialisée par les bits des or-

Les insectes étaient là avant les dinosaures et ils seront là après nous. ▼



dinateurs et les gènes de l'ADN, succède la notion de réseaux, d'interactions, d'interconnexions. Cette vision, parallèle à l'émergence de principes équivalents en informatique, depuis les ordinateurs à struc-

LA TÉLÉPATHIE EN 2065

Le rêve de la télépathie véritable passe, non pas à travers ce succédané qu'est le téléphone, mais par l'implantation d'un petit appareillage, une fois qu'ont été décodés les signaux issus de l'œil et de l'oreille. Il suffit de peu de chose, alors, pour transmettre par radio à un cerveau des informations qui sont perçues comme des sensations véritables. Principe hallucinogène très supérieur à la télévision et à la drogue. En décodant en sens inverse les influx nerveux transmis à la

bouche pour parler, il est possible d'expédier ce signal par la voie des ondes et, moyennant un système d'adressage - certes compliqué à mettre au point - d'atteindre n'importe quel individu en n'importe quel point de la planète. Le réseau des télécommunications mondiales rejoint alors le réseau de neurones qu'est le cerveau. A l'aube du vingt-deuxième siècle, cette donnée nouvelle de l'organisation humaine a déjà une importance considérable.

ture neuronale jusqu'au développement des réseaux planétaires de communication, s'étend jusqu'aux relations entre organes, organismes et populations. La biologie prend alors davantage en compte la complexité de la vie terrestre, changeant d'échelle pour passer au niveau des écosystèmes.

LA TECHNO-NATURE CONCERNE LA VIE SUR ET HORS DE LA PLANÈTE

Ce n'est pas uniquement dans le domaine de la conservation des espèces ou de la protection de l'environnement que les biotechnologies peuvent jouer un rôle. Durement touché par diverses pollutions, l'environnement a besoin d'un véritable nettoyage, ainsi que de mesures préventives contre de nouvelles pollutions. Des résultats spectaculaires ont été réalisés dans l'épuration des eaux usées et le traitement d'effluents d'origine agricole par l'utilisation de micro-organismes. Certaines bactéries possèdent des enzymes qui dégradent des hydrocarbures ou des composés très toxiques comme le benzène. Le développement de nouvelles souches bactériennes permet, dans des conditions contrôlées, de nettoyer l'environnement de composés chimiques parmi les plus nocifs et de valoriser, en les transformant, les éléments qui étaient, jusqu'à présent, purement et simplement rejetés.

Il s'agit là de mesures de nature véritablement médicale, à la fois thérapeutiques et préventives. Notre environnement a été en deux siècles profondément transformé. Ce mouvement ne peut que se poursuivre. Un fossé de plus en plus net se creuse certainement entre, d'une part, les espaces d'environnement protégé, qui tendent à devenir des conservatoires de la nature, d'autre part, les zones de production agricole industrialisée bénéficiant des apports technologiques les plus récents, et enfin, encore plus problématiques, les mégapoles. A côté de cette spécialisation des territoires, apparaissent de nouveaux environnements dans les villes marines ou sous-marines.

■ **Les maladies du cerveau constituent sans aucun doute le dernier grand secteur de recherche de la science médicale.**

■ **Le développement de nouvelles souches bactériennes permet, dans des conditions contrôlées, de nettoyer l'environnement de composés chimiques parmi les plus nocifs.**

La conquête de l'espace offre aussi, avec les stations orbitales et les planètes creuses, de nouveaux territoires à explorer et à habiter pour lesquels il faut concevoir des écologies nouvelles, des environnements artificiels clos entièrement contrôlés. De telles réalisations exigent bien plus qu'une série de manipulations génétiques. Il faudrait plutôt parler de "régulations écologiques". Tout doit être prévu, même le fait que la nature est imprévisible.

Le cycle du vivant doit être recréé dans ces mondes artificiels, depuis la décomposition par des micro-organismes jusqu'à la vie d'animaux supérieurs destinés à la boucherie ou à l'agrément, en passant par le fonctionnement de forêts et de lacs, les bilans en eau, en oxygène et en gaz carbonique, etc. Ce cycle doit se dérouler de manière automatique, avec un minimum d'interventions humaines. Mais si les technologies actuelles nous permettent d'imaginer facilement comment fabriquer des arbres en plastique ou des images animées de grande dimension donnant aux astronautes l'illusion qu'ils vivent à New-York ou à Bora-Bora, il est beaucoup plus difficile de se représenter un écosystème complet, qui pourrait définitivement couper le cordon ombilical avec la Terre. Pourtant une telle expérience est tentée.

En septembre 1990, huit personnes, quatre hommes et quatre femmes, s'enferment en Arizona, pour la première fois au monde, dans un écosystème hermétiquement clos. Biosphère II comprend aussi 150 oiseaux, des poissons et diverses espèces végétales.

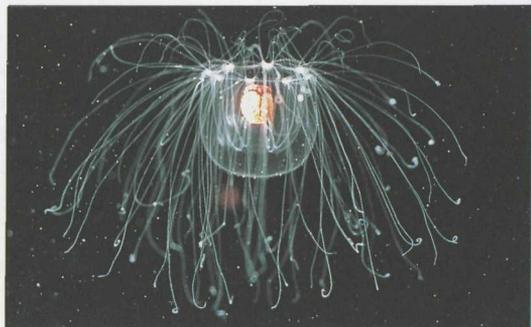
L'eau et l'air sont régénérés par les plantes. L'ensemble ne communique avec l'extérieur que par le rayonnement solaire qu'il reçoit et les échanges de signaux avec les autres terriens. Il est supposé pouvoir vivre en équilibre pendant des mois, peut-être des années, peut-être des siècles... Cette expérience marque le début d'un nouvel âge. Celui où l'homme accepte d'assumer la responsabilité du pilotage d'une techno-nature autonome.

L'ÉTONNANTE RÉSISTANCE DU VIVANT AUX MANIPULATIONS

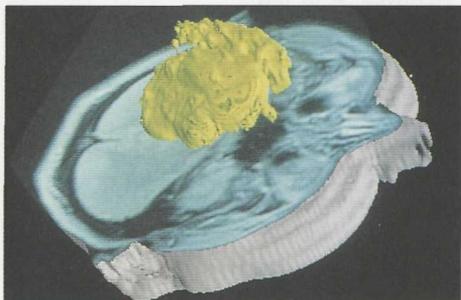
Mais s'il est possible d'envisager de créer une techno-nature artificielle, il ne faut pas sous-estimer les capacités de réaction du vivant aux manipulations externes.

L'escalade de la résistance des plantes est maintenant un fait reconnu. Après une longue période d'utilisation intensive de pesticides dans l'agriculture, des dizaines de "mauvaises herbes" et des centaines d'insectes sont devenus résistants aux produits chimiques conçus pour les tuer. La recherche de nouvelles molécules herbicides coûte de plus en plus cher (40 millions de dollars en

Le plancton marin monte la garde dans tous les océans. ▼



Cette image, reconstituée par ordinateur, permet la visualisation d'une tumeur sur la moëlle épinière. ▼



■ **Les technologies actuelles nous permettent d'imaginer facilement la fabrication des arbres en plastique; il est beaucoup plus difficile de se représenter un écosystème complet, qui pourrait définitivement couper le cordon ombilical avec la Terre.**

■ **S'il est possible d'envisager de créer une techno-nature artificielle, il ne faut pas sous-estimer les capacités de réaction du vivant aux manipulations externes.**

moyenne) et tend à impliquer des composants chimiques toujours plus puissants. Les stratégies de court et moyen terme se concentrent sur l'extension du marché des pesticides à large spectre d'action, qui

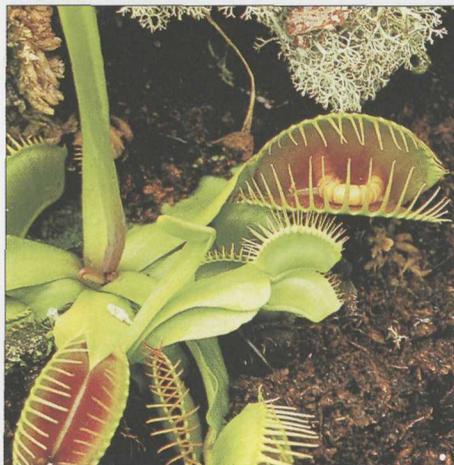


▲ L'Organisation de Conservation des Espèces protège plantes et animaux, même ceux sans défenses.

sont déjà commercialisés pour certaines cultures naturellement tolérantes. Cette extension du marché des herbicides est estimée à deux ou trois milliards de dollars dans les années 2000.

Les armes des plantes sont parfois bien cachées. Chez certaines, des gènes dont l'expression était faible, voire inexistante, se trouvent stimulés en cas d'attaque. Soit ils renforcent les parois des cellules végétales, évitant ainsi le passage du parasite d'une cellule à l'autre, soit ils bloquent le développement des parasites par la production de phytoalexines, soit encore ils le neutralisent par la sécrétion d'une protéine inhibitrice d'enzymes servant à sa digestion. De nombreuses entreprises cherchent à identifier et à isoler les gènes responsables de l'expression de ces protéines de défense. Il devient alors possible de renforcer les défenses à titre préventif, ou de développer une production de ces protéines en fermenteur. Mais ces extraordinaires capacités de réaction du vivant remettent constamment l'homme au défi de maîtriser la création. C'est un duel d'intelligence qui se déroule au long du siècle, ponctué de surprises, de catastrophes et de rebondissements.

Rigoureusement sélectionnées, les plantes carnivores n'atteignent deux mètres de haut que dans des laboratoires bien protégés. ▼



PRÉSERVER LE VIVANT DEVIENT UNE IMPÉRIEUSE NÉCESSITÉ

La sélection des éléments les plus performants réduit la diversité des sources génétiques, ce qui pourra se révéler dangereux si l'on n'y prend pas garde. Voici venue l'ère du désaisissement.

Premier risque direct : l'introduction d'un nombre limité de gènes commercialement intéressants dans un très grand nombre d'espèces cultivées différentes peut fragiliser l'ensemble de ces espèces si des

Tous les moineaux
périraient si les chats
avaient des ailes.
Proverbe danois.

mutations indésirables affectent certains de ces gènes. C'est ainsi qu'on a vu aux Etats-Unis dans les années 1970, un maïs hybride présenter une rouille des épis qui, en quelques mois, a conduit à des catastrophes économiques. Cette maladie a menacé d'extinction certaines espèces et fait flamber le prix des semences résistantes.

C'est là un exemple frappant d'un risque induit, nouveau et beaucoup plus grave : la vulnérabilité génétique par réduction de la diversité. Aujourd'hui encore, 40% des surfaces cultivées en maïs aux Etats-Unis sont issues de six lignées pures seulement. Un risque non négligeable d'uniformisation des cultures et d'appauvrissement de la diversité biologique existe réellement. Fragilisée par la mise au point de plantes aux patrimoines génétiques

uniformisés, négligée du fait de la surexploitation d'espèces aux rendements élevés, la diversité biologique figure parmi les thèmes majeurs du vingt-et-unième siècle. Réserves et jungles protégées fleurissent.

La diversité biologique est une grande richesse que l'homme a su, de longue date, exploiter. Douze mille espèces végétales étrangères ont été introduites en Europe, dont les principales céréales et les plantes

à tubercules. Dans les Iles Britanniques, par exemple, les espèces importées l'emportent en nombre sur les espèces natives. Les meilleurs gardiens de cette diversité sont aujourd'hui les sélectionneurs, qui l'utilisent au quotidien pour l'amélioration des espèces.

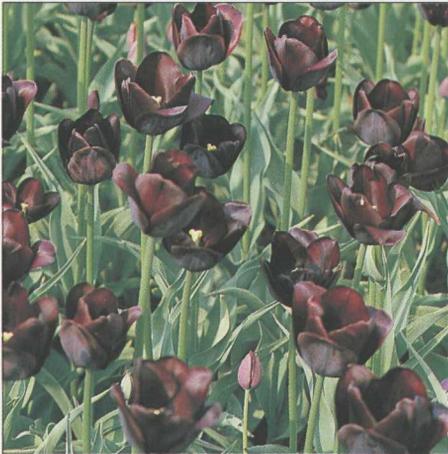
Pour l'essentiel, nous ignorons encore beaucoup de cette diversité. Il est même difficile de la quantifier puisque nous ne connaissons que très vaguement le nombre d'espèces qui vivent sur la Terre : selon toute probabilité, il est compris entre cinq et.. trente millions. Qu'en connaît-on ? Environ 1,6 million d'espèces ont été nommées et décrites depuis Linné, dont les deux tiers

dans les pays tempérés, lesquels ne constituent manifestement pas les territoires les plus riches. Selon certaines estimations, entre trois et vingt-cinq millions d'espèces tropicales et subtropicales sont encore à décrire, tandis que les espèces marines sont presque totalement à découvrir. La diversité du vivant n'a pas fini de nous étonner !

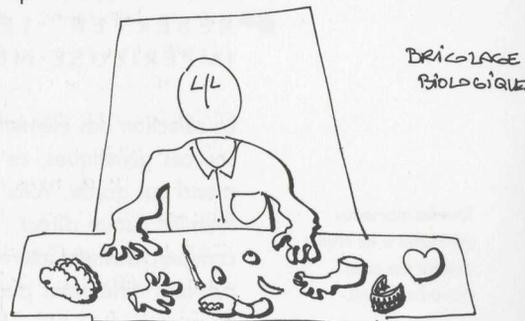
Face à cet inventaire incomplet, la tentation existe de considérer que les espèces encore inconnues ne présentent que peu d'intérêt au regard des grands équilibres et qu'il convient, comme par le passé, de laisser jouer la sélection naturelle. Après tout, elles



▲ La diversité des fruits et leur recombinaison avaient déjà inspiré Arcimboldo.



▲ La tulipe noire, une espèce inventée, se sent encore bien seule.



■ **Plus de 99,99% des espèces ayant existé sont aujourd'hui éteintes. Ainsi va la vie : au niveau des espèces, comme des individus, la mort fait partie du processus du vivant.**

■ **Négligée du fait de la surexploitation d'espèces aux rendements élevés, la diversité biologique figure parmi les thèmes majeurs du vingt-et-unième siècle. Réserves et jungles protégées fleurissent.**

■ **Les méthodes de protection *in vitro* doivent être complétées par des méthodes de conservation *in vivo* dans des "réserves" écologiques.**

ont conduit, à travers quatre extinctions massives depuis cinq cents millions d'années, à la diversité génétique actuelle : plus de 99,99% des espèces ayant existé sont aujourd'hui éteintes. Ainsi va la vie :

au niveau des espèces, comme des individus, la mort fait partie du processus du vivant. Elle lui est nécessaire. La disparition des dinosaures, il y a soixante millions d'années, a permis, indirectement, le développement des petits mammifères. Mais il faut remarquer que les échelles de temps n'ont rien à voir : l'homme modifie l'environnement de manière très rapide, en un très court instant à l'échelle des temps géologiques.

L'autre tentation, d'inspiration intégriste, est celle du moratoire : ne plus rien faire, interdire toute expérimentation génétique et préserver dans des banques les différents plasmas germinatifs dans l'attente d'un renforcement de nos connaissances, qui est freiné par là même. Rien ne se fait de bon à partir de la peur.

La biologie du vingt-et-unième siècle se doit de résoudre ce problème. Cette nécessité signifie que les sciences de la vie, botanique et zoologie, l'exploration et la découverte des espèces vivantes de la Terre, seront des disciplines vitales pendant longtemps encore. Un siècle n'est pas de trop pour inventorier trente millions d'espèces. L'agriculture doit, quant à elle, gérer la diversité biologique comme elle n'avait pas encore appris à le faire.

Les biotechnologies peuvent se révéler de puissants alliés d'une défense de l'environnement accompagnant la dynamique de la nature. Les progrès les plus assurés de conservation des espèces végétales ont été réalisés depuis une trentaine d'années grâce aux techniques de cryopréservation des semences et des embryons somatiques végétaux, de culture de tissus et de régénération des plantes. Des banques de conservation de souches génétiques existent depuis la fin du dix-neuvième siècle, la première ayant été créée à Prague. La plus ancienne des Etats-Unis, à Fort Collins, regroupe plus de deux cent mille variétés de graines de deux mille espèces différentes (ce qui est extrêmement peu). De nombreuses autres existent de par le monde, et une réelle prise de conscience s'amorce, mais les moyens manquent parfois. De plus, les pays du tiers monde se montrent souvent plus attirés par la sélection et l'adaptation de souches rentables que par la conservation pure.

Les méthodes de protection *in vitro* doivent être complétées par des méthodes de conservation *in vivo* dans des "réserves" écologiques. On s'est toutefois aperçu depuis 1975 environ qu'il ne servait à rien de créer des réserves naturelles isolées et qu'il valait mieux répartir plusieurs biotopes reliés entre eux par des sortes de corridors, constituant un véritable "réseau de nature".

Là aussi, le vingt-et-unième siècle correspond à un tournant majeur. Le phénomène des réserves naturelles s'amplifie. Une partie au



▲ La conservation du patrimoine génétique devient impérative au vingt-et-unième siècle.

moins du continent antarctique est considérée comme zone naturelle et inviolable. Après les désastres écologiques qu'ont subis les pays de l'Est, les réserves nationales deviennent une des priorités des nouveaux gouvernements, qui, de surcroît, ont à faire face aux pressions populaires en matière d'environnement.

L'Organisation de Conservation des Espèces (OCE) est créée en 2025 : il a fallu longtemps pour que l'homme voie là un sujet plus important que la conservation des monuments. L'OCE finance alors un réseau mondial de biobanques, conservatoires du patrimoine génétique.

L'HOMME DOIT MAÎTRISER LES POSSIBILITÉS QUE LUI OFFRE LA TECHNOLOGIE

Enjeux à la fois commerciaux et socio-culturels, les biotechnologies révèlent des aspirations contradictoires : vivre plus longtemps, maîtriser la reproduction, améliorer les productions, expérimenter sur le végétal, l'animal et l'homme, mais également, respecter la vie, ne pas considérer le vivant comme un esclave, protéger l'environnement et la diversité du patrimoine génétique.

Malgré ses réticences devant les possibilités, la société exige beaucoup de la science du vivant. Les prouesses de la médecine conduisent à considérer une mort précoce comme une injustice sociale ou une faute professionnelle du médecin. La mort était au vingtième siècle un tabou si mal assumé qu'on laissait se multiplier des acharnements thérapeutiques, voisins de la torture. Elle est progressivement réintégrée, acceptée comme un aboutissement, un nécessaire passage de la grande loi du vivant. Mais la question de fond pour le vingt-et-unième siècle est bien celle d'une définition de la personne humaine.

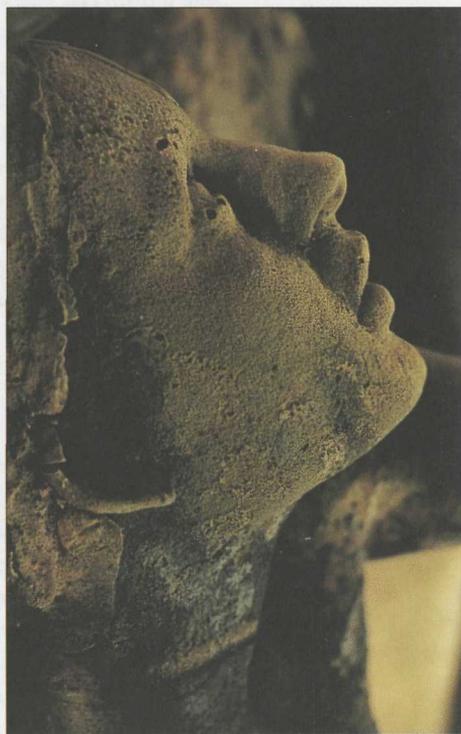
Des "comités biomoléculaires", des décrets et parfois même des lois - comme au Danemark par exemple - tentent de contrôler, voire d'interdire, les relargages dans la nature de micro-organismes manipulés ou l'utilisation de plantes transgéniques *in vivo*.

Et pourtant les consommateurs apprécient goût, forme et texture des pommes-oranges...

Les nations occidentales ont déjà rencontré ce type de problème avec les différentes législations sur la contraception et l'avortement. L'opinion publique a pesé alors d'un poids considérable dans ces débats. Elle joue un rôle équivalent dans l'imposition d'interventions géniques ou de programmes de recherche concernant la santé humaine.

On peut même imaginer, dans certains cas, un refus pur et simple. Après une période d'incubation et de réflexion, des réglementations extrêmement rigoureuses interdisent les expériences sur le vivant, sonnont le glas des recherches et des développements in-

*Tu es fils des morts
et tu boiras la même eau
qu'eux.
Proverbe arabe.*





▲ Le regard focalisé sur l'œuf va devoir s'élargir à l'humain.

dustriels. Sous la pression des écologistes, et à la suite d'accidents survenus lors d'expériences *in vitro* ou *in vivo*, l'opinion publique se mobilise pour imposer des moratoires.

Dans ce cas, ne subsisteraient en 2020 des recherches biotechnologiques actuelles que quelques produits à forte valeur ajoutée, impossibles à obtenir efficacement et à moindre coût par d'autres voies.

La montée en puissance des biotechnologies intervient brutalement, au moment où apparaissent des situations de rupture. Jusque-là, les grands groupes industriels ne dévient que lentement leurs activités vers les techno-

logies nouvelles. Quand les bouleversements surviennent, la réorganisation profonde des marchés les incite à basculer de manière rapide et définitive. Les situations de rupture déterminantes pour les biotechnologies sont celles qui amènent à la création d'environnements complètement nouveaux, d'une techno-nature "plus nature que techno", comme les planètes creuses de l'espace, de biotopes diversifiés créés pour cultiver certaines espèces, à la gestion des ressources hydriques, des espaces urbains, des problèmes démographiques...

Dans le domaine de la santé, apparaissent des appareils personnels d'autodiagnostic et d'automédication, qui permettent à l'utilisateur de s'affranchir des "prêtres" de la science médicale. Le problème du choix des interventions possibles se pose alors directement à l'utilisateur final et non en termes d'éthique sociale. Les nouvelles technologies du vivant permettent à l'homme de s'améliorer en s'automodifiant pour se doter

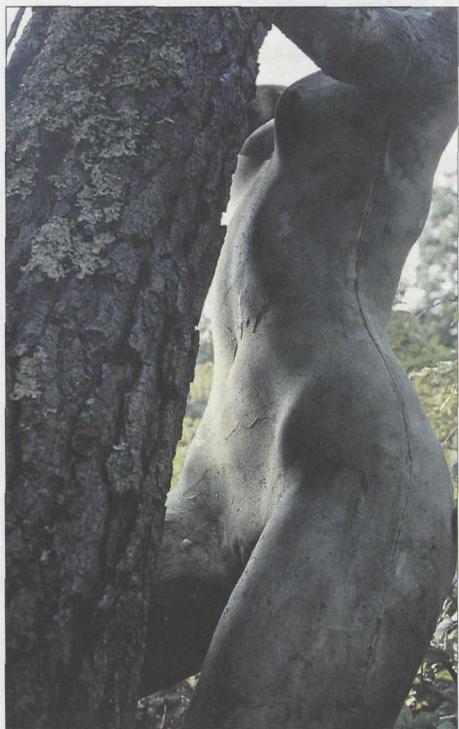
des capacités physiques qui lui manquent. Grâce aux organes artificiels, l'homme s'adapte à des conditions de vie nouvelles : voyages interplanétaires de très longue durée, conditions de vie sous-marine (la plongée profonde ouvre de nouvelles joies aquatiques à l'homme pourvu de branchies...), installation dans des environnements artificiels dont la programmation correspond à celle de ses occupants. Vision d'un ensemencement des étoiles par des hommes, des plantes et des animaux aux gènes mutés... A l'aube du vingt-deuxième siècle, nous ne sommes pas loin de concrétiser ces visions.

L'homme sort de l'aventure biotechnologique plus puissant peut-être, mais surtout investi de responsabilités qui, autrefois n'appartenaient qu'aux dieux. Plus encore que l'intelligence scientifique et technique, c'est l'intelligence du cœur et l'éthique qui sont sollicités par la révolution des biosciences. Les temps prométhéens s'achèvent. Ici commence le règne de Gaïa, la nature, mère de toutes choses. ■

■ *L'homme sort de l'aventure biotechnologique plus puissant peut-être, mais surtout investi de responsabilités qui, autrefois, n'appartenaient qu'aux dieux.*

■ *Plus encore que l'intelligence scientifique et technique, c'est l'intelligence du cœur et l'éthique qui sont sollicités par la révolution des biosciences.*

■ *Malgré ses réticences devant les possibilités, la société exige beaucoup de la science du vivant.*



C

**De tous temps,
les techniques
ont été organi-
sées selon un**

h

a

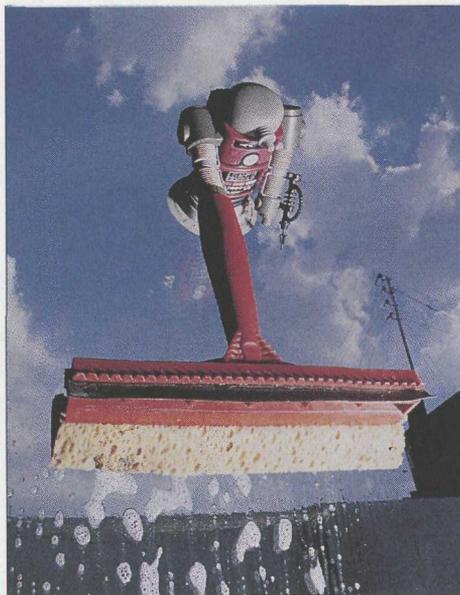
**système cohérent, en relation étroite
avec les structures sociales et l'ensem-
ble des croyances. C'est bien compré-
hensible : la technique sert à survivre.
Elle constitue une infrastructure sur
laquelle la société se bâtit. Mais elle
est orientée par la volonté humaine,
produite en rêve avant de s'incarner
dans des objets. L'anticiper, c'est donc
combiner le rêve et la nécessité, et
estimer la rapidité des changements.**

**Le machinisme
et après ...**

p i t r e 9



Après l'ère du machinisme vient la société de l'intelligence. Le machinisme, dont l'origine remonte au siècle des Lumières, arrive à son apogée avec le robot. La production, alors, peut se faire presque sans hommes. Le lieu de production se trouve évacué. La société de l'intelligence se construit donc autour du traitement de l'information, sous toutes ses formes. La communication, la programmation, le commerce, les banques, les assurances, l'éducation, le design, la conception, la recherche, les loisirs, l'art sont les nouveaux pôles d'activité. Ils sont bien loin de ceux de l'ancienne société ouvrière de production : le charbon, l'acier, la mécanique, la chimie... Mais la substitution s'étend sur plusieurs décennies. Après deux siècles d'industrialisation, il faut aussi des délais de l'ordre du siècle pour que le système nouveau révèle toutes ses possibilités. L'année 1983, bicentenaire de l'envol de l'homme (les premières montgolfières apparaissent en 1783) est aussi celle où arrivent sur le marché la vue artificielle (pour les robots), l'ouïe artificielle (avec la reconnaissance de la parole), le son artificiel (téléphone numérique et disque compact) et le dessin artificiel (conception assistée par ordinateur ou CAO). L'écriture devient digitale et audiovisuelle. La civilisation est touchée en son centre. Sa mémoire change de forme. La relation au temps, à la reproduction, est atteinte. Les organisations humaines deviennent neuromimétiques.



▲ Le laveur de vitres est, parfois, un court instant, saisi d'étranges vertiges.

L'ILLUSION DE LA COMPLEXITÉ

L'industrie du recyclage permet désormais de trier les bonbons pour présenter enfin des paquets de couleur uniforme. ▼



Les philosophes de la fin du vingtième siècle ont pris l'habitude d'agiter la complexité comme un épouvantail. Elle serait la cause de tous nos maux. Leur solution est paradoxale. Face à une situation complexe, il faudrait, pour s'en sortir, la compliquer encore.

C'est une brillante invention que ce mot, qui profite avant tout aux marchands d'illusion. Il recèle une manière sophistiquée de dire au public qu'il vaut mieux ne pas chercher à comprendre, que les choses sérieuses doivent être laissées aux gens sérieux, même si eux non plus ne comprennent pas très bien. C'est la dernière manœuvre d'intimidation intellectuelle d'une effendia qui se sent vaciller.

Nos ancêtres, qui vivaient dans les savanes, étaient face à un univers tout aussi complexe que le nôtre. Ils faisaient de leur mieux pour capitaliser leur expérience, transmettre leur connaissance, inventer des explications mythiques. Mais, face aux centaines de milliers d'espèces animales et végétales, aux aléas du climat et aux ruses du gibier ou des prédateurs, il fallait un jugement ferme, rapide et de bons réflexes pour arriver à s'en sortir. Combien de nos contemporains seraient encore capables de survivre dans ces conditions ?

Il y a de fausses vérités et de vrais mensonges.
Proverbe tzigane.

■ **L'écriture devient digitale et audiovisuelle. La civilisation est touchée en son centre. Sa mémoire change de forme.**

■ **La complexité profite avant tout aux marchands d'illusion. C'est une manière sophistiquée de dire au public qu'il vaut mieux ne pas chercher à comprendre.**

■ **La complexité de la techno-nature est identique à celle de la nature. Elle donne l'impression qu'elle s'ajuste aux capacités humaines.**

La complexité ne date donc pas d'hier. Ce qui est nouveau et marquant, c'est son caractère artificiel. En fait, la complexité de la techno-nature rejoint celle de la nature. Elle donne même parfois l'impression de s'ajuster aux capacités humaines.

Ainsi on estime que le panorama complet de la technique moderne est couvert par environ six millions de mots. C'est un ordre de grandeur voisin du nombre d'espèces naturelles. La technologie peut être comparée à un grand écosystème, dans lequel chaque objet aurait sa niche écologique. Mais les capacités des groupes humains n'atteignent pas cet ordre de grandeur. Les langages les plus élémentaires, tels que le Basic pour communiquer avec les ordinateurs, ne comportent que soixante mots. Il en faut dix fois plus (six cents) pour se débrouiller dans la rue en pays étranger. Six mille mots sont à la portée d'un individu, soixante mille d'une culture, six millions de l'espèce humaine toute entière. Une langue naturelle (l'anglais, le français, le chinois...) comprend environ soixante mille mots, cent fois moins. Le vocabulaire d'un homme cultivé, romancier ou expert, est dix fois plus réduit : six mille mots. Un supermarché gère un catalogue de douze mille références, mais un très grand magasin (Le Grand Passage, à Genève ou Macy's, à San Francisco) en a quatre cent mille. Se dessinent donc des ordres de grandeur de la complexité.

La complexité technologique semble, mais semble seulement, faire reculer les limites : le microprocesseur de l'an 2000 comporte cent millions de transistors et sa capacité double toujours tous les ans.

La complexité se traduit aussi de manière dynamique, en nombre de cycles par unité de temps, et en diversité des cycles. Or les moteurs tournent de plus en plus vite (des dizaines de milliers de tours par minute), les lignes de communication transfèrent des millions d'informations élémentaires par seconde, ce seront bientôt des milliards.

Les objets techniques se miniaturisent, chaque composant ou connexion doit occuper un espace toujours plus petit ; cette évolution est d'ailleurs nécessaire pour la montée en performances, car la vitesse de la lumière restant indépassable, les quelques centimètres

finissent par compter pour des signaux à plusieurs gigahertz. La machine se ferme donc sur elle-même : d'abord pour gagner en efficacité, pour se "concrétiser", dit Simondon¹. Ensuite pour mieux protéger ses parties les plus fines ; des pièces de base de quelques microns sont très fragiles à la poussière et même aux rayons cosmiques ;

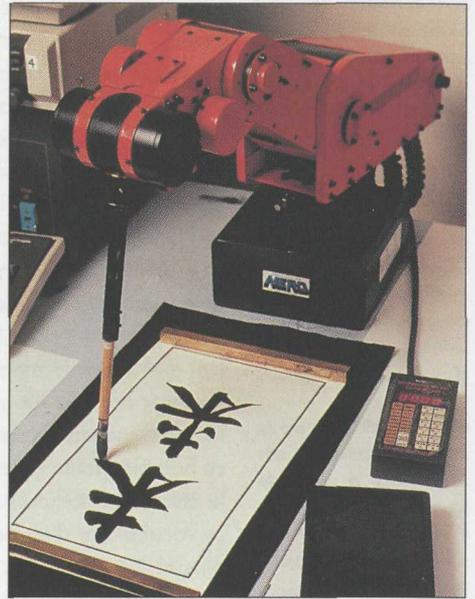
Les prélèvements marins sont effectués à l'aide de bras manipulateurs. ▼



¹ Gilbert Simondon, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier, Paris, 1989.

des impulsions électriques de quelques picosecondes sont sensibles aux interférences électro-magnétiques. Elle se ferme enfin, pour simplifier l'image de la complexité aux yeux des êtres humains, peu aptes à l'appréhender directement. La machine du dix-neuvième siècle était fascinante à voir, car elle montrait ses mécanismes : la passion de quelques amateurs pour la locomotive à vapeur en témoigne encore aujourd'hui ; par contraste, le micro-ordinateur frappe par la banalité de ses formes comme de ses couleurs : c'est devenu de la matière... grise.

Corrélativement, les échanges avec l'extérieur s'organisent et passent par l'intermédiaire d'interfaces de plus en plus sophistiquées, qu'il s'agisse de communiquer avec les êtres humains ou avec le monde matériel. Sur le petit écran, la couleur et le mouvement fleurissent. Le conducteur d'une machine mécanique classique ne disposait que de quelques manettes, de quelques voyants ; les pilotes d'un Airbus ou d'une usine doivent prendre en compte des milliers d'informations complexes. Pour qu'ils en tirent parti, leur présentation synthétique doit être soignée. Et ils s'entraînent avec un simulateur, précurseur de la génération des machines illusoires.



▲ La calligraphie d'idéogrammes reste à l'état de prototype.

D E L'AUTONOMIE À L'INITIATIVE, L'OBJET

Complexes, fermées, "intelligentes", les machines affirment chaque année plus nettement leur autonomie. L'outil primitif, simple prolongement matériel de la main, s'organise en plusieurs pièces, puis se pose sur le sol, reçoit une énergie d'abord externe (poulies des usines mécaniques jusqu'aux années 1940), puis interne (moteurs électriques et thermiques dans chaque machine), et enfin témoigne de comportements de plus en plus indépendants. Aux yeux de tous, le robot exprime matériellement l'autonomie, éventuellement inquiétante, d'une machine presque intelligente.

Mais, malgré son caractère abstrait, c'est le concept "d'objet" au sens informatique qui est le plus porteur des évolutions profondes de la machine. L'objet est apparu dans le langage Smalltalk développé par Alan Kay chez Rank Xerox dans les années 1970. N'essayons pas trop de le définir ici : les spécialistes eux-mêmes s'en gardent bien... du moins quand ils sont ensemble. Tels les oracles d'autrefois, les experts ne peuvent se regarder sans rire. Disons qu'il s'agit de quelque chose que l'on appelle et que l'on manipule dans un système informatique. Par exemple un programme, ou un ensemble de données, ou une image... Un objet est créé, supprimé, activé. Il porte un nom et il est souvent représenté par un petit dessin, une "icône". Les objets communiquent entre eux au moyen de messages. La programmation par objets consiste précisément à concevoir ces

*La forteresse s'écroule par l'intérieur.
Proverbe géorgien.*

messages et les actions qu'ils déclenchent chez l'objet récepteur. Les objets sont donc actifs : ce sont en quelque sorte des machines purement logicielles. Une telle activité conduit à une autonomie croissante, une capacité d'initiative. Celle-ci n'est que trop bien attestée par une catégorie perverse d'objets : les virus informatiques qui polluent et détruisent les programmes en se reproduisant. Ceux-ci ne sont pas un épiphénomène, une épine agaçante fichée dans le pied d'une informatique pure et dure. L'apparition du virus témoigne de la richesse désormais atteinte par les systèmes informatiques et, sous un angle particulier, de leur convergence avec le biologique.

Les virus informatiques de l'an 2100 sont plus dangereux que jamais. Mais ils ne sont plus qu'une forme perverse de ces milliards de composants logiciels qui constituent l'essentiel des systèmes informatiques. D'où une évolution profonde du rôle du concepteur, décrite sous l'angle technique par les travaux de Meyer¹. Il doit certes concevoir des objets, mais la plus grande partie d'entre eux pré-existent. Qu'ils soient déjà actifs dans le monde où le concepteur doit intervenir, ou qu'ils puissent être puisés dans une bibliothèque d'objets. Il suffira de les concrétiser. Une grande part du travail consiste donc à organiser la société des logiciels, qui sont des êtres intermédiaires quasi vivants, artificiels.

LA COMPLEXITÉ DE L'ILLUSION

Malgré ce qui précède, il faut reconnaître à l'idée de complexité un certain fondement, sur lequel il importe alors de ne pas se tromper. Plutôt que de complexité, il serait plus juste de parler de perplexité. Dans sa tentative pour saisir et dominer le réel, l'esprit se retrouve confronté à ses propres limites. Il doit s'interroger sur lui-même, remettre en cause ses propres fonctionnements. De fait, ils sont remis

Les robots n'aiment pas les images du passé, lorsque l'homme faisait leur travail. ▼



en cause par les fabricants d'illusion. Au début des années 1980, Yves Lecerf, professeur d'université, à la fois ethnologue et informaticien, étudie les sectes. Il entreprend, par dérision, de construire un prédicateur automatique. Il s'agit d'un ordinateur parfaitement ordinaire dans lequel sont stockées quelques dizaines de phrases toutes faites, prises dans le discours d'une des sectes étudiées. De surcroît, il programme aussi cette machine pour le dialogue. Lorsqu'une question est posée, elle repère les mots correspondant au vocabulaire enregistré, et répond d'une phrase toute faite les contenant. S'il n'y en a pas, elle demande de préciser la question. Au-delà de cinquante phrases enregistrées, l'illusion du dialogue est bonne, au-delà de cent, elle est presque parfaite. Est-ce seulement une farce ou le signe d'une question plus profonde ?

■ **Le robot exprime matériellement l'autonomie, éventuellement inquiétante, d'une machine presque intelligente.**

■ **Une grande part du travail consiste à organiser la société des logiciels : ils sont devenus des êtres intermédiaires quasi-vivants, artificiels.**

■ **Le prédicateur automatique répond d'une phrase toute faite. L'illusion du dialogue est presque parfaite.**

¹ Bertrand Meyer, *Object-oriented software construction*, Prentice Hall, 1989.

Cent phrases, c'est très peu. Par ce moyen ou d'autres, voisins, on peut fabriquer non seulement des prédicateurs, des voyants, des astrologues, mais aussi des hommes politiques (d'autant plus facilement que leur parti a une doctrine simple, ferme et claire), des psychanalystes (ce qui a été réalisé aux Etats-Unis) ou encore des "experts" de domaines variés. L'art de l'illusion est là, tout près, à portée de n'importe quel programmeur facétieux. Dès lors, l'image de l'esclave mécanique docile, voire servile, la chose sans initiative ni répartie obéissant au doigt et à l'œil, doit être complètement révisée. Le début du troisième millénaire est plein de robots certes, mais ce sont des robots illusionnistes, fascinants, séducteurs, endoctrineurs et provocants. Auprès d'eux, le pouvoir de fascination des jeux vidéo ou de simulation, comme le célèbre Donjons et Dragons, est un pâle et maladroit exercice de débutant.

La génération des machines psychophages est à peine commencée. Elle se déploie en simulateurs et configureurs d'ambiance. Le cinéma en relief et holographique sur géode est le précurseur des machines hallucinogènes. Image et son se présentent alors tous deux en relief. Des expériences permettent d'anticiper d'autres étapes, à la fois fascinantes et inquiétantes.

A la fin du vingtième siècle, la Nasa, sous prétexte d'entraîner ses pilotes, a mis au point un casque et un gant. Ceux-ci n'ont pas pour rôle de protéger, mais de plonger celui qui les porte dans un univers imaginaire. Le casque est en effet muni de petits écrans de télévision, qui présentent une image à chaque œil. Le gant est bourré de capteurs, qui enregistrent les mouvements de la main. Les uns et les autres reliés à un ordinateur, dans la mémoire duquel se trouve cet univers. Quand le sujet remue la main, il la voit bouger dans le casque. Mais elle touche et elle interagit avec des objets virtuels, qui n'existent qu'en mémoire machine. De la sorte, l'homme se trouve acteur d'un univers imaginaire, dont il apprend vite les règles. La possibilité d'agir multiplie en effet la vitesse d'apprentissage.

Cette plongée dans l'illusion a été poussée plus loin par Alan Kay, avec l'idée de vivarium. Le vivarium est un écosystème modélisé dans une mémoire informatique, avec des algues, des roches et des poissons. Il apparaît sur écran. Ce n'est pas seulement pour le spec-

tacle, car l'utilisateur est actif. Il peut se mettre ainsi aux commandes d'un requin. L'écran lui présente alors tout le vivarium vu par le requin. Il peut se déplacer, en commandant à sa monture. Mais s'il demande au squalo des mouvements contraires à sa nature, ces derniers ne seront pas



■ **Le début du troisième millénaire est le domaine des robots illusionnistes, fascinants, séducteurs, endoctrineurs et provocants.**

■ **L'homme se trouve acteur d'un univers imaginaire, dont il apprend bien vite les règles.**

■ **Les jeux pédagogiques se sont ensuite multipliés, la société d'enseignements s'avance.**

Le chat-robot est resté très affectueux. ▼



LE VIVARIUM : S'ÉCLATER OU IMPLOSER ?

C'est dans le monde totalement synthétique des "vivariums" (inventés par Alan Kay) que se déploie au cours du vingt-et-unième siècle une grande part de notre activité.

Matériellement, il s'agit de reconstituer autour de nous un univers complet et tridimensionnel, soit par affichage sur toutes les parois d'une pièce, soit par le port d'un casque avec un petit écran vidéo pour chaque œil (un walkman vidéo, en quelque sorte). Pour se déplacer et pour agir dans ce monde, on enfile des gants (ou mieux, une combinaison complète) munie de capteurs qui repèrent tous les mouvements et de dispositifs qui, autant que possible, donnent des sensations, notamment des impressions d'effort conformes aux réactions du monde artificiel où l'on s'est aventuré.

Ce monde est habité par des humains, par des êtres imaginaires, trouvés dans des bibliothèques d'objets, d'animaux ou de personnages, ou encore créés et animés en temps réel par d'autres "joueurs" qui partagent le même monde virtuel (mais qui peuvent être physiquement très éloignés de nous). Ces "êtres" sont des objets informatiques, données et programmes, qui peuvent donc se stocker ou se transmettre sur des supports magnétiques.

Réalisé en prototype dès la fin des années 1980, le vivarium est devenu abordable au commun des individus vers la fin du siècle, et se perfectionne constamment : visualisation de plus en

plus réaliste, richement colorée et en relief, espace sonore subtil, sensibilité des capteurs, variété des mondes et des êtres, intelligence des personnages, richesse des interactions.

Le vivarium permet à chacun de s'exprimer dans des transpositions de plus en plus lointaines. On commence par s'y matérialiser "naturellement", puis on se transpose, devenant un requin, un astéroïde, un globule blanc, un robot industriel... Ces mondes virtuels traduisent nos goûts, nos fantasmes. On peut donner libre cours à ses pulsions les plus extrêmes, sans danger physique pour soi-même ni pour ses partenaires.

Mais les dangers psychologiques ne sont que trop confirmés par les faits, comme l'ont montré des précurseurs ludiques comme Donjons et Dragons. Certains s'enferment dans un monde rose et perdent le courage d'affronter le réel. D'autres poussent la violence ou l'éros jusqu'à la folie. D'autres encore introduisent des virus perturbateurs et subtilement destructeurs. D'autres entrent avec leurs partenaires dans des jeux de pouvoir et de domination/soumission qui ne font que se renforcer jusqu'à devenir des drogues.

Ainsi, c'est à eux-mêmes, à leur intériorité, que l'extrême liberté de ces nouveaux espaces renvoie les hommes, individus et groupes sociaux. Eclatez-vous... mais attachez vos ceintures avant le décollage. Sinon, c'est l'implosion qui vous attend !

exécutés ou feront l'objet de résistances. Ainsi, il apprend, de façon empirique, par l'action, l'éthologie du requin, il entre dans sa peau. Ici, non seulement l'univers est imaginaire, mais il simule le vivant, grâce à l'intelligence artificielle, dont les "objets" - mais peut-on encore parler d'objets ? - ont été dotés.

Le robot n'est plus un exécutant, serviteur zélé et fidèle. C'est un être multiforme, qui, peu à peu, entoure l'homme, occupe ses perceptions, investit ses sens et le soumet à des règles contextuelles contre lesquelles il ne peut rien. La manipulation de l'homme par l'homme est en marche. On en perçoit ici la nature profonde : plonger l'individu dans des contextes où il peut se mouvoir et agir, mais en respectant des règles préprogrammées. Ces règles sont en fait ce qu'on veut lui apprendre. Tout commença d'abord avec l'entraînement des pilotes d'avions et d'engins militaires. Dans des situations où la moindre erreur peut être fatale, ne faut-il pas chercher à éduquer le mieux possible les réflexes ? Puis vint la simulation de gestion d'entreprises avec les "business games". Les jeux pédagogiques se sont

*On n'apprend rien
qu'à force de se tromper.
Proverbe turc.*

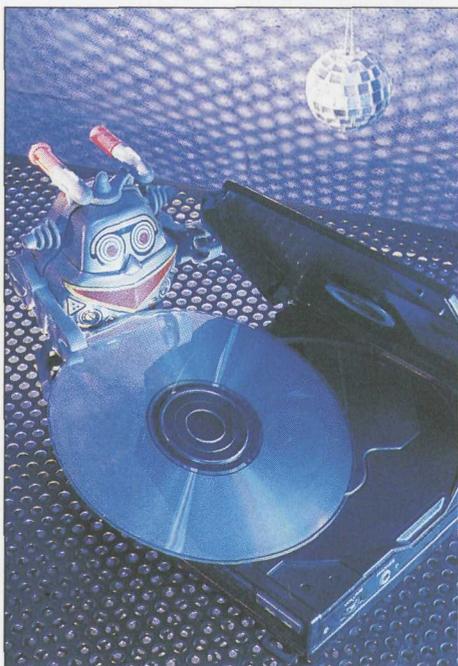
ensuite multipliés. Tout converge vers une manipulation généralisée où manipulateur et manipulé sont tous deux consentants. La limite et le renversement de cette évolution apparaissent lors de la manifestation des premiers troubles psychiques. On ne se prend pas longtemps pour un requin sans que les premiers symptômes évocateurs n'apparaissent rapidement. Dès le début du troisième millénaire, on croise dans la rue des êtres humains zombifiés par des apprentissages trop efficaces. On voit alors jusqu'où on est allé trop loin. En même temps, on dispose des outils nécessaires pour lancer l'industrialisation des connaissances, la grande révolution pédagogique des années 2020 à 2060.

COPIER LA NATURE OU BIEN INNOVER RADICALEMENT ?

De tout temps, l'homme a cherché à innover en copiant la nature. Il suffit d'aller voir l'avion de Clément Ader au Conservatoire des arts et métiers, à Paris, pour s'en convaincre. L'inventeur a copié la nature avec la forme des ailes, la géométrie générale de la machine et le remplacement du bois plein par des assemblages creux, pour gagner en rigidité et en poids. Néanmoins, il a renoncé au battement des ailes, qui s'est révélé aussi inefficace que les pattes pour les véhicules terrestres, au profit de l'hélice.

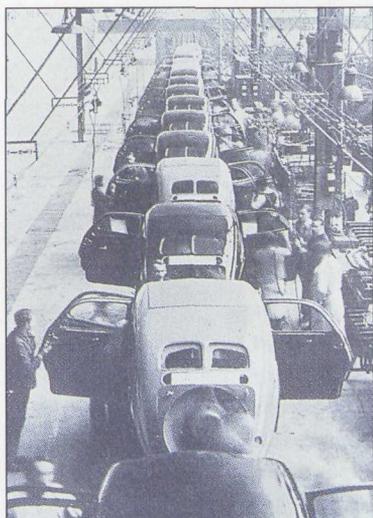
Le progrès des robots industriels, ou des engins de terrassement, obéit aussi à ce double processus. L'organisation des bras et la position des vérins s'est, au fil des ans, rapprochée du type d'articulation et de motricité que l'on trouve chez les animaux. Mais les dimensions, les matériaux, les formes d'énergie restent très éloignées du biologique. C'est dans le domaine de l'"intelligence artificielle" que

*Pour tenir compte
de petits problèmes
de maintenance,
les disques laser de 2017
ne se rayent plus. ▼*



la combinaison des deux mouvements est la plus intéressante à suivre. Cette expression indique l'imitation, par l'artifice, par la technologie, d'une de nos capacités les plus essentielles, l'intelligence. Ou, du moins, d'un certain nombre d'activités que l'on peut qualifier d'intelligentes.

Dans le domaine des jeux, et singulièrement dans celui des échecs, on voit la machine atteindre aujourd'hui le niveau des maîtres, au terme d'une évolution régulière qui devrait normalement la conduire à les dépasser. Mais, en même temps, la machine emprunte et utilise dans la plupart des cas des itinéraires différents de ceux des joueurs humains. Ainsi progresse la machine, à la fois en copiant la nature et en s'écartant d'elle, que ce soit pour ses organes matériels ou pour ses fonctions du plus haut niveau. Tantôt elle est si différente de nous qu'elle se fait monstrueuse, ou d'une abstraction in-



compréhensible. Tantôt elle nous rejoint si bien qu'un effort s'impose pour détecter le simulacre. A quelle date la machine atteint-elle le même niveau de complexité que le nôtre, au point que la différence ne soit plus perceptible, et que nous soyons distancés ? En 2050, affirmait le roboticien américain Hans Moravec. Jamais, tranchaient d'autres, pour qui l'homme est par essence transcendant à toute machine. Question mal posée, entend-on encore : la machine nous dépasse sur des fonctions définies, comme le calcul, mais reste en retard sur le global. Qui sait ? disaient les plus conciliants : à force de mettre le meilleur de nous dans nos créations, à force de faire converger le mécanique et le biologique... pourquoi ne nous rejoindrions-nous pas nous-mêmes ? Le débat oppose depuis vingt ans Feigenbaum et Dreyfus. Le premier dit que lorsqu'on aura découvert toutes les règles comportementales auxquelles obéit un être humain, on pourra faire un homme artificiel, et peut-être même plus, un Golem. Le second dit que, pour des raisons philosophiques, l'homme ne peut expliciter toutes ses règles. Mais l'un et l'autre se retrouvent à côté du berceau des machines dites connexionnistes, qui précisément semblent capables d'apprendre par l'expérience, mais sans qu'il soit nécessaire de leur énoncer des règles intelligibles. Ces machines sont neuromimétiques. Dans leur fonctionnement, elles s'apparentent à des organismes vivants : la machine devient "vivante". Et plus elles sont performantes, moins elles sont compréhensibles. Même les automates ont besoin d'un jardin secret.

*Pour bâtir haut,
il faut creuser profond.
Proverbe mongol.*

▲ *La chaîne s'est vidée de ses opérateurs humains.*

■ *La machine atteint aujourd'hui le niveau des maîtres et va normalement les dépasser.*

■ *A force de mettre le meilleur de nous dans nos créations, pourquoi ne nous rejoindrions-nous pas nous-même ?*

■ *Le robot permet la flexibilité, c'est-à-dire la diversité des produits, sans ralentir le rythme de la production.*

ROBOTS ET ATELIERS FLEXIBLES

Quelle que soit la passion du mécanicien, de l'ingénieur, de l'informaticien, la machine, au départ, fut faite pour produire. Après avoir produit en grande série des objets tous identiques (la même Ford T), le robot permet la flexibilité, c'est-à-dire la diversité des produits, sans ralentir le rythme de la production. L'automatisation "flexible" intègre l'ensemble des moyens de production : commandes, planifi-

COMPTE-RENDU DE VISITE (2037)

L'usine Tien-Hoa produit des sous-marins miniaturisés, de loisir, destinés à la pêche au gros et à l'aquaculture des jardins sous-marins, qui ont trouvé une large clientèle chez les retraités de Floride, de Tanzanie et de Nouvelle-Zélande.

Usine sans hommes, très compacte, elle rassemble une centaine de robots principaux, sans compter la maintenance et la coordination. Ils sont très divers. Les plus élaborés et les plus adaptables ont une apparence animale, voire humanoïde, avec leurs membres agiles et leur tête bardée de caméras et de capteurs. La plupart sont spécialisés : chariots de transfert, transtockeurs, fours à régulation intelligente, etc. Le contrôle de qualité est omniprésent, mais, comme nombre de fonctions essentielles, ne se laisse pas voir : la valeur de l'usine réside dans ses logiciels, non dans ses équipements matériels.

Les hommes ne viennent à l'usine que s'il est nécessaire d'intervenir physiquement pour reconfigurer les unités d'assemblage ou effectuer des travaux exceptionnels. En temps normal, les opérateurs travaillent depuis leur domicile, grâce à leur station de télésurveillance et de téléopération. Cette station comporte un "écran relief". Il peut fournir en mode interactif des descriptions volumiques des en cours de conception ou de fabrication. Il permet aussi la téléprésence aux réunions de travail.

les nôtres. Whittaker, chercheur au Carnegie Mellon University, considère que les robots voient mieux que nous, notamment parce qu'ils peuvent compléter la vision optique binoculaire (ou tri-oculaire) par des mesures au laser ou aux ultrasons. Et, pour traire les vaches, les robots ont su se faire en même temps assez durs pour résister aux coups de patte, et assez doux pour ne pas blesser les pis.

Les robots peuvent devenir beaucoup plus grands que l'homme. Au début du troisième millénaire, c'est le cas des engins de travaux publics, et aussi du matériel agricole, où la robotique a percé dès

avant l'an 2000. Ils peuvent également être beaucoup plus petits, tels le nanomoteur de la taille d'un cheveu qui anime un gratteur que l'on envoie déboucher les artères encrassées. Les robots nettoyeurs se multiplient. Certains font le ménage dans le métro, d'autres lavent les vitres des tours. Des nanorobots nettoient l'intérieur du corps humain. Certains robots travaillent isolément, éloignés de tout, dans des sondes d'exploration spatiale. Mais, en général, ils se regroupent en unités de production qui sont l'aboutissement de l'usine comme de l'artisanat d'hier.

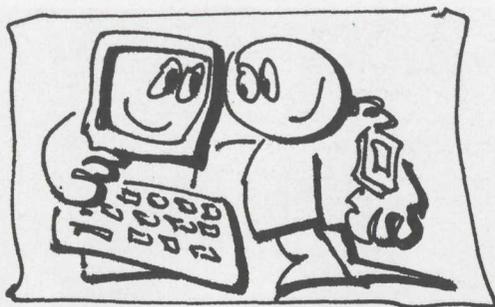
ception, ordonnancement, conception, programmation des machines, gestion des stocks, expédition, etc. C'est ce qu'on appelle la productique intégrée, ou encore le CIM (Computer Integrated Manufacturing). Ateliers flexibles, CAO, organisation et gestion JIT (Just In Time) s'y marient. Le progrès est plus ou moins rapide selon les secteurs économiques concernés. Automobile, appareils de communication, matériels électriques et électroménagers comptent parmi les secteurs les plus avancés. Mais les robots coûtent cher et sont encore longs à programmer. Leurs capacités potentielles sont immenses. On peut les équiper de capteurs plus sensibles que nos organes de perception et de muscles bien plus puissants que

L'allégorie du "Voyage fantastique" devient réalité dès 2015 avec les nanomoteurs. ▼

■ Un nanomoteur de la taille d'un cheveu qui anime un gratteur que l'on envoie déboucher les artères encrassées.

■ Les robots sont des "amplificateurs" qui dilatent nos possibilités naturelles ou compensent nos déficiences.





G.O. (GENTIL ORDINATEUR)

L'HOMME DANS LE MONDE DES MACHINES

Si les robots sont souvent présentés comme nos "alter ego", il existe aussi des machines qui nous prolongent, qui nous remplacent. Ce sont des "amplificateurs" qui dilatent nos possibilités naturelles ou compensent nos déficiences.

Le symbole même de l'amplificateur, c'est la voiture. Moyen de transport efficace (en général...), mais plus encore projection de la personnalité. Que deviennent les transports ?

ZOOLOGIE DES ROBOTS FIN DE SIÈCLE.

Les robots de 1990 sont toujours plus ou moins spécialisés, ne serait-ce que pour limiter les coûts. La plupart d'entre eux, par exemple, ne se déplace pas et donc, s'ils ont des bras, ils n'ont ni jambes, ni roues. Leurs champs d'activité sont divers :

- dans l'industrie, les robots manufacturiers (soudage, collage, peinture, assemblage, polissage, desserte, transport...) complètent d'autres systèmes automatiques (machines-outils à commande numérique, presses, machines à injecter, etc.) ;

- dans les milieux extrêmes, les robots déplacent la frontière de l'intervention humaine ; dans la plupart des cas, les robots sont téléopérés ou téléprogrammés, c'est-à-dire que l'homme et le robot communiquent et coopèrent ; le spatial fournit ainsi de très nombreux exemples de réalisations, dont les plus raffinées sont, en 1990, les sondes interplanétaires ;

- le monde sous-marin accueille les robots, même si le plongeur humain a pu pénétrer jusqu'aux profondeurs importantes dont l'exploitation pétrolière réclamait la maîtrise ;

- le monde nucléaire est un de ceux où les robots sont les plus utiles ; les chaînes de traitement des déchets, qui doivent assurer auto-maintenance et

démantèlement en fin de vie, les utilisent de façon intensive ;

- pour la défense, les robots les plus courants s'appellent missile autoguidé, torpille intelligente, missile de croisière, robots d'intervention pour désamorcer des colis piégés, repérer explosifs et armes, être les éclaireurs du danger ;

- dans les mines comme en agriculture, l'automatisation du machinisme conventionnel se poursuit régulièrement. Les robots de cueillette sortent des laboratoires et un robot tond des moutons (volontaires !) en Australie ;

- le robot est également présent à l'hôpital. Malgré de nombreuses tentatives, l'orthèse ou la prothèse intelligente ne trouvent pas de vastes marchés. Certaines machines de "monitoring" ou organes artificiels peuvent déjà être considérés comme des robots ; on voit aussi des robots en chirurgie ;

- dans la vie domestique, le robot ménager n'est pas encore vraiment un robot, au sens où l'entendent les hommes de l'art. Mais il le devient au fur et à mesure que ses régulations et ses organes de perception progressent. L'aspirateur ménager autonome ne fait que de timides tentatives ;

- dans le domaine des services, deux thèmes sont privilégiés, le nettoyage et la surveillance.



▲ *Le retour de week-end en automobile volante pose toujours le problème des bouchons.*

Les recherches sont d'autant plus actives que l'automobile et l'aviation, parties initialement de rien, sont devenues au vingtième siècle des secteurs dominant l'économie. Le vingt-et-unième siècle présente une grande diversité de véhicules collectifs ou individuels. Tantôt pour aller très vite si cela est justifié, comme pour les véhicules d'intervention de sécurité civile ou militaire. Tantôt pour aller partout, y compris dans la montagne, l'eau et l'air.

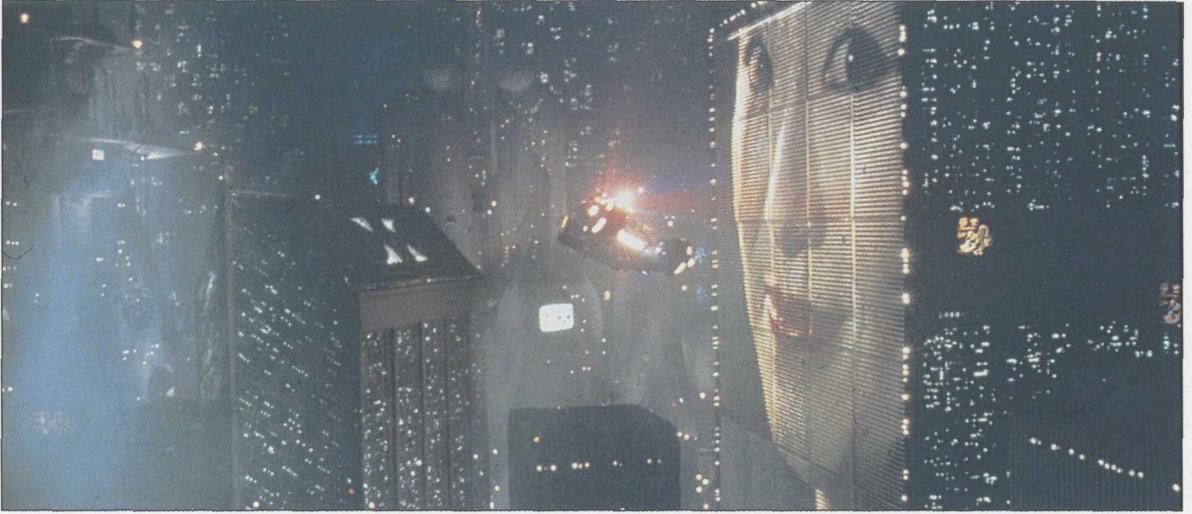
Individuel ou collectif ? Telle est la première question qui se pose aux transports depuis 1900. Nos ancêtres rêvaient d'infrastructures. Ils imaginaient un monde maillé d'un réseau de voies ferrées, de trains, de métros et tramways interconnectés. Puis le transport individuel s'est fait conquérant, avec l'automobile de l'après-guerre. Dans les pays neufs, des mégapoles ont poussé sans transports en commun structurés ou presque. La crise de l'énergie a légèrement réduit le déséquilibre. Les succès du TGV et des lignes aériennes de deuxième et troisième niveau ont montré les limites de l'individualisme. On se demande encore si, en 2100, le transport aérien individuel se sera développé, et dans quelles conditions de sécurité.

Mais au-delà des tentatives hégémoniques des différents groupes de pression et des batailles de titans (le rail contre la route, l'automobile contre les zones piétonnes et les transports en site propre, l'avion contre le TGV), l'évolution des transports suit certains fils conducteurs. Chaque outil a son domaine d'excellence et ses limites. L'aviation n'est pas contestée pour le transport intercontinental rapide de passagers, ni l'automobile pour parcourir la campagne en touriste. En revanche, la concurrence est vive sur les trajets domicile-travail, ainsi que sur les liaisons rapides de quelques centaines de kilomètres où s'affrontent air, rail et route. Dans cet écosystème des transports, les niches technologiques de chaque produit se précisent peu à peu. On voit apparaître, dès 2005, de nouveaux objets occupant des places laissées vacantes : le très petit véhicule à trois roues avec moteur électrique ou le dirigeable-grue pour le transport de charges vers des zones non desservies. Couplé avec la fabrication en usine des maisons, il révolutionne la construction. C'est l'époque où le rêve

■ **Dès 2005, l'apparition du dirigeable-grue pour le transport de charges, révolutionne toute la construction.**

■ **Les anciens jet-skis sont devenus les véhicules familiaux des habitants des villes marines.**

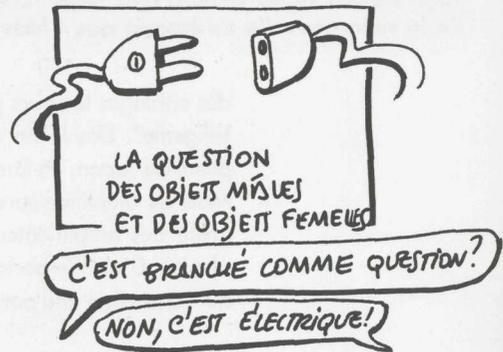
■ **La maison du vingt-et-unième siècle réagit : c'est un amplificateur programmable et sensible.**



d'implanter des villes à la campagne peut enfin se concrétiser : certaines sont ainsi construites en moins de dix jours. Les monorails urbains fleurissent, suivis, en 2023, des systèmes de guidage sur autoroute. Les tentatives de patins à roulettes à moteur et le développement des ULM arrivent dans la décennie suivante. A cette époque, les anciens jet-skis sont devenus les véhicules familiaux des habitants des villes marines. C'est à la jonction du sport et de l'utilitaire que se produisent les créations les plus fascinantes.

A l'inverse, la maison mobile renouvelle le fantasme de l'univers personnel déplaçable, essentiel à une bonne part des voyages extraordinaires dont rêvait déjà Jules Verne. Confortable, climatisée, à géométrie interne variable pour permettre la succession de différentes activités, la maison mobile n'a même pas besoin d'être très grande pour devenir un espace permanent d'existence. L'habitabilité intérieure, la possibilité de réaménager l'espace ont séduit le public. L'objet se fait plus féminin. Il séduit désormais autant par son aspect intérieur qu'extérieur. Après la Renault Espace, que l'on croyait réservée, lors de son lancement, à une clientèle spécialisée, se déploie toute une gamme de véhicules habitables, qui gagnent peu à peu l'essentiel du marché sur toute la planète. La maison aussi est un amplificateur-prothèse. Nous la bourrons tous les ans avec un peu plus d'électronique. La maison du vingt-et-unième siècle est programmable. Un ordinateur déclenche le chauffage, fait couler le bain ou chauffer le café au moment où les conditions prédéfinies sont vérifiées. Commandée par téléphone, elle est également sensitive. Le système informatique repère les anomalies et les effractions, sait dans quelle pièce se tiennent les habitants et règle l'environnement en conséquence. Le terme de domotique a été forgé aux alentours de 1986 pour traduire une volonté de mise en cohérence de tous ces équipements, ne serait-ce que pour ramener à la raison

▲ Les murs d'images balisent l'univers des grandes cités.



RETOUR À LA MAISON

Le jour tombe. La voiture-bureau, après une tournée en clientèle, revient se garer dans la résidence. La maison attendait. A quelque distance, elle a reconnu le véhicule, discrètement échangé les messages de sécurité avec l'ordinateur de bord. Tout va bien. C'est la bonne maison pour la bonne voiture. Les portes s'ouvrent d'elles-mêmes, celle de la maison face à celle de la voiture : il suffit de se lever ! Ambiance calme : la maison sait que l'hôte est fatigué du voyage, des dialogues, des affrontements commerciaux et sociaux. En sourdine, presque subliminale, une musique ancienne (du Boulez) ; un soupçon de parfum d'anis, pour éveiller l'appétit. Peu à peu, les murs s'animent. La maison sent (elle a des milliers de capteurs diversifiés) que l'hôte se détend. Un petit robot apporte le cocktail préféré, assorti de quelques amuse-gueule mis à réchauffer dès que l'approche de la voiture a été perçue.

Mais quelles sont les nouvelles ? Un des murs se transforme en écran informationnel. D'abord les messages de la famille. Attention aux notes d'un des jeunes, indique l'androïde pédagogue, qui croit déceler une baisse de motivation. Globalement, tout le monde est en bonne santé, et la statistique du métabolisme et des consommations des membres du foyer ne fait que traduire, bien normalement, la montée de sève du printemps.

Au fait, comment est le jardin ? L'hôte se dirige vers une cloison qui s'ouvre devant lui, laissant pénétrer l'air plus vif de l'extérieur, volontairement laissé très "naturel" dans ce quartier excentré d'une petite ville du Gâtinais. Tiens, le système d'arrosage automatique semble mal réglé. Les pousses de la race nouvelle de jasmin que l'hôte tente de

créer ne sont pas aussi belles qu'espéré. Un dialogue avec l'ordinateur-jardinier ne permet pas de bien comprendre la cause. Mauvais choix génétique ou mauvaise programmation de l'humidificateur goutte à goutte ? Un peu tard pour y travailler ce soir, mais cela mérite d'y passer la journée de demain, car cette espèce nouvelle, brevetée par l'hôte, intéresse beaucoup certains parfumeurs.

La maison s'anime, la famille élargie se rassemble. Une quinzaine de personnes a choisi de dîner ensemble ce soir. A peu près la moitié de la petite tribu qui habite les cinq maisons du micro-village. Une mamie arrive en fauteuil roulant, escortée par deux gamins qui la taquent en écoutant ses histoires. Des adolescents dévalent avec des copains. Râleurs et pas très propres, mais on ne dira rien. Une conversation s'établit ; on essaie d'y faire participer un cousin handicapé mental, sans grand succès. La discussion est relancée par des spots d'information. Les enfants contestent la position d'un gourou, les anciens hochent la tête, les parents font la part des choses. Entre les convives, le chien se dispute avec le robot-chat.

Chacun rejoint ensuite son espace personnel, où il anime à l'écran ses personnages favoris, lance les programmes éducatifs, ou encore appelle les copains éloignés. Les couples se retirent dans l'intimité. Le ménage des hôtes retrouve son nid conjugal, cet espace qu'ils ont amoureusement perfectionné au fil des ans.

Puis la nuit s'installe. Le village veille, protégé de toute agression extérieure. Attentif à préserver en son sein les équilibres. Demain, la maison réveillera chacun à son heure.

des câblages toujours plus chevelus. D'autres parlent de "maison intelligente". Dès la fin du vingtième siècle, les expériences se multiplient au Japon, en Europe et aux Etats-Unis.

Mais les amplificateurs énergétiques perdent de leur importance au profit des amplificateurs informationnels, des réducteurs de complexité. D'où l'importance de la communication homme-machine, qui consomme une part croissante de la puissance des ordinateurs.

HOMME ET MACHINE : L'INTERFACE

La musique adoucit
les mœurs. ▼

*Celui qui confesse
son ignorance
la montre une fois ;
celui qui essaye
de la cacher
la montre plusieurs fois.
Proverbe japonais.*

Robot ou amplificateur, nous devons communiquer avec la machine. Certes, nous n'avons plus à lui fournir d'énergie : plus de moulin à bras, de manivelle, ni même, sous la machine à coudre, de pédale. Sauf pour entretenir la forme. Les échanges sont devenus essentiellement informationnels. Une des clés de l'avenir est alors l'organisation de ces échanges et des dispositifs qui les permettent.



■ **La machine comprend la parole dans des conditions très limitées qui en restreignent l'usage.**

■ **La vision artificielle donne lieu, après 2016, au développement de toute une gamme de jeux où l'environnement visuel et sonore évolue. Le plus connu est la danse du feu.**

Etant donné la nature du système sensori-moteur des humains, la communication passe actuellement par deux canaux principaux : main/clavier-souris dans le sens homme/machine, écran/œil en sens inverse. Tous les autres sens restent plus difficiles à utiliser.

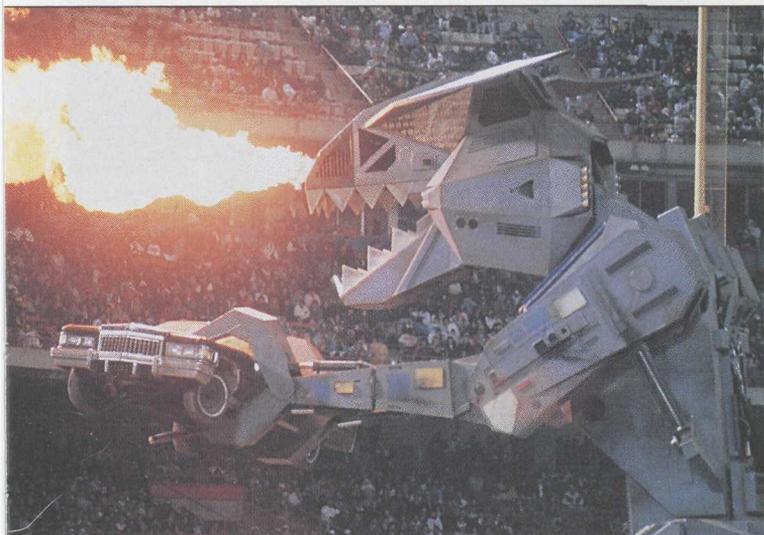
Presque tout le monde rêve de progrès substantiels sur le

canal vocal. On entend régulièrement dire que la machine comprend la parole. En fait, c'est toujours dans des conditions très limitées, qui jusqu'ici en restreignent l'usage à quelques applications industrielles et militaires. Cela tient notamment à la complexité de la langue naturelle, écrite et orale. Des progrès sont toutefois notés après la conférence de Kigali en 2061. A l'inverse, s'il est facile de faire dire un texte à la machine, il est très difficile de rendre sa diction correcte et a fortiori agréable. Pour obtenir une bonne expression orale (prosodie), comme pour comprendre la parole, il faudrait que la machine travaille à partir du niveau sémantique, autrement dit qu'elle "comprenne" ce qu'elle entend ou ce qu'elle veut dire. Les progrès en ces domaines sont réels, mais très lents, et il ne faut pas s'attendre à des découvertes spectaculaires, au moins dans les prochaines années. Le dialogue homme-machine exploite intensément les capacités remarquables de l'œil et de la part considérable du cerveau qui est affectée à la vision. La vue est, en quelque sorte, un calculateur fortement parallèle, à la fois rapide et adaptatif. Le petit



▲ La vision nocturne est devenue indispensable aux missions de sauvetage.

La police municipale a adopté une attitude très stricte en ce qui concerne les infractions au code de la route. ▼



écran est donc devenu le moyen universel employé par l'ordinateur pour nous informer et nous instruire. Les progrès sont réguliers tant en ce qui concerne les écrans (couleur et résolution, également la présentation) que le design des messages. On peut enfin proposer des visions combinées du monde réel et de données pré-

sentées sous forme graphique. C'est le cas des systèmes d'information et de pilotage d'avions de chasse et d'hélicoptères. En sens inverse, la vision artificielle (celle où le robot reconnaît l'objet qu'on lui présente) n'est utilisée, en environnement industriel, que pour des positionnements, ou, dans l'univers bureautique, pour la lecture de caractères (de plus en plus efficace). Quand l'ordinateur regarde son utilisateur et interprète ses mouvements sans attendre des frappes au clavier relativement lentes, on peut alors dire que la machine réagit au doigt et à l'œil. Les expériences de 1990 ne concernent encore que les handicapés. Elles donnent ensuite lieu au développement de toute une gamme de jeux où l'environnement visuel et sonore évolue selon le mouvement du corps des joueurs. Le plus connu est celui dit de la danse du feu... Le prix des dispositifs de vision baisse régulièrement et ils pourraient donc être appliqués dans les interfaces homme-machine. Mais l'idée même d'être regardé par une machine devient gênante : sommes-nous prêts à l'accepter ?

A la différence du robot, la prothèse ne menace pas de se révolter, car elle n'est pas conçue pour être autonome. Mais nous pouvons tout de même en devenir esclaves, par habitude. A force d'utiliser des caleuses et des outils de CAO, restera-t-il des gens capables de concevoir sans machine ? Les automobilistes au ventre trop rond ont besoin de faire du sport. Ils courent le dimanche dans les parcs. De même, la multiplication des ordinateurs fait renaître le besoin de sports neuronaux : échecs, go, jeux mathématiques, awélé, mots croisés... Mais l'interface entre un individu et une machine n'est qu'un aspect microscopique des problèmes qui nous attendent au vingt-et-unième siècle : c'est douze milliards d'humains qui vont communiquer avec cent milliards de machines.

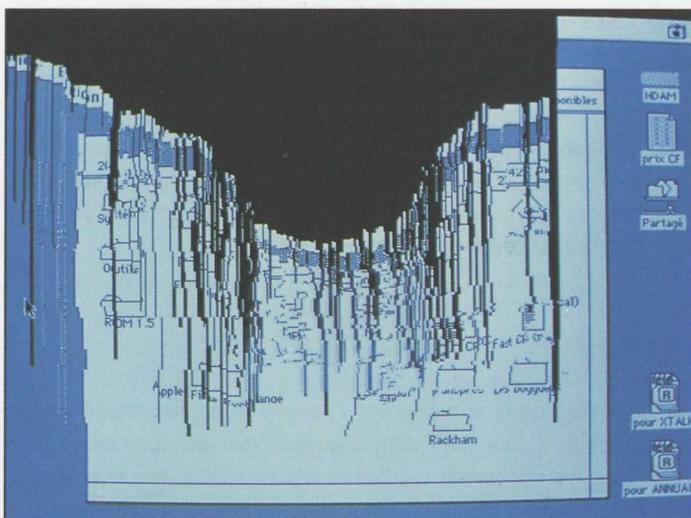
Plus que la relation "homme-machine", c'est la relation "groupe-système" qui va requérir des recherches soutenues. On commence à parler de "groupware"... ce n'est que le début d'une longue marche vers une nouvelle "ingénierie" à la fois technologique et sociale.

*Je salue mon seul parent
survivant dans le monde :
la terre.
Proverbe maori.*

*En 2063, la révolte
des robots-guerriers
fut matée en deux jours. ▼*



La destruction à distance des écrans d'ordinateurs est rendue possible par la création de virus extrêmement pernicieux. ►



Alors, la dynamique est-elle celle de la machine ou celle de nos rêves ? Les deux convergent puisque la machine, de plus en plus affranchie des contraintes passées, devient surtout expression de nos conceptions, de nos rêves. Mais, en même temps, chaque individu domine de moins en moins les machines. Le dix-neuvième siècle, et la première moitié du vingtième, ont vu le triomphe des mécanismes, des machines orgueilleuses jusqu'à l'impudeur. Elles ont atteint leur paroxysme, dans le grandiose comme dans l'atroce, avec la Deuxième Guerre Mondiale. Des "Temps modernes" au "Dictateur", les films de Charlie Chaplin en ont décliné les facettes. Ensuite, jusqu'aux années 1980, c'est la généralisation, la diffusion des machines, en tous lieux et pour toutes les fonctions, qui est marquante :

■ **Le design s'est fait tour à tour fuselé et aérodynamique, strict et fonctionnel, high tech, ou bien symbolique.**

■ **La fabrication d'univers artificiels contribue désormais à l'efficacité de l'enseignement.**



ROBOT A
PATTES



ET HOMME
A ROULETTES

automobile, électro-ménager, micro-ordinateurs. Le monde des machines reste polarisé par quelques monstres sacrés, médiatiques pour le pire et pour le meilleur : automobile de formule 1, générateurs nucléaires, vecteurs spatiaux. Mais déjà on atteint la saturation en de nombreux points (engorgement des infrastructures de transport, pollution).

LA SOCIÉTÉ DE L'INTELLIGENCE

La fin du vingtième siècle est encore sous l'influence d'une conception servile de la technique. Les machines sont censées être des esclaves mécaniques, réquisitionnés sans effort par leurs maîtres, comme le disait, en 1953, Martin Heidegger. Néanmoins, comme dans l'antiquité, bien des maîtres sont tombés amoureux de leurs esclaves. Alors, la forme et les performances des machines ont commencé à exprimer certains fantasmes. Le design s'est fait successivement fuselé et aérodynamique, strict et fonctionnel, militaire, géométrique, destructeur, high tech (l'objet révèle son intérieur), symbolique. Les

performances ont aussi été cultivées pour elles-même. On gagne dix minutes d'avion sur un trajet de mille kilomètres, et on en perd trente pour se rendre à l'aérogare et procéder aux formalités d'embarquement. On achète une GTI qui peut atteindre 200 kilomètres/heure pour rouler à 20 kilomètres/heure dans les embouteillages. La performance sert de décoration. On l'exhibe de temps en temps, pour impressionner les connaisseurs. Mais l'objet est là, docile et puissant. Et la passion est assouvie de temps en temps.

LA GRANDE INVERSION DE 2020

A l'aube du troisième millénaire, l'homme est encore hanté par un rêve satanique. Comment dominer, manipuler ou domestiquer son semblable ? Il consomme à cet effet une énergie et une imagination impressionnantes (dépenses militaires, publicité...). Les machines, subrepticement ou ouvertement, multiplient la puissance du conditionnement. La fabrication d'univers artificiels dans lesquels on plonge les sujets est, dès l'an 2000, à portée des programmeurs. Elle présente des avantages : l'efficacité de l'enseignement en bénéficie. Mais elle ouvre la porte à des pratiques ambiguës, à la fois génératrices de plaisirs et porteuses de manipulations.

Cette évolution technique s'accompagne d'un retournement de l'attention. Ce qui pose problème à l'homme, c'est moins une extériorisation conquérante qu'une intériorisation des équilibres. Il lui faut équilibrer sa relation avec la nature, qui ne peut plus être seulement prédatrice comme par le passé, à cause du déséquilibre écologique

Dans la civilisation de l'image, les projections holographiques géantes envahissent notre espace intérieur. ▼



planétaire et des autres risques technologiques majeurs. Il lui faut aussi équilibrer sa relation avec lui-même, avec les dangers des différentes formes de drogue et de manipulation psychique. Cette intériorisation se dessine dans l'architecture. Les hôtels et centres commerciaux apparaissent sous la forme de géodes. L'aménagement intérieur est revalorisé. Les actions

vers l'extérieur gardent une valeur, non plus pour leurs résultats, mais pour les effets intérieurs qu'elles produisent.

A quoi sert de faire le tour du monde si l'on reste identique en tous points ? Autant rester chez soi et évoluer intérieurement. Le design s'en ressent. Il était cantonné à l'habillage du produit. Il s'intéresse



▲ Le père Noël se reconvertit tant bien que mal, à une époque de mythes et légendes.

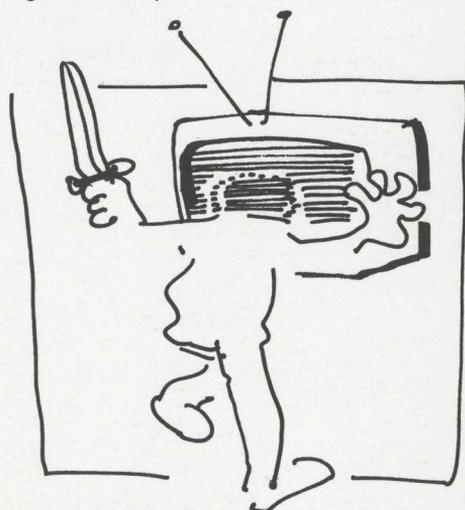
désormais à sa structure et à ses fonctionnements. L'aspect extérieur suffisait à le qualifier. On consentait à regarder les objets industriels comme les œuvres d'un art mineur porteuses d'un peu d'esthétique parce que, comme disait Raymond Lœwy, "la laideur se vend mal". Désormais, l'essentiel est en dedans. Si l'on peut zombifier les humains en jouant sur leur environnement, en saturant leurs sens de messages et d'ambiances, alors les ressorts de la puissance sont bien vers l'intérieur. Et la résistance au pouvoir s'organise, à ce moment, aussi depuis l'intérieur.

Ce fonctionnement cognitif intériorisé se retrouve, à l'échelle de la planète, avec la construction du réseau téléphonique mondial. Ce dernier permet de court-circuiter les anciennes formes de pouvoir, basées sur l'autorité et la contrainte.

La grande inversion de 2020 fait alors passer l'humanité de l'ère de la manipulation à l'ère des enseignements. La diffusion universelle d'interfaces conviviales permet à tous d'entrer dans les réseaux informationnels du vingt-et-unième siècle. Peu à peu, le fonctionnalisme est dépassé, les espaces matériels relayés par les "configureurs d'ambiance". De surcroît, de nouveaux moyens de transport et l'ouverture vers l'espace desserrent les contraintes physiques de la planète Terre. A partir de 2060, la libération devient assez sensible pour que le design ludique, la réalisation des rêves, devienne une activité partagée par la plupart des êtres humains. La société de l'intelligence commence alors. Celle où l'intelligence n'est plus confisquée par quelques-uns, mais répartie dans l'ensemble du corps social. Comme disait Hölderlin, nous commençons à ré-"habiter en poète". L'essence de la technique n'est plus la réquisition comme autrefois, mais est devenue l'art de l'illusion. Dès lors, l'essentiel est la conception, la créativité, la dialectique du rêve et du principe de réalité. Les machines, et les réseaux qu'elles forment, servent ces rêves et les conditionnent en même temps. Elles en aident la naissance et la mise en forme, en permettent le partage en mode local ou à distance, les stockent pour s'affranchir du temps, et parfois (plus rarement) leur donnent une existence matérielle. D'ici 2100, nous serons douze milliards à rêver efficacement. Pour éviter le cauchemar, il faut travailler les rêves autant que la technique. ■

■ **Qui veut zombifier les humains en jouant sur leur environnement tout en saturant leurs sens de messages et d'ambiances ?**

■ **Peu à peu, le fonctionnalisme est dépassé, les espaces matériels relayés par les "configureurs d'ambiance".**



LA CONQUÊTE DES NOUVEAUX ESPACES

Troisième partie

L'approche des limites



LA CONQUÊTE DES
MONTAGNES ÉPARGNÉES

Le monde est en train de changer. Les montagnes, autrefois sacrées, sont aujourd'hui envahies par les touristes. Les écolos s'opposent à cette dégradation de l'environnement. Mais comment protéger ces lieux si précieux ?

Le monde est en train de changer. Les montagnes, autrefois sacrées, sont aujourd'hui envahies par les touristes. Les écolos s'opposent à cette dégradation de l'environnement. Mais comment protéger ces lieux si précieux ?

Le monde est en train de changer. Les montagnes, autrefois sacrées, sont aujourd'hui envahies par les touristes. Les écolos s'opposent à cette dégradation de l'environnement. Mais comment protéger ces lieux si précieux ?

Le monde est en train de changer. Les montagnes, autrefois sacrées, sont aujourd'hui envahies par les touristes. Les écolos s'opposent à cette dégradation de l'environnement. Mais comment protéger ces lieux si précieux ?

Le monde est en train de changer. Les montagnes, autrefois sacrées, sont aujourd'hui envahies par les touristes. Les écolos s'opposent à cette dégradation de l'environnement. Mais comment protéger ces lieux si précieux ?

e déploiement planétaire de la technique ouvre la perspective d'un monde sans frontières, où se réalisent les rêves des hommes. Cette vision s'appuie sur des faits, mais il faut aussi voir les risques. La planète n'est pas illimitée et l'espèce humaine, déjà nombreuse, devrait doubler, atteignant douze milliards d'individus aux alentours de 2100. D'ores et déjà des saturations se manifestent.

Les villes sont embouteillées, les pollutions mal maîtrisées et les déserts gagnent. La nourriture est surabondante dans certains pays, alors qu'on meurt encore de faim ailleurs.

L'approche des limites se fait le plus souvent dans de mauvaises conditions. Les responsables semblent pris de court. L'imprévoyance est la règle, alors qu'elle devrait être l'exception. Il n'y a jamais de quoi accueillir les nouveaux venus. Ils squattent les terrains pour y construire des baraques. Les transports, l'électricité, le téléphone ne sont pas pour eux. Il n'y a pas de classes pour leurs enfants, et pas de place dans les universités quand ils sont grands.

Que signifie cette société d'exclusion au regard de l'histoire ? Déjà, au moyen âge, quand les limites techniques de l'époque avaient été approchées, les saturations s'étaient accompagnées d'un durcissement général, précédant le grand effondrement du quatorzième siècle. Les institutions ont alors préféré leur propre survie à celle des hommes. Au dix-neuvième siècle, la réaction des classes dirigeantes fut différente. Quittant la

mentalité du château fort, où les privilégiés se murent dans une attitude défensive, elles opèrent un gigantesque effort de structuration : les villes (Hausmann) et les esprits (Jules Ferry). Face à la partition de la société en deux classes, où les riches devenaient de plus en plus riches et les pauvres de plus en plus pauvres, elles jouent l'intégration, le nivellement par le haut. Il faut attendre quelques décennies pour mesurer le succès de cette stratégie.

Néanmoins, les approches des saturations sont toujours des époques d'injustice et d'oppression, et en même temps des époques de prise de conscience où les grands problèmes de l'humanité sont posés. En comparaison, les périodes tranquilles et sans histoires sont des périodes d'insouciance, voire d'inconscience, pendant lesquelles, faute d'enjeu, les questions morales, philosophiques et religieuses sont peu débattues.

La notion de transition permet d'appréhender ces évolutions dans une perspective plus globale. Elle vient de la biologie. Quand une espèce s'accroît jusqu'à saturer sa niche écologique, ses effectifs suivent une courbe en S. C'est ce que nous appelons une transition : le passage d'un état germinal à un état saturé, où le terrain est occupé. La première partie d'une courbe en S ressemble à une exponentielle, c'est un développement sans contrainte, insouciant comme le furent les "trente glorieuses" de l'après-guerre sur le plan économique. La seconde partie au contraire est une décélération, avec intériorisation des contraintes externes. Entre les deux, une inflexion, l'inversion de tendance, dans laquelle la logique s'inverse et la conscience

s'élargit. Aussi les quatre transitions présentées dans les chapitres qui suivent sont de véritables tournants de l'histoire de l'humanité.

La première transition concerne la démographie mondiale qui s'infléchit. Les baisses de la natalité sont déjà perceptibles, la diffusion de la contraception et l'éducation vont les accentuer. Les calculs de projection montrent une évolution lente. La seconde phase de la courbe en S de l'espèce humaine s'étend sur l'ensemble du vingt-et-unième siècle. Les Nations Unies voient une stabilisation entre dix et quinze milliards en 2100. Nous avons calculé, avec des hypothèses de migration plus fortes et une décroissance de la natalité moins rapide, un maximum de douze milliards et demi au vingt-deuxième siècle. Mais les différences entre les calculs ne deviennent sensibles qu'à partir de 2050. D'ici là, sauf catastrophe majeure, le nombre total des humains est à peu près déterminé, bien que leur localisation ne le soit pas. Le début du vingt-et-unième siècle est en effet une période de fortes migrations, accentuée par le réchauffement de la planète qui rend habitables des parties de la Sibérie et du Canada, alors que la désertification progresse dans les zones tropicales à la natalité débordante. Après quoi, le développement du tourisme et la possibilité de se connecter instantanément en tous lieux aboutissent à une véritable délocalisation de l'espèce humaine.

La transition agro-alimentaire est sans doute le phénomène économique le plus lourd de conséquences. Depuis la Seconde Guerre mondiale, elle est la cause de migrations massives et de déstabilisations des sociétés traditionnelles. Après plusieurs vagues de migration vers les villes,

réduisant à moins de 10% la population restant dans les campagnes, le système agro-alimentaire du vingt-et-unième siècle prend un visage bien différent de ce qu'il est aujourd'hui. La provenance de la nourriture n'est plus nécessairement rurale. Des "agricultures sans terre", sur billes d'argile expansée ou d'autres terrains artificiels, sont réparties en tout lieu, y compris dans les villes et sur les eaux ; l'aquaculture se développe massivement ; les produits deviennent plus versatiles (la même protéine peut provenir d'une viande, d'un poisson, d'un soja, voire d'un arbre, puis être dotée d'un goût et d'une texture convenant au public). Voilà autant de facteurs qui font de la production alimentaire une activité industrielle comme les autres.

La transition agro-alimentaire engendre par contrecoup une transition urbaine. La concurrence des agricultures industrialisées, désespérant les petits cultivateurs, a, en quelques décennies, repoussé vers les villes plus d'un milliard d'êtres humains.

Dans toutes les grandes cités du monde, à l'Est comme à l'Ouest, au Nord comme au Sud, sont nés et ont grandi des "sauvages urbains". Ils n'ont plus accès aux techniques de leurs ancêtres, qui permettaient de survivre dans la nature. Ils n'ont pas pour autant accès aux technologies modernes, étant en quelque sorte nés exclus de la société du signe. Pour ceux qui arrivent illettrés à l'âge adulte, il est presque impossible de rattraper le retard. Le rêve américain du "self made man" devient, pour les pauvres, si inaccessible qu'il en est dérisoire, objet de révolte plus que de convoitise. Les déshérités,

alors, considèrent la ville comme une jungle et y inventent de nouveaux modes de survie.

A l'exploitation de la faiblesse économique dénoncée par Marx, succède maintenant l'exploitation de la faiblesse psychique, la "persuasion clandestine"¹, la drogue sous toutes ses formes, les pouvoirs maffieux. La science s'est enfermée dans des jargons. L'irrationnel revient. Les sectes prolifèrent, les charlatans se multiplient, les intégrismes gagnent. Partout, l'homme s'attaque au psychisme de son semblable, pour le manipuler, l'intimider ou l'envoûter.

La fortune ne met pas à l'abri des influences, au contraire. Seules les âmes fortes résistent. Elles sont plus fréquentes chez les sauvages urbains, habitués dès leur enfance à survivre en exploitant les faiblesses des autres, que chez les nantis élevés dans la ouate. La pauvreté et l'exclusion atteignent des niveaux à la fois inhumains et dangereux. L'accroissement de l'injustice inquiète les classes dirigeantes et jusqu'aux classes moyennes des pays riches. Mais surtout, l'insécurité physique des personnes, riches comme pauvres, s'accroît, jusqu'à l'intolérable.

Dès lors, le choix est clair : la violence ou le "partage du savoir"². Après avoir contenu la marée humaine des mégalo-pôles par la violence et la dissuasion, le moment vient inévitablement où il faut inverser la stratégie : délocaliser l'urbanisme (technopôles, villes marines), structurer les grandes cités par des transports en commun, y aménager l'espace pour faciliter le maintien de l'ordre et, dans un même mouvement, mettre la culture technique à la disposition du public, dans des formes accessibles à tous.

¹Vance Packard,
La persuasion clandestine,
Calmann-Lévy, Paris,
1989.

²Philippe Roqueplo,
Le partage du savoir,
Seuil, Paris, 1974.

Les très grandes villes devenues dangereuses et insalubres sont restructurées. La population préfère les villes moyennes, les technopoles, puis les cités marines. La délocalisation est facilitée par le développement des télécommunications. Être physiquement absent n'empêche pas d'être branché. Non seulement le travail sur les lieux de loisir devient possible, mais la question de l'occupation de l'espace est posée autrement. S'agglutiner dans des lieux surpeuplés est un pis-aller, il faut repenser les rapports de la ville et de son environnement.

Le vingt-et-unième siècle est celui de la conception d'univers habitables complets, dans lesquels l'ensemble des fonctions - approvisionnement, transports, communications, travail, achats, loisirs - ont été prévus avant construction. La baisse du coût des travaux publics due, entre autres, à leur robotisation ; la légèreté et la simplicité de l'habitat ; la possibilité de fabriquer en usine des maisons transportables par dirigeable ; les logements mobiles et/ou gonflables rendent beaucoup plus rapide et moins coûteuse l'implantation de collectivités humaines en tous lieux. En partant de l'idée de "terrain artificiel" de l'architecte japonais Kikutake, on peut imaginer des villes migrantes, se déplaçant au gré des tâches à accomplir ou du plaisir de leurs habitants, comme des bateaux en croisière. Construire et démonter sont les deux phases d'un même mouvement. La société de production a construit à l'excès. La société du troisième millénaire, qui n'a plus besoin de la pierre ou du béton pour donner forme et solidité à sa mémoire, démonte autant qu'elle construit, et perd l'idolâtrie des vieux objets.

L'environnement est aussi en transition. La technonature atteint la planète entière. Cette approche des limites cause une inversion de tendance. Déjà, en 1990, on légifère pour le reboisement du Canada, on fait de la propagande pour celui de la Chine et le monde entier s'émeut de la destruction de l'Amazonie. L'effet de serre est perçu comme une menace, alors que ce n'est qu'un défi. L'homme peut s'accommoder de quelques degrés de plus et d'une montée d'un mètre du niveau des mers. Il construira, au choix, des digues, des pilotis ou des cités marines. Mais il faut aussi faire attention à d'autres phénomènes, résultant de la déforestation et de la surexploitation. Ainsi, le Middle West américain, immense grenier à blé industrialisé, manque d'eau et s'essouffle. Les prélèvements de la pêche s'auto-disciplinent, car certaines espèces marines surexploitées s'étiolent. La prise de conscience des limites de la planète se fait là aussi en même temps que l'aquaculture se développe. L'océan, dernier espace de cueillette, entre à son tour dans la technonature.

Les chapitres qui suivent reflètent donc une vision globale. Celle que pourrait avoir un Martien regardant l'espèce humaine dans ses grands mouvements, depuis sa planète. Ils n'énoncent pas ce qui est souhaitable, car les transitions s'accompagnent de souffrances et d'injustices que l'on aimerait bien éviter. Ils essayent seulement de donner une idée d'ensemble de l'approche des limites, un cadrage global de l'évolution du siècle. ■