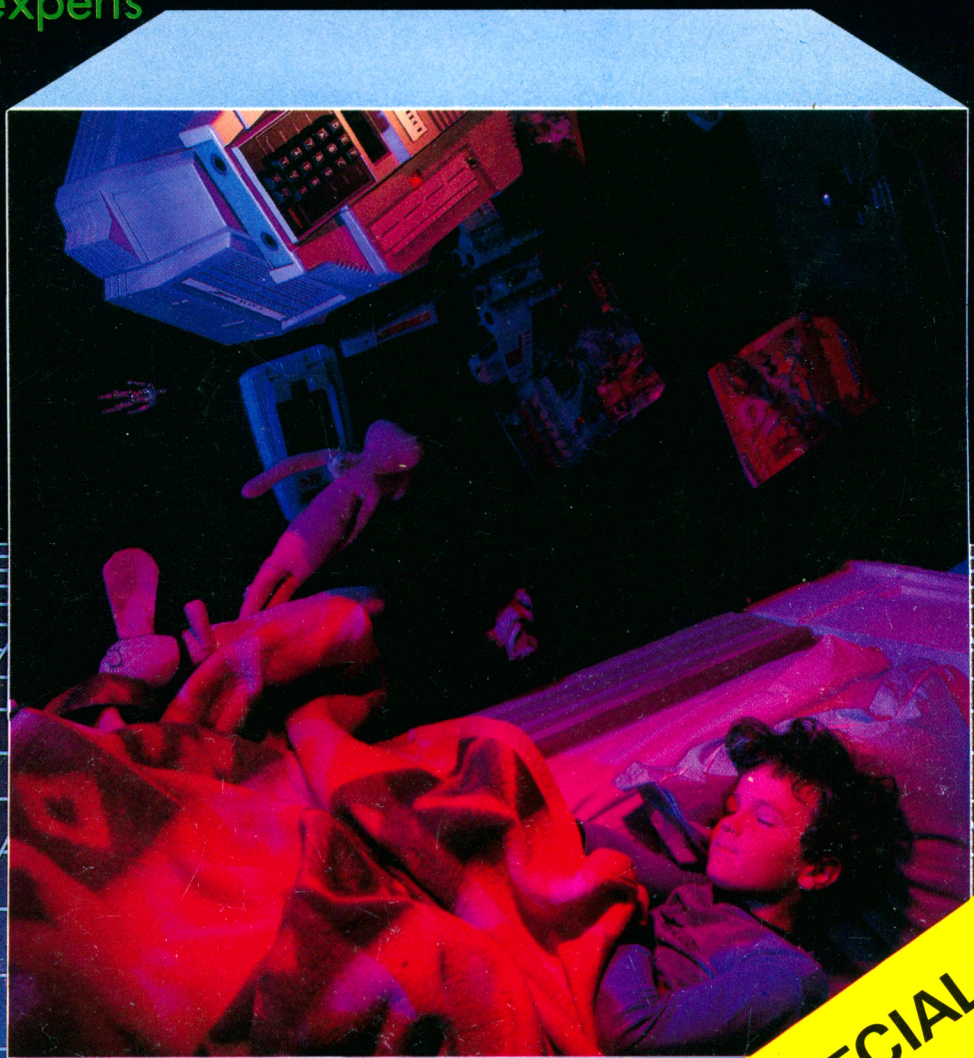
4

TIFY

COMPRENDRE L'INFORMATIQUE

les robots
les systèmes experts
la prospective



L'EMISSION DE TF1

COPRODUCTION TF1,
AGENCE DE L'INFORMATIQUE
ET MINISTERE DE
L'EDUCATION NATIONALE
CNDP

SPECIAL Toute l'informatique

M - 1583-4-29 F 195 FB – 8,50 FS – 195 FL

ALP

TIFY Une série de 4 fascicules destinés à accompagner les 12 émissions hebdomadaires de TF1 « Tify... s'il te plaît, raconte-moi une puce », soit 1 fascicule pour 3 émissions. En vente chez votre marchand de journaux, parallèlement à la diffusion des émissions.

n° 1 : Histoire de puces – Les mémoires – Les programmes / **n° 2** : Les images – Les sons – Les jeux / **n° 3** : La bureautique – Les fichiers – Les réseaux / **n° 4** : Les robots – Les systèmes experts – La prospective.

Sommaire du n° 4

Les robots 241
À la conquête des automatismes

Les ateliers flexibles 244

Anatomie d'un robot 246
Un robot « Meccano » – Un œil dans la main du robot – Les actionneurs et transmetteurs : des muscles – Des outils au bout du bras – Les capteurs : des organes sensoriels – Des capteurs pour guider les robots – Le processeur de traitement de l'information : un cerveau – La commande vocale – Le parc des robots – Qu'est-ce qu'un robot industriel ? – Qui a peur de la robotique ? – 40 questions pour concevoir et évaluer un système automatique dans une entreprise

Les grandes familles de robots 254
À l'imitation de l'homme

La recherche 256
RAM : des robots à tout faire – Les robots mobiles – Les applications aujourd'hui/D. Leroux – Les applications demain/D. Leroux.

Une foule de robots 259
Un robot laveur – Un robot qui joue ! – La guerre des étoiles – La nouvelle fée du logis ? – Parlez... le robot vous obéira ! – Des périphériques mobiles – Voyage en Californie : Robotic Valley ?/Ph. Gontier – Les esclaves de demain – Le Hero du jour – Pic et Poke... le robot Colégram – Multisoft – Comment les programmer – L'Ève future/Villiers de l'Isle-Adam – Meccano et robotique – La tortue Logo – Citroën sur les chapeaux de roues – Prolos/robots : des points de vue différents/M. Kamps – La robotique à domicile – La robotique dans les centrales nucléaires

Les systèmes experts 273
Ordinateur et cerveau humain/MIR

Le jour où les ordinateurs allaient devenir intelligents 275
Comprendre les sciences de l'artificiel/H.A. Simon

De l'hôpital aux plates-formes de forage... 278

Simuler le raisonnement d'un expert humain 279

Structure 280
Comment fonctionne un système expert – Baleine et pingouin ?/A. Bonnet

Traitement de la connaissance 283

Les obstacles techniques 284
La question essentielle/J. Weizenbaum

L'avenir 286
Lire dans la boule de silicium

Petit glossaire 290

Les applications 292
TOM et les tomates – L'aide au diagnostic

Deux langages de l'intelligence artificielle 296
De Logo à Lisp... – Prolog – Les poules du couvent couvent : que comprend l'ordinateur ? (P. Sabatier) – Croire en l'intelligence artificielle/E. Feigenbaum et P. McCorduck

Des systèmes experts dans tous les domaines 300
Système expert et archéologie – Un système expert sur micro-ordinateur – À l'observatoire de Meudon, on regarde le soleil en face – Le double jeu de Cléopâtre – Technologies avancées et vulcanologie (H. Tazieff)

La grande peur de l'an 2000 305
Allons-nous perdre l'esprit ?/J.-Cl. Vernier

Le bond technologique 306
Ordinateurs de 5e génération... Le Japon gagne !/X. Dalloz, A.-Y. Portnoff, E. Seyden – L'ordinateur personnel en 1990/X. Dalloz – Les limites/Cl. Paré – L'ordinateur au service de la santé/Cl. Francheschi – Médecine et informatique/J.-P. Thierry – Les langages icôniques/ J.-B. Touchard – Les puces ont-elles une âme ?/P.-A. Mercier, F. Plassard et V. Scardifli – La puce et les géants/E. Laurent

L'impact social 314
Gérer une période de transition difficile/Conseil Économique et Social – Les nouveaux métèques/F. Bernard – L'informatique dans le tiers monde/S. Vasquez – Le grand chambardement/G. Béart

L'éducation du futur 318
Les ordinateurs demain à l'école/J. Perriault – La fièvre du flipper/G. Rozès – Informatique et formation/M. Vivet – Télédétection/F.-M. Blondel

L'EDITEUR
ALP et Cie
26, rue des Carmes, 75005 PARIS.
Fondateur : Armand Beressi.

Directrice du marketing : Frédérique Janssen, adjoint : Georges Bensoussan.
Directrice de l'édition : Dominique Aubert, adjointe : Martine Chantenay.

Directrice de la production : Monique Muller, assistée de Jacky Requet.
Vente aux dépositaires : Edi 7.
Distribution N.M.P.P.

LES ÉMISSIONS DE TF1
Conception et réalisation : Francis Warin.
Coproducteurs : TF1, l'Agence de l'Informatique et le Ministère de l'Éducation Nationale (CNDP).
Producteur exécutif : TFØ1.
Direction générale : Jean-Claude Vernier.
Administration : Yannick Casanova.

Communication et marketing : Sabine Couder Hiegel Conseil.

Imprimé en Italie par IAG-Bergame.

Commande de la série complète
Du n° 1 au n° 4 inclus : 105 FF – 70 FB/FL – 30,5 FS.

Commande de numéros
Vous pouvez vous procurer l'un quelconque des numéros au prix de 29 FF en ajoutant 6,50 F de frais de port pour le 1er exemplaire et 2 F pour le suivant.
Toutes ces commandes doivent être accompagnées de leur règlement par chèque bancaire, chèque postal ou mandat, libellé à l'ordre de ALP-TIFY, à l'adresse suivante :
TIFY / SERVICE ABONNEMENTS
99, rue d'Amsterdam
75385 PARIS CEDEX 08

LA PUBLICATION
Directrice de la publication : Dominique Aubert.
Conseiller scientifique et pédagogique : Jacques Perriault.
Pour l'Agence de l'Informatique : Xavier Dalloz.
Auteurs du numéro 4 (Robots et Systèmes experts seulement) : Marie Gabriel, Claude Gelé, Sabine Grandadam, Jacques Perriault, Marianne Raveau, Eric Seyden et Jean-Baptiste Touchard.
Feuilleton « Intox et Zoé » : Images, maquillage et costumes : Serge Diakonoff – Intox : Bernard Haller – Zoé : Annie Fratellini.
Maquette, dessins et couverture : LCA et Hélène Caumont.
Photographe : Luc Quaglia, assisté de Mathieu Prier.
Secrétariat de rédaction : Catherine Picard et Catherine Schram.
Photocomposition : Kappa.
Photogravure : Prism'offset.

© 1985 ALP et Cie / TFØ1.

Dépôt légal : mars 1985.
I.S.B.N. : 2-7365-006-7.

Crédits photos. Toutes les photos sont des photos ALP, sauf pour les pages suivantes : Philippe Plailly : couverture – Jean-Loup Charmet : p. 242 (en haut), p. 274 – Jean-Loup Charmet/Coll. Jacques Courtois : p. 243 (à gauche) – Jean-Loup Charmet/Bibliothèque Forney : p. 303 (en bas) – Viollet : Boyer p. 242 (en bas à gauche) ; Harlingue : p. 243 (en haut à droite) ; Lapad : p. 284 – L.L. Roger-Viollet : p. 242 (en bas à droite) – Coll. Viollet : p. 298 – Roger-Viollet : p. 264 (en bas) – Georg Fischer/Visum-Cosmos : p. 243 (en bas), p. 251 (en haut), p. 253, p. 261 (en haut à droite), p. 280 – M. Wexler/Julien-Cosmos : p. 265 (en bas à gauche) – Cosmos : A. Danenberg p. 255 (en bas à droite) ; Wheeler p. 260 (en haut) ; R. Messmeyer/Wheeler p. 262 (en bas) ; P. Brandt p. 261 (à gauche) – Renault : p. 244 (à gauche et en bas à droite), p. 245, p. 247 (en haut), p. 252 (en bas) ; Laser Techniques : p. 258 (au centre) – Télémécanique : p. 244 (en haut à droite) – Scemi : p. 247 (au centre) – Citroën : p. 247 (en bas) ; R.P.M. : p. 252 (à droite) – Systèmes Sud : p. 248 (en haut) – Asea : p. 248 (en bas), p. 252 (à gauche), p. 258 (en haut) – Souriau : p. 249 – Bertin : p. 250 – Cincinnati : p. 251 (en bas) – Automatix : p. 254 – Philippe Gontier : p. 255 (en haut), p. 262 (sauf photo du bas), p. 288 – CEA : p. 256, p. 272 (à gauche et au centre) ; Vertut : p. 272 (à droite) – J.P. Marquis : p. 257 (en haut) – S.R.I. : p. 257 (en bas) – IBM : p. 258 (en bas) – Normed : p. 259 (en haut) – AFRI : p. 259 (en bas) – Publi-Robot : p. 260 (en bas) – R.B. Robot : p. 253 (à gauche) – Dinotec : p. 263 (à droite) – Multisoft : p. 264 (en haut) – Meccano : p. 266 – Brumaire Ezy : p. 267 – Rush : P. Zachmann p. 270 (à gauche), p. 286 ; Esalas Baltel : p. 277 (à gauche) ; Baret : p. 277 (à droite), p. 281, p. 315 ; Luc Pérénom : p. 290 – R.N.U.R. : p. 270 (à droite) – Sciences et Techniques : p. 278 (en haut à gauche) ; R. Dudo p. 275 ; P. Bon d'après doc. ICOT – Elf Aquitaine : p. 278 (en bas à gauche et à droite) – Petit Format : Guigoz/R.B. Livingstone U.C.R. : p. 285 ; Guigoz-Edelmann : p. 311 (en bas) ; Guigoz : p. 311 (en haut) ; A. Chaumat : p. 310 ; M. Edelmann : p. 318 (en bas) – Blancard/INRA : p. 293 – Schlumberger/Ph. Charliat : p. 291 – Sygma/Giansanti : p. 304 (à gauche) – Magnum : F. Scianna p. 304 (à droite) ; R. Kalvar p. 306, p. 314, p. 318 (en haut) ; S. Salgado p. 316 ; B. Barbey p. 317 – CNES/IGN : p. 320.

Les robots

Automates et **robots, manipulateurs** et **télémanipulateurs, machines à commande numérique** et **centres d'usinage, ateliers flexibles, automates programmables, CAO, FAO, robotique** et **productique...** Comment clarifier le sens de ces termes ? Ils prêtent parfois à confusion pour l'informaticien non familiarisé avec ces problèmes actuels d'automatisation des ateliers de fabrication.

Depuis une vingtaine d'années déjà, l'ordinateur s'est affirmé comme étant un outil de gestion très efficace dans les bureaux et dans le secteur tertiaire. Il fait aujourd'hui son entrée en force dans les ateliers pour automatiser le domaine de la production. D'où ce concept de productique, par analogie avec la bureautique.

Ce néologisme est mis à la mode en juillet 1982 par Jean-Pierre Chevènement, alors ministre de l'Industrie et de la Recherche, lorsqu'il prend connaissance du rapport de la Mission robotique créée un an auparavant pour dresser le bilan de la France automatisée. La productique associe dans un même concept l'idée d'une automatisation intégrée des fabrications : depuis la conception des pièces en bureau d'études sur des postes informatisés de CAO, jusqu'à leur fabrication par des systèmes automatisés intégrant des machines-outils, des robots et des moyens automatiques de contrôle et de conditionnement.

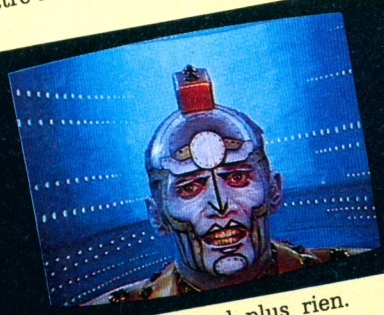
Monsieur Plumeau, employé modèle, s'endort régulièrement sur son clavier... Il se transforme alors en un abominable robot, Intox 639, qui décide, avec l'aide de son complice, l'ordinateur numéro 1, de mettre l'univers à ses pieds ! Mais il y a une faille...



« Les robots sont trop lents ! Je voudrais un serveur plus performant ! » hurle Intox en regardant Nestor.



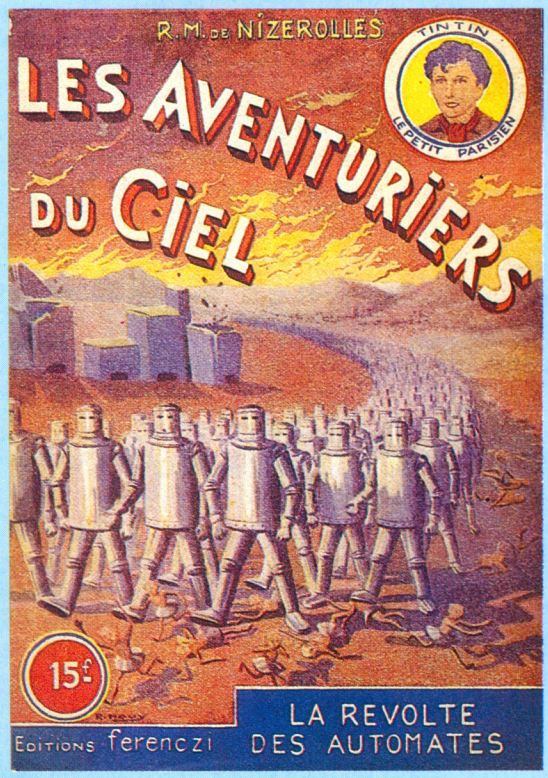
« A boire !... Cigare !... Canard !... A boire !.... » Il lui impose un rythme tellement infernal que, bientôt, le pauvre homme



n'y comprend plus rien. Alors, Zoé, toujours vigilante, lui murmure : « Coupez le courant, Nestor ! Coupez-le ! »

« Pour faire taire un robot encombrant, il suffit de... couper le courant, tout simplement ! »

A la conquête des automatismes

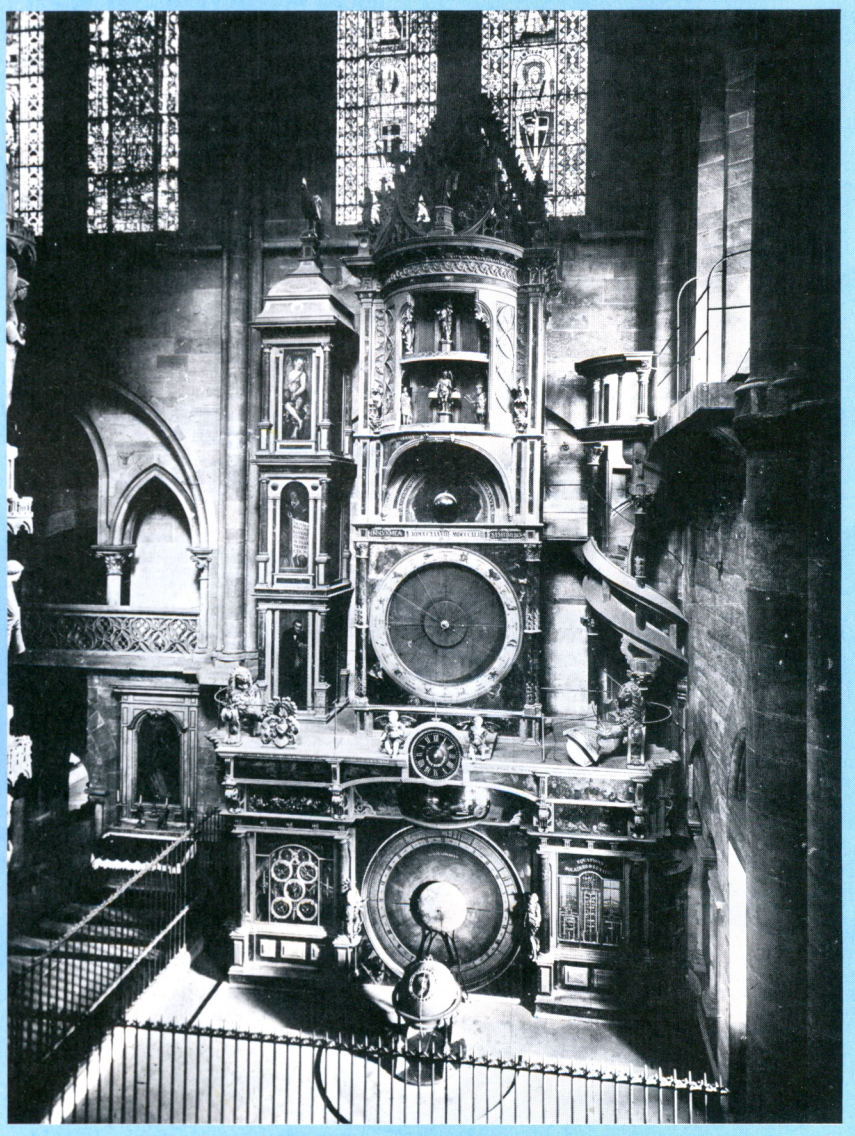


Couverture d'une brochure populaire, Paris 1950.

L'homme cherche depuis toujours le moyen d'économiser ses efforts. L'**automatique,** qui désigne simplement tout moyen propre à éviter du travail, est donc aussi vieille que l'Humanité.
La hache de pierre, la fronde de David, le gouvernail étaient déjà des automatismes. Selon le papyrus de Rind, trois mille ans avant notre ère, les pharaons régulaient le niveau du Nil par un système de biefs et de déversoirs.
La construction d'automates androïdes existe aussi depuis l'Antiquité. Au musée du Louvre, une figurine égyptienne à bras articulé représente un boulanger pétrissant sa pâte.
La première machine automatique aurait été fabriquée par un mendiant grec anonyme : une pièce de cinq drachmes introduite dans un appareil de son invention déclenchait, par son poids, l'écoulement d'un volume d'eau.
En 50 avant J.-C., Héron d'Alexandrie cherche à imiter les fonctions motrices de l'homme. Il anime ses premiers automates grâce à l'énergie d'une masse, d'une chute d'eau ou de la vapeur. Ces mécanismes ont alors pour seule ambition d'imiter les mouvements de la vie, ce sont des objets de curiosité ou d'agrément sans réelle utilité économique.
Le XIIIe siècle voit foisonner les moulins pivotants et orientables. C'est au Moyen Âge encore qu'apparaissent les premières horloges astronomiques qui ne cessent d'être perfectionnées pour



Métier à tisser « Jacquard », 1804, musée d'Art et d'Industrie de Lyon.



L'horloge astronomique animée (XVIe siècle) de la cathédrale de Strasbourg.

aboutir à des chefs-d'œuvre tels que l'horloge de la cathédrale de Strasbourg. Dès le XVe siècle, les meuniers utilisent le premier automatisme industriel connu de régulation : le baille-blé. Il permet d'ajuster automatiquement le débit du blé tombant entre les meules afin d'éviter l'encrassement de ces dernières ou leur emballement à vide. Grâce à un mécanisme ingénieux et très simple, la trémie d'alimentation vibre d'autant plus fort que la meule tourne plus vite. D'où une autorégulation du débit. Puis apparaissent les boîtes à musique et les automates



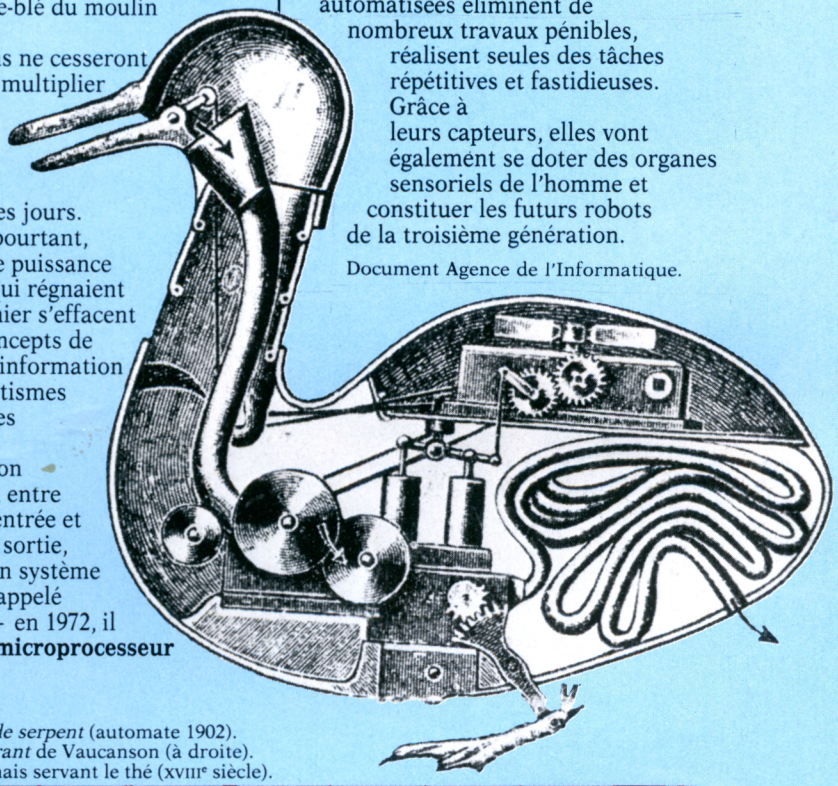
mécaniques androïdes qui reproduisent des mouvements humains grâce à des rouleaux munis de picots actionnant des cames et des leviers. Ils sont notamment construits par les horlogers suisses et franc-comtois. Cet intense désir de l'homme de recréer son image conduit le génial mécanicien français Jacques de Vaucanson à construire, vers 1740, ses merveilleux automates : le *Joueur de flûte* et le célèbre *Canard* qui imite si bien le volatile réel qu'il est capable d'avaler du blé, puis d'en rejeter les excréments. Vaucanson sait aussi appliquer l'automatique à l'industrie : il perfectionne le métier à tisser automatisé du mécanicien-tisserand Falcon, en remplaçant les cartes perforées préconisées par celui-ci par des bandes perforées, plus maniables et moins encombrantes. Cinquante ans plus tard, Jacquard brevètera ce métier et l'industrialisera. Cette machine automatisée est, dans un premier temps, refusée par les ouvriers qui craignent déjà de perdre leur travail. Ils la cassent avec leurs sabots, première opération de « sabotage » industriel.

Il faut également évoquer le régulateur à boules de Watt. Dès 1790, il automatisera le fonctionnement d'une machine à vapeur en asservissant l'admission de vapeur à la vitesse de rotation de la machine. Un principe identique à celui du baille-blé du moulin médiéval.

Les inventions ne cesseront ensuite de se multiplier à un rythme croissant. L'homme invente et innove tous les jours. Aujourd'hui pourtant, les notions de puissance et d'énergie qui régnaient au siècle dernier s'effacent devant les concepts de message et d'information et les automatismes deviennent des systèmes de communication faisant le lien entre grandeurs d'entrée et grandeurs de sortie, traitées par un système électronique appelé **processeur** – en 1972, il deviendra le **microprocesseur** intégré sur un seul circuit. Par le principe de rétroaction – celui même du régulateur de Watt – ils régularisent et contrôlent eux-mêmes leur action en effectuant des tests et en opérant des choix. Circuits électroniques et microprocesseurs multiplient à l'infini les possibilités des machines automatisées qui sont devenues souples, rapides, programmables, précises. C'est le principe même de fonctionnement des robots d'aujourd'hui, des machines autonomes et programmables.

L'homme poursuit ainsi son but : se créer un partenaire qui fasse le travail à sa place. Ces machines automatisées éliminent de nombreux travaux pénibles, réalisent seules des tâches répétitives et fastidieuses. Grâce à leurs capteurs, elles vont également se doter des organes sensoriels de l'homme et constituer les futurs robots de la troisième génération.

Document Agence de l'Informatique.



La charmeuse de serpent (automate 1902).
Le canard digérant de Vaucanson (à droite).
Automate japonais servant le thé (XVIIIe siècle).

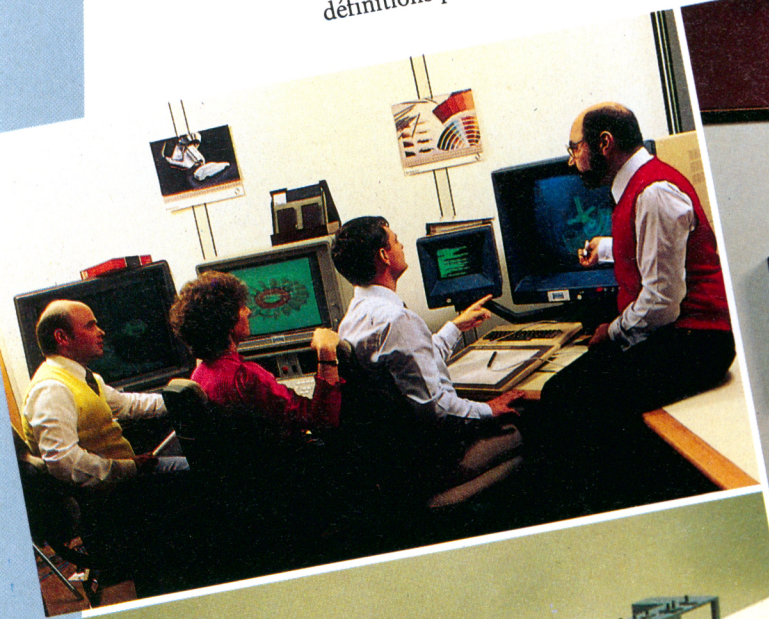


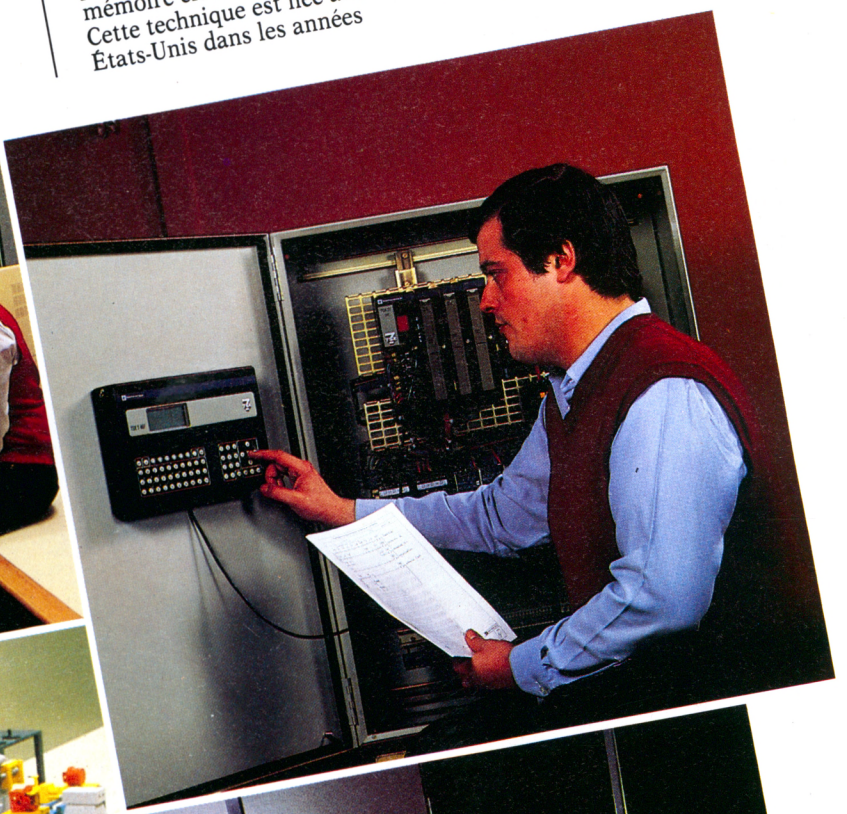
Les ateliers flexibles

La production est gérée en temps réel par un ordinateur qui optimise le temps de fonctionnement de chaque machine, tient compte des approvisionnements en outillage et matières premières et réalise l'ordonnancement optimal des fabrications en fonction des commandes reçues chaque jour. Minimiser les stocks, éliminer les pièces en attente devant les machines, changer le planning de fabrication sans devoir modifier l'implantation des machines, tel est le nouveau concept d'**atelier flexible**, mot qui exprime une certaine « souplesse » des fabrications. Voici donc quelques définitions pour mieux préciser le rôle de chacun des constituants de cette *usine du futur*.

- **La machine à commande numérique**

Pilotée par un système informatique, elle effectue des tâches diversifiées, généralement d'usinage. Lorsqu'on change de type de pièce, il suffit d'appeler un autre programme d'usinage dans la mémoire de la machine. La commande est dite numérique parce que la programmation s'effectue en code numérique binaire, matérialisé par un ruban perforé, puis mémorisé dans une mémoire électronique effaçable. Cette technique est née aux États-Unis dans les années cinquante. Les machines à commande numérique évoluées disposent de changeurs automatiques d'outils ; on les appelle alors *centres d'usinage* ou *de tournage*. Certaines disposent même de tables pivotantes pour présenter automatiquement les pièces nouvelles à usiner ou sont alimentées automatiquement par un convoyeur : ce sont en quelque sorte des robots spécialisés en usinage qui évitent les temps morts improductifs entre les différentes opérations.

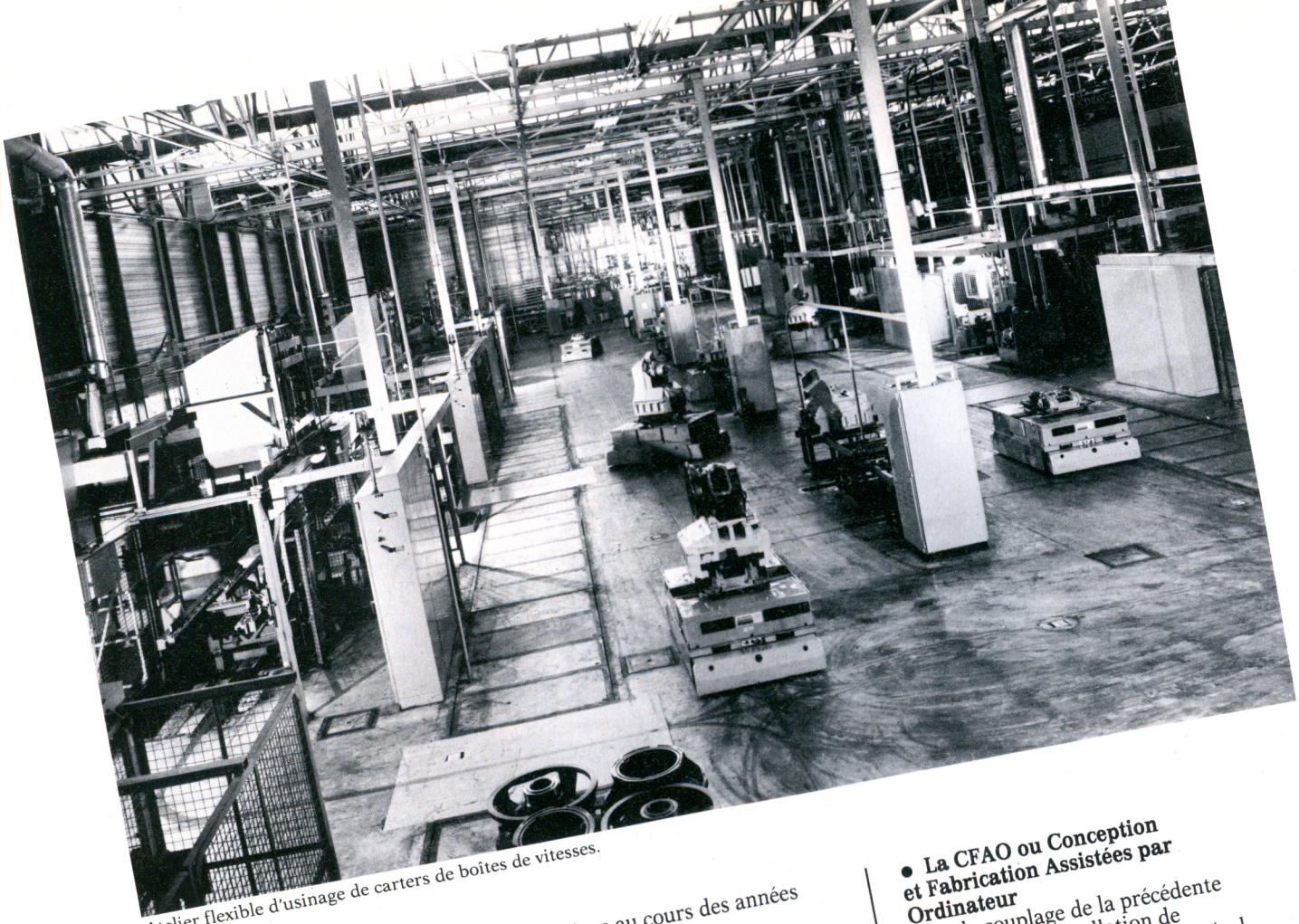








En haut à gauche : formation du personnel à la CAO chez Renault. En haut à droite : un automate programmable. En bas à gauche : maquette d'atelier flexible (Renault). En bas à droite : conception d'une carrosserie d'automobile par CAO.



Atelier flexible d'usinage de carters de boîtes de vitesses.

● **Le robot**
C'est également une machine dont la commande est numérique et programmable par un calculateur. Il effectue des trajectoires dans l'espace et sert à manipuler des pièces ou des outils qu'il tient dans sa pince, par exemple pour charger et décharger une machine-outil, effectuer des soudures électriques, ou peindre des pièces compliquées. Le mariage entre machine-outil et robot est d'autant plus facile que leur électronique de commande est la même : le robot sert alors de bras à la machine.

● **L'automate**
C'est en fait l'appellation ancienne du robot, notamment lorsque ce dernier a une forme humaine et des mouvements proches de ceux de l'homme : on parle d'automates androïdes. De tout temps, des mécaniciens et d'ingénieux horlogers ont cherché à construire des jouets et des figurines imitant le comportement humain. C'est en 1924 qu'apparaît le terme robot, du tchèque *robota* travail. Il est abondamment repris par la littérature de science-fiction et le cinéma fantastique, avant d'être adopté par les industriels qui installent les premiers robots de manutention dans les usines américaines au cours des années soixante.

● **L'automate programmable**
Cette machine ne doit pas être confondue avec le robot. C'est un système électronique de commande séquentielle — sorte d'ordinateur simplifié et spécialisé dans le traitement de certaines fonctions de commande — que l'on appelle *programmable logic controller* dans les pays anglo-saxons. La (mauvaise) traduction française de ce terme prête parfois à confusion. Apparus en 1968 aux États-Unis et en 1973 en France, ces automates programmables sont aujourd'hui très répandus et servent à piloter de nombreuses machines à cycles simples, dont certains robots de transfert et de manutention.

● **La CAO ou Conception Assistée par Ordinateur**
C'est l'ensemble des techniques et des outils informatiques qui servent à aider le projeteur de bureau d'études dans sa tâche de conception et de dessin d'une pièce. Un poste de CAO comporte un écran graphique de visualisation associé à un ordinateur et à une tablette de numérisation pour l'entrée des données. Il met en œuvre des logiciels particuliers de modélisation pour la représentation plane (2D - en deux dimensions) ou volumique (3D - en trois dimensions) des pièces.

● **La CFAO ou Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur**
C'est le couplage de la précédente CAO avec une installation de production automatisée, en général une ou plusieurs machines-outils à commande numérique éventuellement associées à des robots. La pièce conçue sur l'écran graphique du poste de CAO est alors directement usinée : c'est un premier pas vers l'intégration des techniques de fabrication.

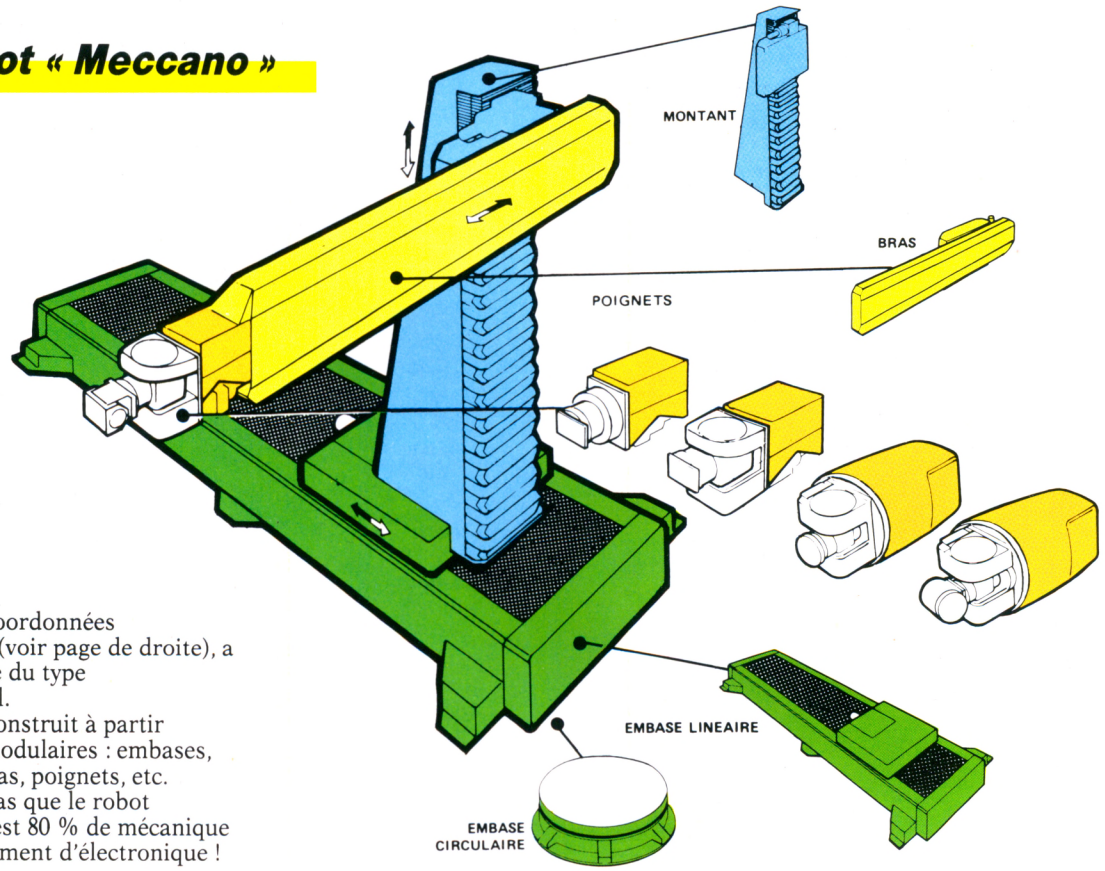
● **L'atelier flexible**
Il poursuit cette intégration vers le haut et bénéficie de l'apport d'un ordinateur central de gestion de la production. Les pièces, et éventuellement les outillages, sont automatiquement acheminés vers les machines disponibles par des chariots guidés par des fils inductifs enterrés. L'ordinateur travaille en temps réel et optimise le parcours des pièces et les temps d'engagement des machines. Il effectue des tâches de simulation pour gérer la production en fonction des commandes reçues le jour même. Depuis deux ans, deux ateliers flexibles d'usinage sont en service en France, chez Renault Véhicules Industriels, à Bouthion, et chez Citroën Constructions Mécaniques, à Meudon.

● **La productique**
Elle intègre l'ensemble de ces outils et de ces techniques : c'est l'ordinateur et l'informatique au service de la production.

Anatomie d'un robot

La définition officielle du robot industriel par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) reste bien austère : « manipulateur commandé en position, reprogrammable, polyvalent, à plusieurs degrés de liberté, capable de manipuler des matériaux, pièces, outils et dispositifs spécialisés au cours de mouvements variables et programmés pour l'exécution de tâches diverses ».
Pour bien comprendre la structure d'un robot, mieux vaut procéder par analogie avec l'être humain. Un robot, c'est un squelette mécanique à l'image de notre corps, avec tronc, bras, avant-bras et poignet terminé par une main qui sert d'outil. Tous ces organes mécaniques articulés sont mûs par des muscles appelés **actionneurs**.
L'ensemble est naturellement piloté par le cerveau : un ordinateur qui travaille en temps réel.
Ce squelette est une structure mécanique polyarticulée que l'on définit par son nombre d'**axes** ou de **degrés de liberté.** Pour que la main du robot puisse atteindre un point quelconque dans l'espace, il faut tout d'abord trois translations selon les axes classiques : X Y Z. Ensuite, pour venir positionner un objet, par exemple un outil, au point précédent, il faut y ajouter trois rotations. Ces trois axes supplémentaires correspondent aux mouvements du poignet. Six axes au moins sont donc nécessaires pour qu'un robot soit capable de souder ou de peindre une pièce de forme quelconque, comme une carrosserie d'automobile. Quatre axes suffisent à certains robots industriels pour réaliser des opérations d'assemblage sur une chaîne de fabrication ou pour ranger des pièces dans une boîte, opérations qui demandent de simples cycles carrés avec montées-descentes ou rotations élémentaires.
Les axes de robots sont matérialisés soit par des glissières mécaniques comme sur les tables de machines-outils – on parle alors de **robots cartésiens** et les déplacements s'expriment par des distances – soit par des articulations ou rotules – on parle alors de **robots polaires** ; pour piloter ces derniers, il faut définir des angles, c'est-à-dire des coordonnées polaires. Enfin certains robots combinent les deux structures.

Un robot « Meccano »



Ce robot, à coordonnées cartésiennes (voir page de droite), a une structure du type machine-outil.
Il peut être construit à partir d'éléments modulaires : embases, montants, bras, poignets, etc.
N'oublions pas que le robot industriel, c'est 80 % de mécanique et 20 % seulement d'électronique !

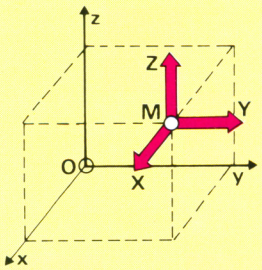
(Document Sciaky)

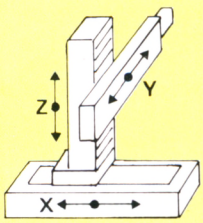
Anatomie d'un robot

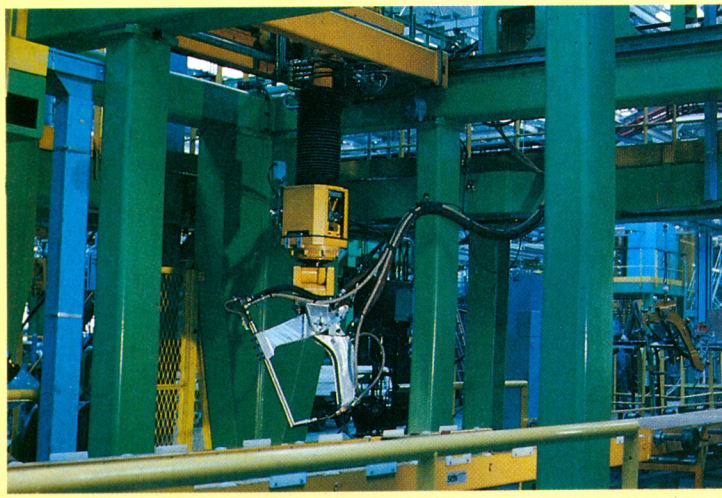
Les 3 systèmes de coordonnées : - cartésiennes - cylindriques - polaires ou sphériques déterminent les 3 familles principales de robots.

• COORDONNÉES CARTÉSIENNES

Elles sont la combinaison de trois axes de déplacement linéaires :
– axe des X, de gauche à droite et vice versa ;
– axe des Y, d'avant en arrière et vice versa ;
– axe des Z, de bas en haut et vice versa.
Tout point à l'intérieur du volume de débattement du robot est défini par ses coordonnées : X, Y et Z.

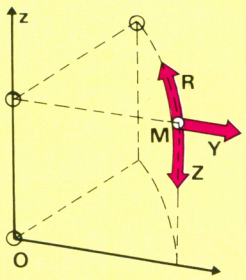


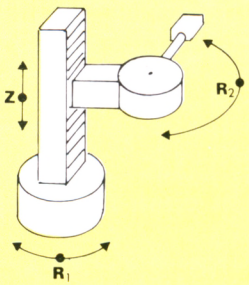




• COORDONNÉES CYLINDRIQUES

Elles sont la combinaison de deux axes linéaires et d'un axe rotatif :
– rotation R autour de l'axe des Z (mouvement de tourelle) ;
– axe des Y, donnant le rayon du cylindre décrit ;
– axe des Z, de bas en haut, donnant la hauteur du cylindre.
Plus rarement on peut avoir la combinaison d'un axe linéaire et de deux rotations.
Tout point à l'intérieur du volume de débattement du robot est défini par un angle et deux distances (ou par une distance et deux angles).

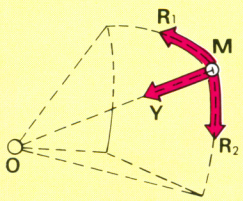


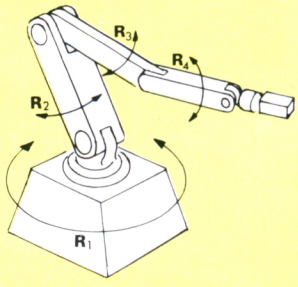


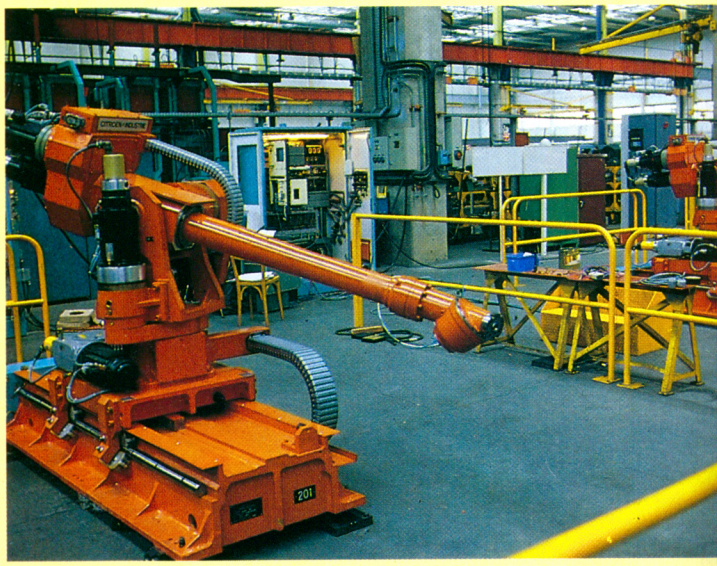


• COORDONNÉES POLAIRES OU SPHÉRIQUES

Elles sont la combinaison d'un axe linéaire et de deux rotations :
– rotation R1 autour de l'axe des Z (tourelle) ;
– rotation R2 autour de l'axe des X (site) ;
– axe des Y donnant le rayon du secteur sphérique.
On peut aussi rencontrer un système à trois rotations d'un bras articulé, l'un autour d'un axe vertical et deux autour d'un axe horizontal (rotation du tronc et articulations de l'épaule et du coude).
Tout point à l'intérieur du volume de débattement du robot est défini par une distance et deux angles, ou par trois angles.

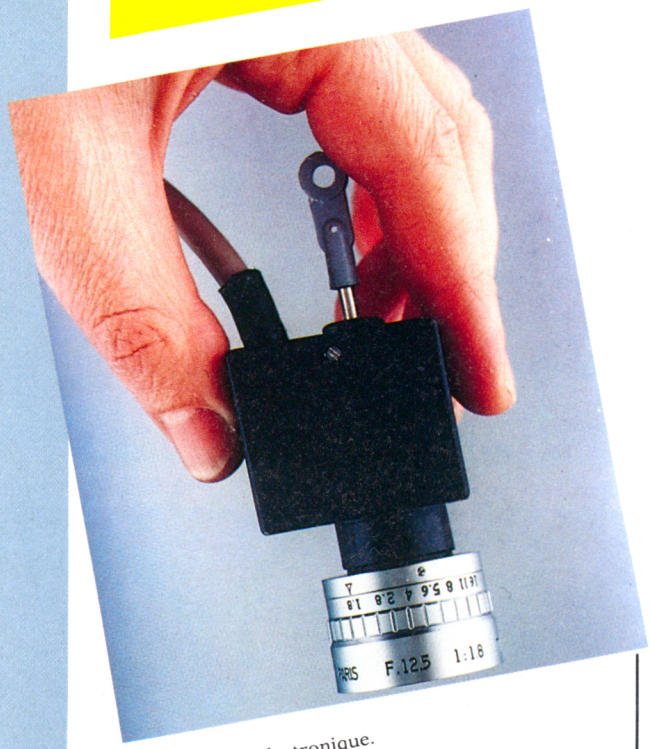






(Document Sciaky)

Un œil dans la main du robot



Micro-caméra électronique.

Au bout du poignet du robot, on trouve l'équivalent de la main, interface entre le système robotique et la tâche ; cet organe de préhension dépend des objets à manipuler. Les pinces mécaniques qui équipent les robots actuels ne ressemblent pas à notre main à cinq doigts. Une pince articulée à deux ou trois doigts suffit pour manipuler des pièces courantes. Des mains à trois doigts, avec chacun trois phalanges, ont été étudiées en laboratoire, mais on comprend la difficulté de coordonner les manœuvres simultanées de cet ensemble mécanique à neuf degrés de liberté. On reste pourtant encore loin de la main de l'homme : grâce à ses nombreux muscles et à ses chapelets d'osselets, elle dispose d'une quarantaine de degrés de liberté ! Notre corps est un super robot !

Outre les préhenseurs mécaniques à pincement, on utilise des électro-aimants, pour soulever des pièces magnétiques, et aussi des ventouses à dépression. Dans les usines d'automobiles, la pose des pare-brise s'effectue ainsi avec des robots munis de ventouses pneumatiques. Plusieurs autres systèmes originaux ont été créés pour la prise d'objets fragiles ou de forme non définie, par exemple des sacs à dépression remplis de billes de polystyrène qui viennent se mouler sur la forme de l'objet.

La principale difficulté consiste à positionner la pince avec précision, malgré le nombre des jeux successifs qui interviennent dans les articulations du bras du robot. D'où l'idée de poignets souples, appelés aussi **compliants**. Montés sur des lames élastiques ou des systèmes à excentration, ils peuvent absorber les erreurs d'alignement, par exemple lorsqu'il faut, au cours d'une opération de montage mécanique, venir insérer une pièce cylindrique dans un trou. Ces poignets sont appelés à compliance **passive** par opposition aux poignets à compliance **active** qui, munis de capteurs, corrigent automatiquement leurs propres erreurs de positionnement.

Pour cela on a mis au point des **capteurs tactiles** – appelés *peau artificielle* – et des **capteurs de proximité inductifs**, optiques ou à ultrasons. Le fin du fin consistera à loger dans la pince du robot une micro-caméra comme celle récemment mise au point à l'université de Toulouse : elle mesure 36 mm × 36 mm × 25 mm et pèse 75 grammes. C'est la plus petite caméra du monde ! Elle permettra d'analyser et donc de corriger directement les erreurs de positionnement du bras du robot : un œil dans la main du robot !

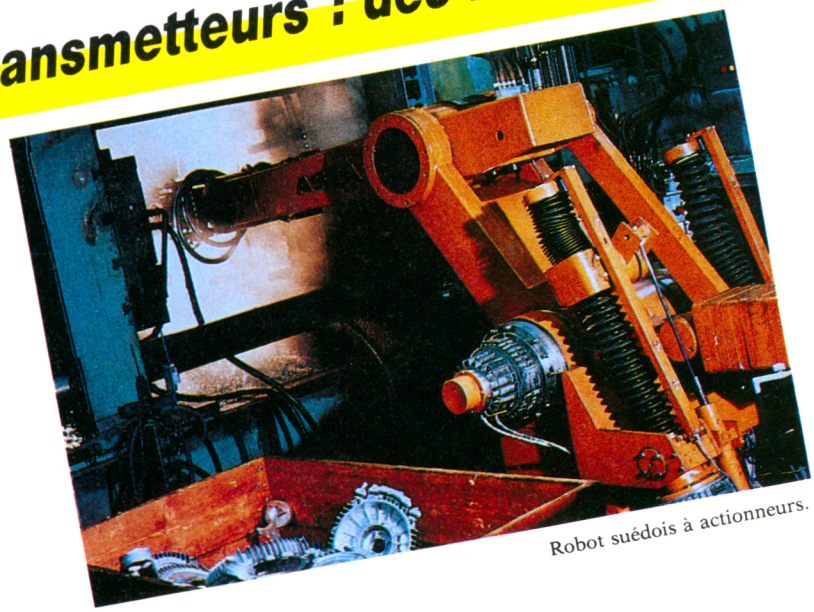
La technologie des pinces et préhenseurs pour les robots est un domaine où la recherche est en pleine effervescence : on parle ici de *périrobotique*, par analogie avec la *péri-informatique*.

Notons enfin que l'on cherche à construire des structures légères pour les pièces mécaniques et les organes du robot : les mouvements s'effectuent souvent à vitesse rapide et il faut limiter les effets dus aux inerties des masses. On étudie actuellement des bras de robot en structure composite à base de fibre de carbone, très légère et très résistante.

Les actionneurs et transmetteurs : des muscles

Ils produisent les forces et les couples qui animent le squelette mécanique des robots. Trois techniques sont utilisées pour réaliser cette motorisation :

- les **moteurs** et **vérins hydrauliques**, utilisés surtout sur les gros robots, donnent une grande puissance et une bonne précision, mais imposent la présence d'un groupe motohydraulique et de

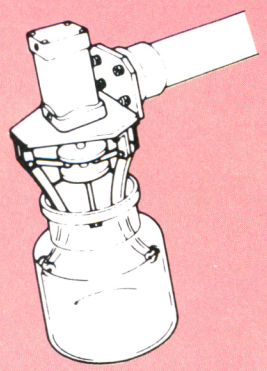


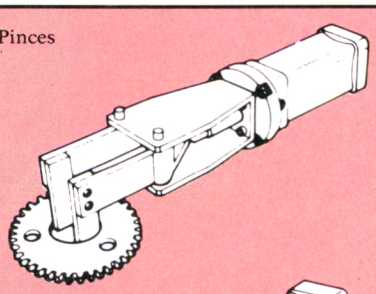
Robot suédois à actionneurs.

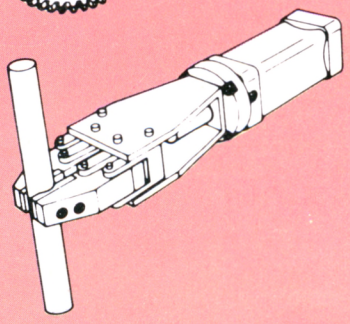
Des outils au bout du bras

Les pinces sont généralement constituées de deux doigts de géométrie particulière (adaptée aux pièces à manipuler) et sont pourvues d'un système de fermeture approprié électromécanique, pneumatique ou hydraulique.

Pinces

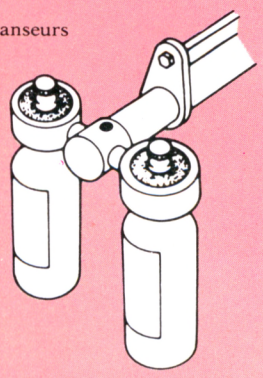




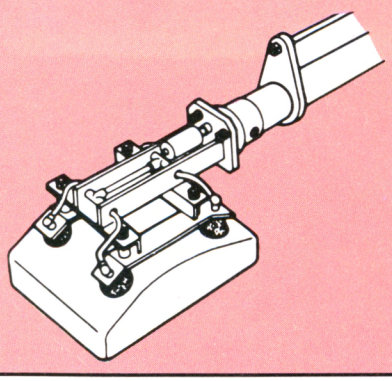


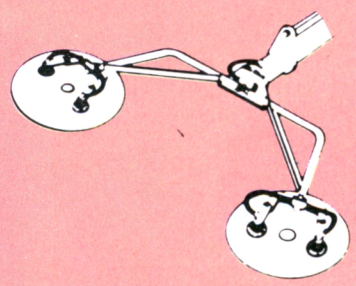
Les expanseurs comportent une membrane en caoutchouc qu'il est possible de gonfler par injection d'air.
Cette technique convient tout particulièrement au transfert de pièces fragiles de forme circulaire.

Expanseurs

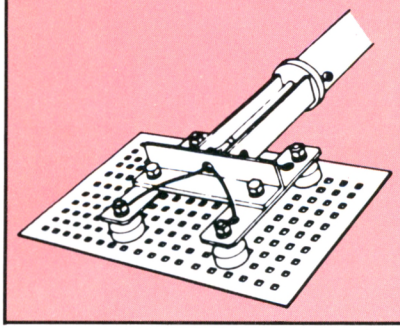


Ventouses pneumatiques





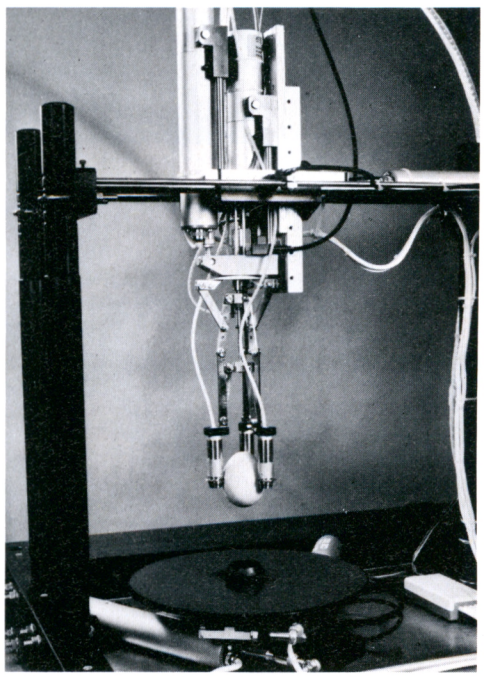
Les électro-aimants permettent de manipuler les pièces métalliques.



canalisations haute pression – les robots industriels utilisés dans l'automobile pour le soudage par points emploient cette technique : ils soulèvent et manipulent des postes de soudage de 80 kg !

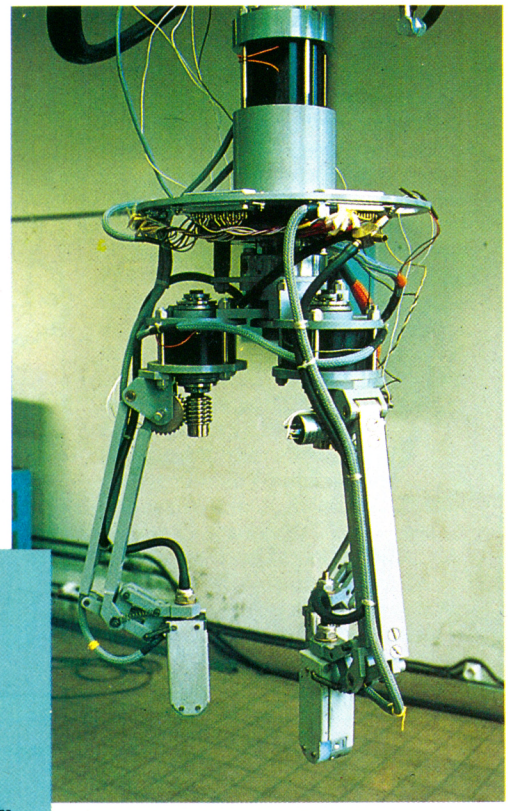
- les **moteurs électriques d'asservissement** tendent aujourd'hui à supplanter l'hydraulique sur la majorité des robots, tout comme ils l'ont fait sur les machines-outils à commande numérique. Les progrès des aimants permanents ont permis de construire des moteurs électriques de puissance élevée et d'encombrement réduit. Il faut veiller à limiter la taille, donc le poids, des moteurs placés aux articulations des robots : on emploie notamment un type de moteur plat à entrefer en forme de disque, inventé, pour les besoins du nucléaire dans les années 1960, par un Français : le moteur Axem. Il équipe tous les robots du constructeur suédois Aséa ainsi que de nombreux modèles allemands et japonais. Ces moteurs d'asservissement étant rapides, il faut interposer en sortie un réducteur mécanique plat qui fait appel à des astuces mécaniques comme les trains hypocycloïdaux ;
- la **commande pneumatique**, surtout par vérins, est utilisée sur les petits manipulateurs rapides à mouvements répétitifs réglés par butées. Quelques nouveaux moteurs permettent toutefois des asservissements en position.

Un constructeur propose une solution originale calquée sur la structure humaine : des boudins de caoutchouc qui, gonflés d'air, se contractent comme nos biceps !



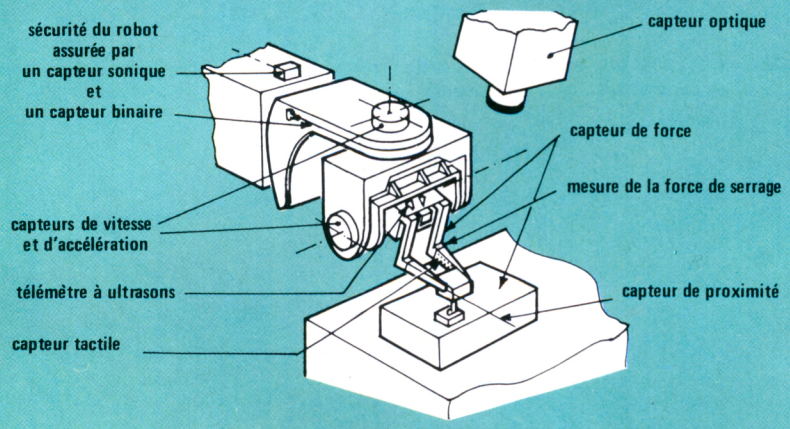
Ci-contre : prototype de pince à capteur optique, qui soulève délicatement un œuf sans le moindre risque de le briser.

Les capteurs : des organes sensoriels

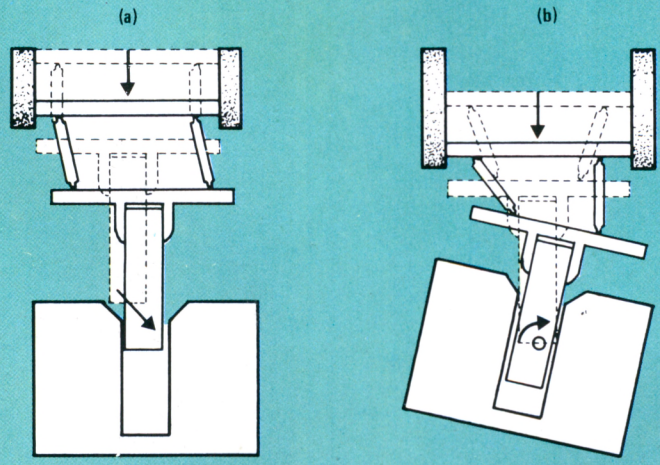


Pince étudiée par la société Bertin.

Des capteurs pour guider les robots



Le contrôle d'un manipulateur se fait par des capteurs sensoriels. Pour insérer une vis dans un écrou, il faut analyser, à l'aide d'une caméra de surveillance, le déroulement des opérations, mesurer en permanence la distance vis-écrou, s'assurer du niveau correct de pression des doigts du manipulateur sur l'écrou, de la présence de l'écrou entre les doigts. D'autres capteurs sont chargés de la surveillance du processus, en particulier pour éviter de percuter d'autres objets dont la présence était imprévue.



Le poignet souple, ou « compliant » facilite l'insertion de composants sur les machines de montage et d'assemblage robotisées.

Tout comme nos organes des sens, qui sont reliés à notre système nerveux, les capteurs servent à informer le cerveau du robot de l'état interne de ses organes, et aussi des conditions d'environnement : les chercheurs appellent respectivement ces capteurs des **senseurs proprioceptifs** et **extéroceptifs.** Ils servent tout d'abord à mesurer les positions linéaires ou angulaires des diverses articulations, forces, couples et vitesses. Généralement, dans les systèmes automatisés classiques, on distingue différents capteurs – logiques, analogiques et numériques :

- les **capteurs logiques** délivrent des informations sous forme de oui ou de non. Ils servent à la commande des manipulateurs "tout ou rien" et à la satisfaction des contraintes de sécurité sur tous les systèmes robotiques ;
- les **capteurs analogiques** délivrent des informations sous forme analogique qui sont ensuite numérisées pour être traitées sur les machines informatiques ;
- les **capteurs numériques** délivrent également des informations, mais directement sous forme numérisée.

Mis à part les capteurs tactiles placés sur la pince du robot (que nous avons déjà vus), les **capteurs externes d'environnement** sont essentiellement ceux de vision :

ils utilisent des caméras miniatures constituées d'un circuit opto-électronique ; en somme, une supercellule photo-électrique organisée en grille matricielle afin qu'elle analyse l'intensité de chacun des points lumineux de l'image (les pixels).
On trouve couramment des capteurs de 256 × 296 pixels qui servent, par exemple, à la reconnaissance des pièces planes.
Pour la vision en relief, notamment pour la saisie de pièces en vrac dans une caisse, il faut deux caméras effectuant deux visées simultanées.
On peut aussi utiliser diverses astuces : un éclairage latéral, par exemple, qui donne, selon le relief rencontré, une ligne d'ombre plus ou moins brisée dont on analysera la forme. Il faut des processeurs spéciaux pour effectuer l'analyse de l'image et l'identification des pièces ou zones examinées.
Ces techniques ont d'ailleurs donné lieu à des démonstrations spectaculaires : il y a une dizaine d'années, par exemple, on présenta un robot américain du *Stanford Research Institute* qui était capable de trier par couleurs et par figures les 52 cartes d'un jeu !
Plus récemment, à l'exposition européenne de la machine-outil de 1982 à Paris, un robot français, AKR, reconstituait le Rubik's Cube préalablement mélangé par les visiteurs, après simple analyse visuelle de trois faces présentées successivement à sa caméra !

Le processeur de traitement de l'information : un cerveau

L'unité de commande dépend du degré d'automatisation du robot. Pour les manipulateurs simples à cycles fixes, on peut utiliser un simple **séquenceur** pneumatique ou électrique qui donne des ordres de positionnement successifs. Si la programmation doit être quelquefois modifiée, on fait appel à une matrice à diodes ou à un automate programmable (ne pas confondre avec le robot !), système électronique de commande séquentielle programmable par un clavier au moyen d'un code.
De tels systèmes conviennent pour programmer la manipulation d'objets, par exemple le chargement-déchargement de machines-outils ou de pièces, la palettisation...
Pour obtenir des trajectoires complexes dans l'espace, par exemple pour effectuer une soudure à l'arc ou peindre une pièce gauche, il faut calculer en permanence les positions de tous les actionneurs du robot : un calculateur rapide en temps réel est alors nécessaire. Des langages spéciaux viennent faciliter la programmation de tels robots et le dialogue homme-machine.
Au stade le plus avancé, le couplage du robot à un poste de conception assistée par ordinateur permet de programmer les mouvements directement à partir de l'image de la pièce visualisée sur l'écran graphique. C'est l'approche actuelle de la CFAO, déjà opérationnelle chez certains constructeurs automobiles et dans les ateliers flexibles comme celui de Citroën Constructions Mécaniques en service à Meudon.

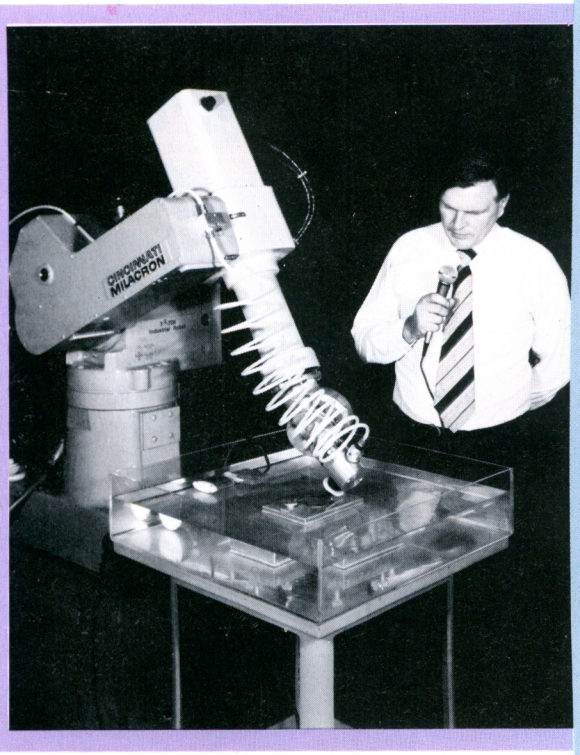
Pince à capteurs.



La commande vocale

La reconnaissance vocale devrait trouver enfin un débouché dans la commande des robots, une application assez proche de la commande numérique.
En France, le laboratoire d'automatique de Besançon et le LIMSI d'Orsay ont réalisé des prototypes, respectivement pour des robots d'assistance médicale et pour des robots couplés à des systèmes de vision artificielle. Une expérience a été présentée à l'Expo CNRS en juin 1984 à Paris.
En Italie, le département de la mécanique des systèmes du *Politecnico* de Milan étudie la commande vocale des robots avec un ordinateur Apple II ; une démonstration a eu lieu à la 6e exposition NC Robot Automation de Milan.
Aux États-Unis, Cincinnati Milacron a fait une spectaculaire démonstration à l'exposition britannique Automan 83 : l'un de ses robots T3 commandé par la voix gravait sur des presse-papiers en verre, les initiales des visiteurs présents sur le stand.
Le système vocal avec 26 programmes correspondant aux lettres de l'alphabet, étudié par la firme britannique Cap Reading, utilise un micro-ordinateur Intel 86/330 connecté à la commande numérique Acramatic du robot : ce système appelé Robuk Computer, pourrait servir au pilotage d'ateliers flexibles.

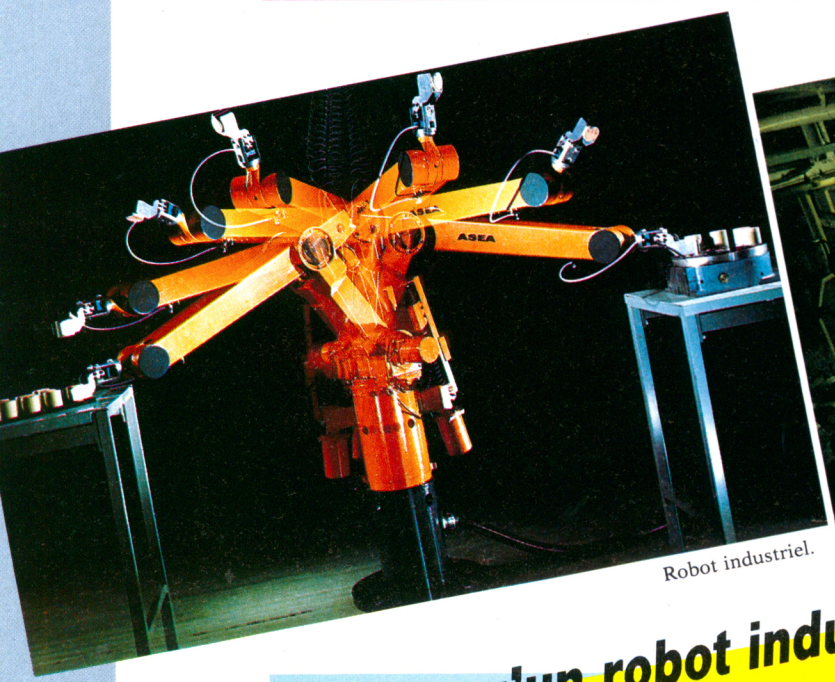
in *Sciences & Techniques*, n° hors-série : « L'ordinateur prend la parole » (novembre 1984).



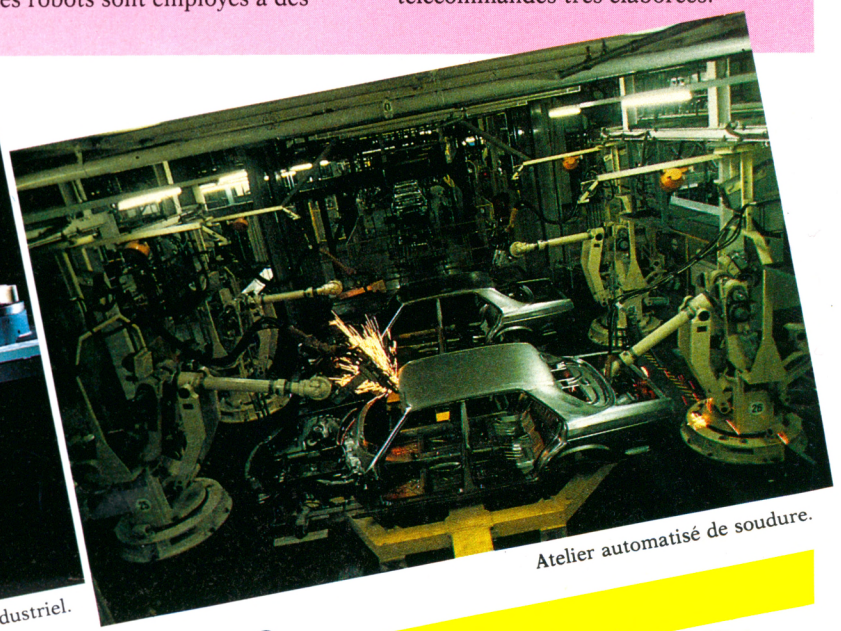
Robot T3 à commande vocale.

Le parc des robots

Combien y a-t-il de robots en service dans les usines françaises ? Selon un recensement effectué par l'AFRI (Association Française de Robotique Industrielle) au début de l'année 1984, la France était, avec 2 200 robots, au quatrième rang mondial et au deuxième rang européen quant à son parc.
La Suède, la Grande-Bretagne et l'Italie étaient sensiblement au même niveau. Le Japon comptait alors 16 500 robots, les États-Unis 8 000, l'Allemagne fédérale 4 800.
On note qu'en France le nombre d'installations de robots augmente d'environ 30 % par an et dépasse même 50 % dans l'industrie automobile. A ce rythme de croissance, notre pays devrait compter près de 3 000 robots au début de l'année 1985.
Il s'agit ici de robots programmables, pilotés en temps réel par un calculateur, et non de simples bras manipulateurs à cycles fixes, beaucoup plus nombreux dans nos usines (près de 80 000 en service).
Les robots sont employés à des tâches diversifiées dans les usines : manutention, palettisation, approvisionnement de machines, soudage par points et à l'arc, découpe par jet d'eau et oxycoupage, peinture, pulvérisation et masticage, polissage-ébavurage, assemblage, etc. Sans oublier des applications particulières, telles les interventions en milieu irradié dans l'industrie nucléaire, ou les travaux d'ingénierie et d'exploration sous-marine qui requièrent des matériels de haute fiabilité avec des télécommandes très élaborées.



Robot industriel.

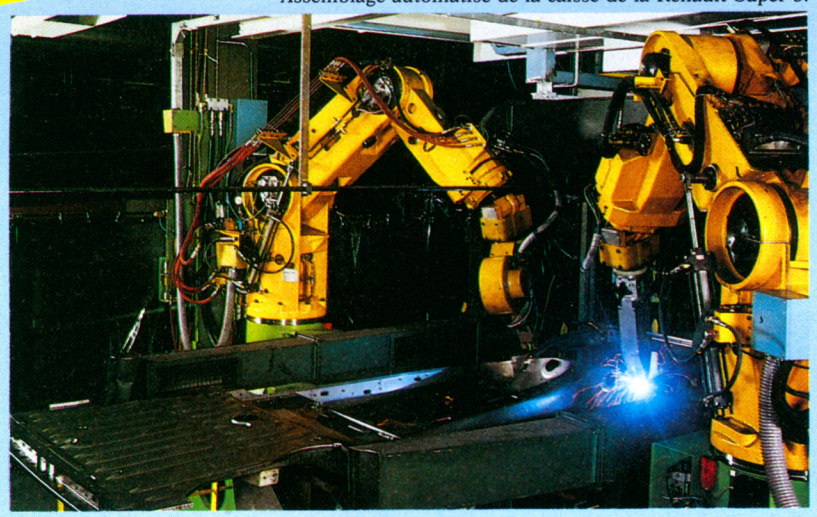

Atelier automatisé de soudure.

Qu'est-ce qu'un robot industriel ?

Définition d'un robot industriel retenue par l'I.S.O. et l'A.F.N.O.R. :

« Manipulateur commandé en position, reprogrammable, polyvalent, à plusieurs degrés de liberté, capable de manipuler des matériaux, des pièces, des outils et des dispositifs spécialisés, au cours de mouvements variables et programmés pour l'exécution d'une variété de tâches.
Il a souvent l'apparence d'un ou de plusieurs bras se terminant par un poignet. Son unité de commande utilise, notamment, un dispositif de mémoire et éventuellement de perception et d'adaptation à l'environnement et aux circonstances. Ces machines polyvalentes sont généralement étudiées pour effectuer la même fonction de façon cyclique et peuvent être adaptées à d'autres fonctions sans modification permanente du matériel. »
(Document Sciaky)

Assemblage automatisé de la caisse de la Renault Super 5.



Qui a peur de la robotique ?

Jean-Pierre Chevènement, alors ministre de la Recherche et de l'Industrie, craignant que le mot robot ne fasse peur, débaptise la robotique : elle s'appellera désormais productique...

« La robotique et une partie de la mécanique participent à la naissance d'une discipline nouvelle, véritable carrefour technologique, qui marque l'irruption dans les systèmes de production industrielle d'éléments nouveaux dont la diffusion était jusqu'alors limitée aux laboratoires et à quelques applications particulières. Cette discipline nouvelle, dont la maîtrise est indispensable à l'essor industriel de la France, je propose de l'appeler productique [...].

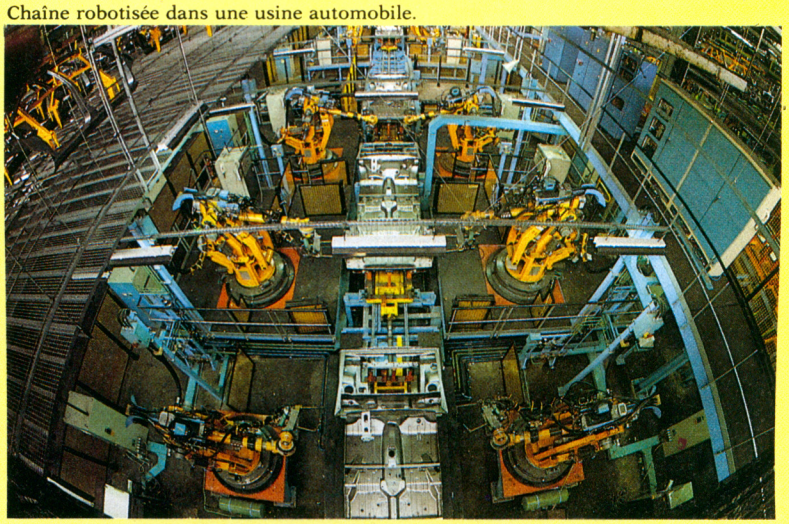
Il devient aujourd'hui possible d'automatiser un beaucoup plus grand nombre d'opérations, et surtout de concevoir cette automatisation de manière globale et intégrée en articulant toutes les fonctions d'une unité de production de la conception à la fabrication.

C'est ce savoir-faire nouveau, aux conséquences impressionnantes, que représente la productique. On peut la définir comme l'automatisation intégrée des industries manufacturières [...].

Ainsi définie, la productique est une véritable industrie dont le marché s'élève d'ores et déjà en France à plus de huit milliards de francs, et qui occupe plus de vingt mille personnes. »

(J.-P. Chevènement, juillet 1982).

Chaîne robotisée dans une usine automobile.



40 questions pour concevoir et évaluer un système automatique dans une entreprise

Quels objectifs de productivité ?

- Diminution des temps nécessaires
  - au bureau d'études
  - en production

Quels objectifs de rentabilité ?

- Diminution des consommations de matières premières
- Flexibilité
- Fiabilité des installations
- Evolution de la qualité des produits
- Aide à la standardisation des produits
- Possibilité de réaliser des tâches impossibles à l'homme
- Diminution de la quantité de main-d'œuvre

Quels moyens mis en œuvre ?

- Type de matériel et de logiciel
  - qui a développé les recherches sur ce système ?
  - qui fabrique les matériels et met au point les méthodes nécessaires ?
- Comment ont évolué les capacités de production ?
- Quel système d'organisation ? Quels objectifs d'organisation ?
- Quel financement ?
- Rôle de l'Etat dans les incitations au développement ? L'entreprise est-elle subventionnée ou aidée pour ce changement ?

Quelles modalités de mise en œuvre ?

- Le système a-t-il fait l'objet de négociations avec les travailleurs ?

Comment évolue le nombre d'emplois ?

- Suppressions (d'emploi, de poste ou d'effectif ?)
- Création (permanente ou provisoire ?)
- Transferts (avec ou sans changement géographique ou de secteur)

Comment évolue la qualité de l'emploi ?

- Hygiène et sécurité
- Conditions de travail physique (bruits, chaleur, posture, etc.)
- Conditions de travail psychologique (charges mentales)
- Evolution du temps de travail ? Evolution du travail posté ? Aménagement d'horaires ?
- Evolution de la qualification ?
- Evolution de la classification dans la convention collective ?
- Comment évoluent les différentes catégories de salariés (ouvriers, cadres, etc.) ?
- Comment évoluent les statuts (intérimaire, auxiliaire, contrat à durée déterminée, etc.) ?
- Comment évolue la politique de sous-traitance (sociétés de services, fournisseurs, etc.) ?

Formation et information

- Quelles reconversions sont nécessaires ?
- Quelle formation initiale et permanente ?
- Quelles informations sont diffusées aux travailleurs sur les conséquences du changement technologique ?

Liberté

- Comment évolue le contrôle social sur les travailleurs ? Contrôle des cadences, contrôle des erreurs, contrôle des déplacements ?

Les produits et les services

- Comment évoluent les produits (conception, qualité, possibilité de les réparer, etc.) sous l'influence de la robotique ?
- Ce système permet-il de créer des produits et services nouveaux ?

Bilan total du nouveau système robotique (prévu et/ou réalisé)

- Quel est le bilan économique et financier de ce système ?
- Comment est partagé l'accroissement de productivité :
  - hausse des salaires ? réduction du temps de travail ?
  - création de nouveaux emplois ? augmentation de la qualité de la vie ? etc.
- Quel serait le bilan d'un autre système ?

Source : Rapport de Y. Lasfargue au Conseil Economique et Social (adopté le 24 février 1982).

Remarque : un des principaux intérêts de cette grille est qu'elle est « agréée » par l'ensemble des acteurs sociaux (C.N.P.F. et syndicats de salariés).

(Document Agence de l'Informatique)

Les grandes familles de robots

Robot, manipulateur, bras articulé, télémanipulateur... Afin de s'y retrouver au milieu de tous ces matériels voisins, on a classé les robots par familles, en partant des matériels les moins automatisés pour arriver aux plus élaborés (ceux qui sont munis de capteurs d'environnement). On distingue ainsi quatre grandes familles de robots :

• Les **télémanipulateurs à commande manuelle** reproduisent à distance les mouvements de l'opérateur, éventuellement en les amplifiant. Il y a donc toujours un homme dans la **boucle de commande :** ce ne sont pas des machines automatiques. Ces appareils, du type maître-esclave, ont été initialement mis au point pour manipuler à distance les substances radio-actives ou pour exécuter des travaux en *milieu extrême*, par exemple en recherche sous-marine. Grâce à un système de **retour d'effort**, l'opérateur peut évaluer et doser l'effort exercé sur la pièce pour éviter de l'endommager. Certaines machines comme l'Andromat permettent de multiplier l'effort exercé par 100 et de déplacer sans effort des pièces très lourdes : leurs applications industrielles concernent la manipulation de lourdes pièces de forge et de fonderie ou des opérations dangereuses comme le meulage-ébarbage, lorsqu'il est nécessaire d'éloigner l'opérateur des pièces à traiter.

• Les **manipulateurs automatiques à cycles préréglés** voient leurs mouvements limités par des butées et des cames réglables à la main. D'où des séquences de travail toujours identiques, souvent des cycles combinant des montées-descentes et des rotations. Sur les installations automatisées, ces manipulateurs sont très nombreux. Généralement modulaires, on les construit comme des Meccano, à partir de composants mécaniques standard, pour des applications données. Ils servent, par exemple, au chargement-déchargement des machines et la manutention des pièces et composants sur des lignes automatiques d'usinage ou d'assemblage.

• Les **robots programmables** se distinguent des précédents en ce qu'ils effectuent des mouvements continus dans l'espace et qu'ils sont pilotés par des moyens électroniques ou informatiques. Les mouvements sont alors programmés, axe par axe et au ralenti, à l'aide d'un clavier ou d'un **syntaxeur**, sorte de manche à balai – comme celui des jeux vidéo – qui sert à faciliter intuitivement l'enchaînement de mouvements dans l'espace.
On peut aussi procéder par apprentissage. On guide alors directement le bras du robot pour lui apprendre la trajectoire ou on utilise un pantin articulé, réplique légère de la structure du robot, par exemple pour enregistrer les mouvements d'un peintre au pistolet. Pilotés par des ordinateurs ou des systèmes de commande numériques analogues à ceux des machines-outils automatiques, ces robots programmables assurent des manipulations et opérations diverses : soudage, usinage, découpe, peinture et pulvérisation, assemblage, etc.

• Les **robots dits « intelligents »**, qui identiques aux précédents, sont, en plus, équipés de capteurs pour percevoir leur environnement ; par exemple, un système de vision artificielle qui leur permet de suivre un joint en soudage. De telles machines analysent les modifications de leur espace de travail ou de leur trajectoire et savent réagir en conséquence. Quelques premiers modèles sont installés dans l'industrie pour effectuer des opérations de contrôle de fabrication ou le tri de pièces. Après la vision, ces robots « intelligents » seront dotés d'autres sens, notamment celui de l'ouïe, qui permettra de les commander à la voix, grâce à des systèmes électroniques de reconnaissance de la parole. Les robots domestiques qui vont nous assister dans notre vie quotidienne appartiennent à cette famille ; leurs capteurs de proximité les renseignent sur les obstacles placés sur leur route afin qu'ils puissent les contourner.



Un robot « intelligent » : il reconnaît des circuits imprimés et vérifie leur montage.

A l'imitation de l'homme

On connaît les mannequins de cire du musée Grévin, parfaites imitations de leurs illustres modèles. Il ne leur manquait que le mouvement et la parole. C'est aujourd'hui chose faite, puisqu'il existe des robots anthropomorphiques construits à l'image de l'homme. Versions actuelles des automates de Vaucanson, ils ont bénéficié des progrès de la miniaturisation de l'électro-mécanique.
Au musée des Sciences et Techniques de La Villette, vous serez accueillis l'an prochain par Einstein en personne, ou plutôt par un robot, réplique grandeur nature du célèbre savant. Il vous expliquera lui-même la théorie de la relativité grâce à un système de synthèse électronique de la parole. Son inventeur, Bernard Szajner, termine actuellement la mise au point de ce robot, actionné par des moteurs électriques et des électrovérins.

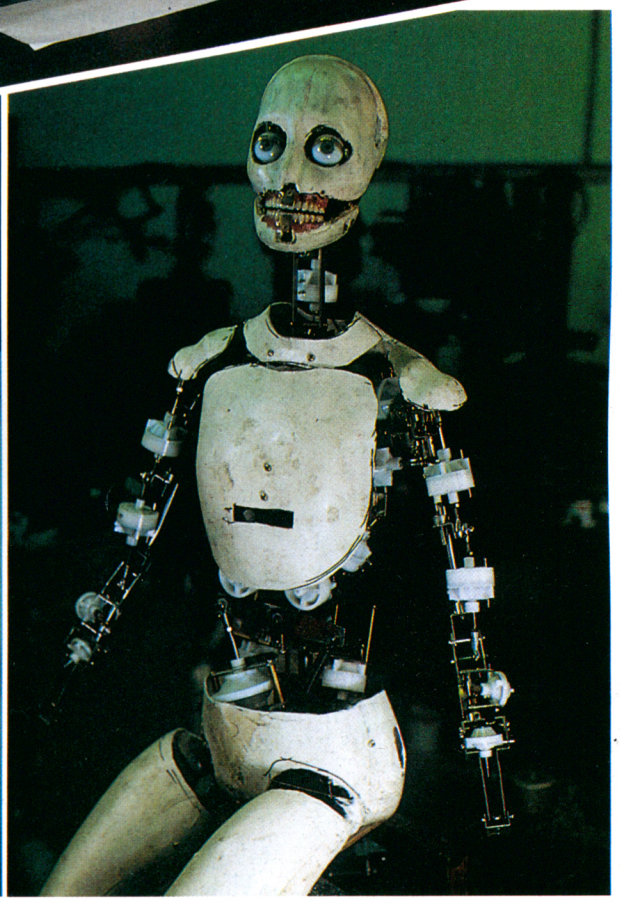
Les Japonais se sont déjà illustrés dans la construction de tels automates : le robot de Marilyn Monroe, construit par le professeur Shunichi Mizumo, joue de la guitare et chante *La rivière sans retour* avec la voix de la star. C'est un ordinateur qui pilote ses dizaines de micro-moteurs électriques et ses électro-aimants pour donner un aspect vivant au visage et au corps de la belle Marilyn !
Le professeur Mizumo a également construit un robot qui est le sosie de John F. Kennedy et travaille à la mise au point d'un orchestre de cinquante robots-musiciens.



Le robot *Einstein* et son inventeur, Bernard Szajner.



Le robot *Marilyn Monroe*, habillé et « nu ».



La recherche

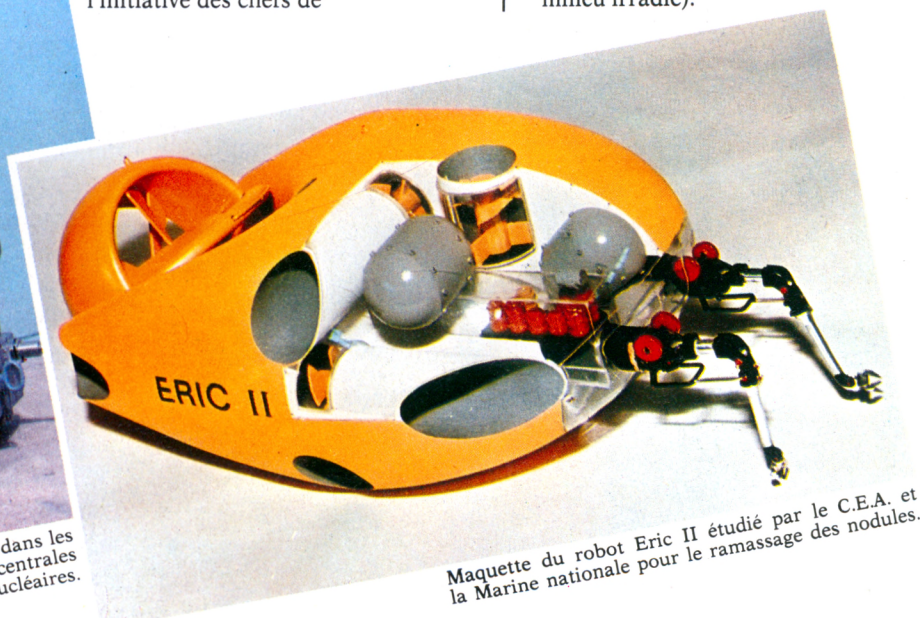
La recherche française en robotique mobilise environ 500 chercheurs privés et publics. Le principal programme de recherche publique est piloté par le Centre National de la Recherche Scientifique : ARA (Automatisation et Robotique Avancées) coordonne les travaux de 250 personnes appartenant à 45 équipes dans 38 laboratoires du CNRS. ARA s'articule en quatre grands pôles : robotique générale, télé-opération avancée, mécanique et technologie pour la robotique, ateliers flexibles. Des industriels et des centres techniques professionnels y sont associés, notamment pour l'étude de cellules flexibles d'assemblage automatique. Une trentaine d'entreprises sont associées au suivi d'ARA.
La recherche en robotique médicale et en biomécanique se poursuit notamment à Montpellier et prolonge les travaux initialement entrepris dans le cadre du programme Spartacus pour l'assistance aux handicapés.
Dans le domaine de l'intelligence artificielle et des logiciels évolués, les équipes de Grenoble ont mis au point un langage spécifique de commande pour robots et des systèmes de reconnaissance de forme et de vision tridimensionnelle.
Le couplage d'un système de vision artificielle et d'une commande vocale expérimenté au Limsi CNRS d'Orsay a conduit au développement industriel de cartes électroniques de synthèse et de reconnaissance vocales. Enfin des robots mobiles ont été expérimentés, notamment le robot Hilare, à Toulouse.

RAM : des robots à tout faire

Des robots vont nettoyer les autobus et les usines, intervenir au fond des mines et des océans, réparer les centrales nucléaires, débroussailler les sous-bois, tout faire à la maison... Ce sont les robots RAM (Robots Automoteurs Multi-services). Ils doivent être étudiés et mis au point dans le cadre d'un programme international de recherche sur dix ans qui a démarré l'an dernier et dont le but est de mettre au point des engins mobiles (automoteurs) pouvant assister l'homme dans diverses tâches (multi-services).
Ce programme RAM a été lancé à l'initiative des chefs de gouvernements réunis au sommet de Versailles, en juin 1982.
Il associe la France et le Japon, pays pilotes, avec cinq autres partenaires : Canada, États-Unis, Italie, Grande-Bretagne et Allemagne fédérale. Le projet est suivi en France par le Cesta qui a établi sept sous-programmes par thèmes : agriculture (robots forestiers, notamment pour le débroussaillage de la forêt landaise) ; mines (pour l'abattage et le soutènement des galeries) ; océan (robots d'assistance aux travaux sous-marins) ; ateliers (pour le nettoyage et l'entretien) ; robot domestique (étudié par la Régie Renault) ; robots de nettoyage industriel (pour les autobus et les locaux industriels) ; enfin robots nucléaires (pour intervenir en milieu irradié).



Tomi, robot mobile intervenant dans les zones irradiées des centrales nucléaires.

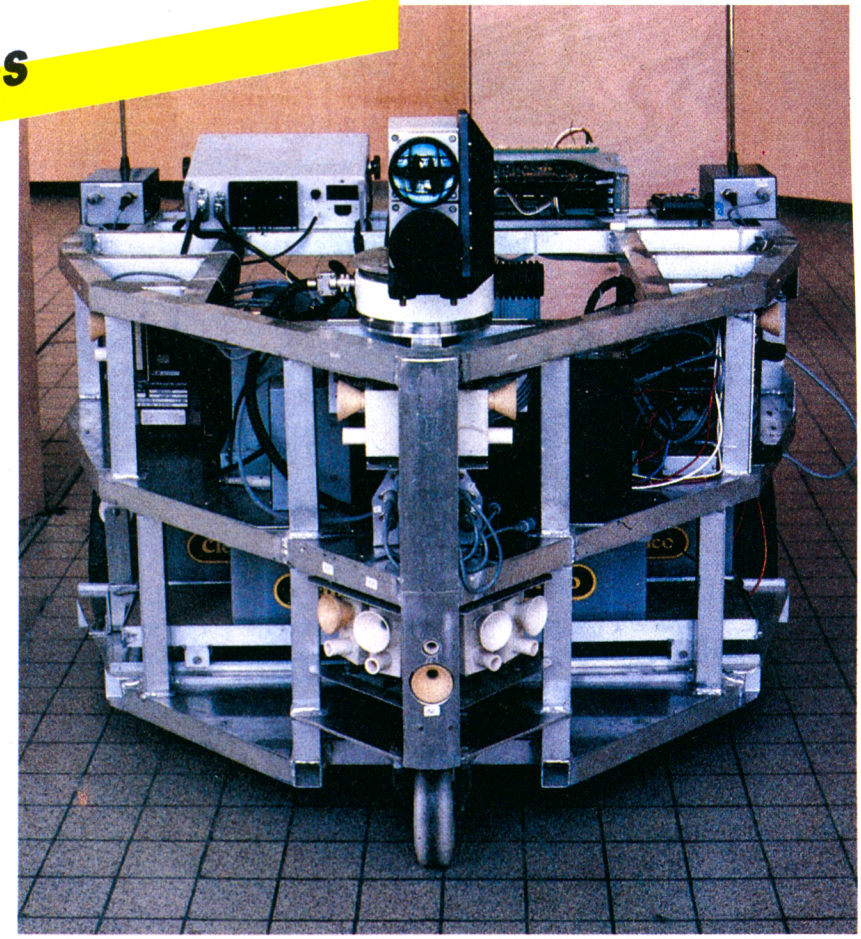


Maquette du robot Eric II étudié par le C.E.A. et la Marine nationale pour le ramassage des nodules.

Les robots mobiles

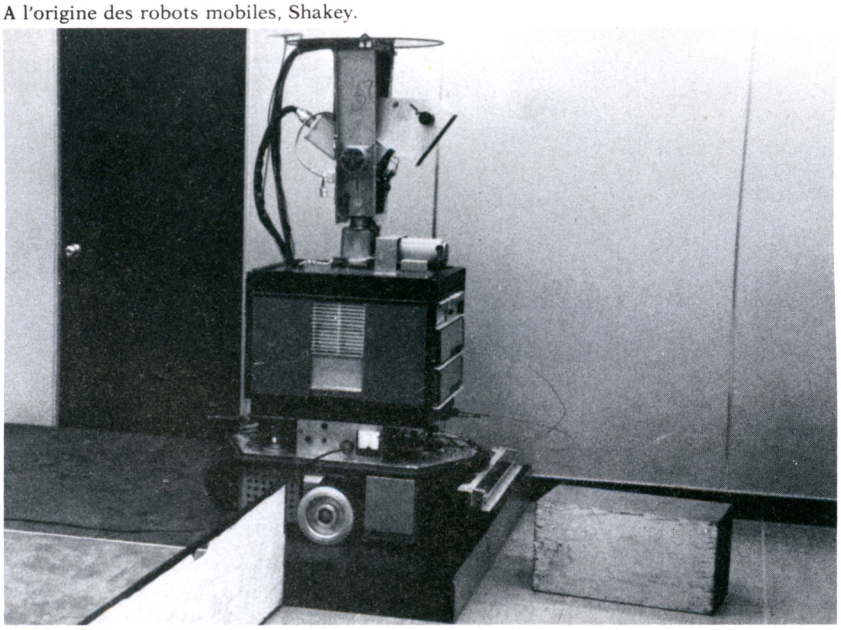
Quels sont les ancêtres des robots domestiques ? Non pas les modèles industriels, généralement fixés au sol, mais plutôt les robots mobiles capables de se déplacer seuls dans un environnement quelconque. L'un des vieux rêve des cybernéticiens : créer une intelligence artificielle...
De tels robots ont été expérimentés dès les années cinquante par les disciples de Norman Wiener. On se souvient des tortues britanniques du neurologue Grey Walter, attirées et repoussées par des sources lumineuses, tels des papillons autour d'une lampe, et, en 1960, de la « bête » d'Hopkins qui détectait les prises de courant pour venir s'y recharger.
Dès l'avènement de l'informatique, ces jouets-automates cèdent la place à des engins mobiles plus perfectionnés pilotés par des mini-ordinateurs. Le plus célèbre est Shakey, étudié de 1965 à 1973 au *Stanford Research Institute* par l'équipe de John Mac Carthy – il s'agissait de doter une machine d'une intelligence artificielle, afin d'en coordonner, grâce à un ordinateur, les organes capteurs et moteurs. Muni d'une commande de TV et bardé d'équipements complexes, Shakey sait trouver seul son chemin dans une pièce encombrée d'objets. Il réalise un certain nombre de tâches complexes, par exemple regrouper des objets qu'il pousse sur un plan incliné. Il fait toutefois appel, en annexe, à une infrastructure informatique complexe avec liaison radio.
Plusieurs autres robots mobiles sont ensuite expérimentés ; ainsi Jason, construit en 1970 à Berkeley, dispose déjà d'un véritable micro-ordinateur embarqué et de capteurs infrarouges. En France, le LAAS à Toulouse expérimente, depuis 1977, un robot mobile appelé Hilare, version améliorée de Shakey. Il sert de support expérimental aux chercheurs du CNRS dans le cadre du programme ARA (Automatique et Robotique Avancées).
Signalons une application industrielle particulière des robots mobiles : ils sont l'un des éléments clés des ateliers flexibles automatisés dans lesquels les pièces à usiner ou à assembler sont transportées d'une machine à l'autre par de tels chariots-robots téléguidés. Pilotés par des ordinateurs, ces robots mobiles suivent des chemins complexes matérialisés par des câbles inductifs enterrés dans le sol.
Rappelons enfin les souris électroniques, petits robots mobiles capables de se mouvoir dans un labyrinthe inconnu et d'en trouver la sortie. Les concours de souris, organisés depuis quelques années, ont permis aux fans de la micro-robotique de faire leurs premières armes.

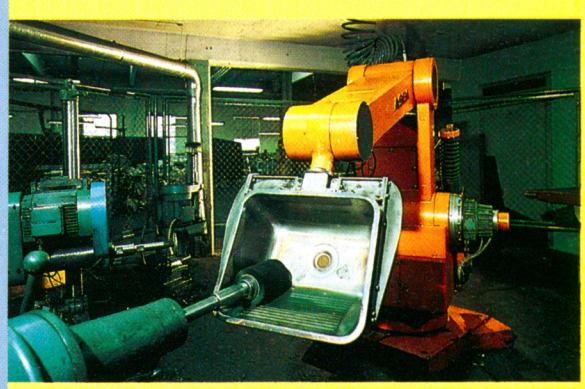
in *Tilt*, par Claude Gelé (avril 1984).

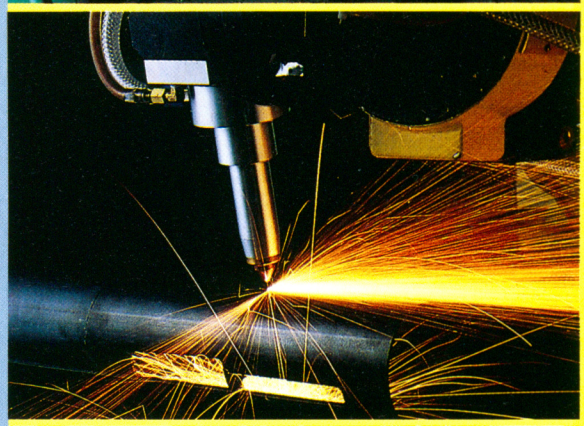


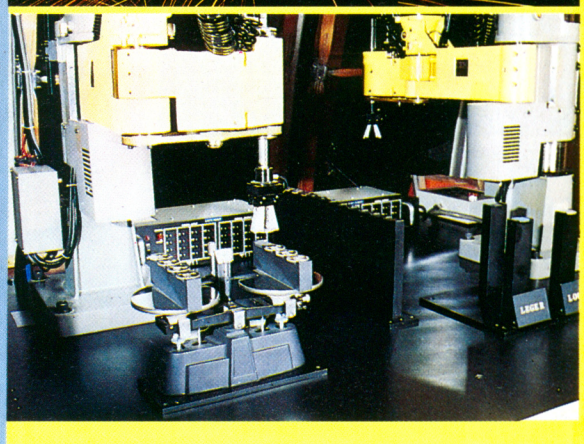
Hilare, étudié au CNRS de Toulouse.

A l'origine des robots mobiles, Shakey.









Robot de polissage d'éviers.

Robot équipé d'un système de découpe au laser.

Robot d'assemblage de pièces.

Les applications aujourd'hui

LE ROBOT TIENT LA PIÈCE

- **Transport simple**
  ... de position fixe à position fixe
- **Transport complexe**
  ... de convoyeur à convoyeur
  ... palettisation
  ... mise en piles
  ... mise en cartons
  ... assortiment
- **Chargement et déchargement de machines**
  ... coulée en moules
  ... coulée en pression
  ... moulage par injection
  ... machines d'usinage
  ... presses à froid et à chaud
  ... fours de traitement
  ... découpe du verre
  ... machines à souder
  ... machines à braser
- **Manipulation en cours d'opération**
  ... forge
  ... démoulage

Comment
Son extrémité est munie de :
– une pince
– des ventouses
– un électro-aimant
– un crochet ou plusieurs
– une pelle

LE ROBOT TIENT L'OUTIL

- **Travail des métaux**
  ... découpe au chalumeau
  ... meulage
  ... grignotage pneumatique
  ... coupe au jet d'eau
- **soudure**
  ... par points
  ... à l'arc
  ... rivetage
- **Traitements de surface**
  ... peinture et laque
  ... projection de compound
  ... projection de poudres pour émaillage
  ... finition des céramiques
  ... nettoyage au jet d'eau
  ... pose de mastics
- **Contrôles dimensionnels**
- **Autres**
  ... polissage des glaces
  ... marquage

Comment
Son extrémité est munie de :
– une meule
– un tournevis
– une perceuse
– une scie portative
– un crayon
– un pistolet à peinture
– un pistolet à mastic
– ...

ASSEMBLAGE

... alternateurs d'automobile
... moteurs électriques
... sous-ensemble de machines à écrire

in *Les robots : une stratégie industrielle,* par Didier Leroux (Hermès).

Les applications demain

VULGARISATION

- **Manutention**
  Manutention dans des bains
  Traitement des noyaux de fonderie
- **Travail de métaux**
  ... Sciage de jets de fonderie
  ... Ébavurage de l'alu
  ... Perçage dans des plaques
- **Travail du plastique**
  Détourage des plastiques formés
- **Soudure** des composants
- **Traitement de surface**
  ... Polissage de l'inox
- **Contrôle**
  ... notamment en micro-électronique
- **Nettoyage** à la vapeur des automobiles après livraison

NOUVEAUX SECTEURS

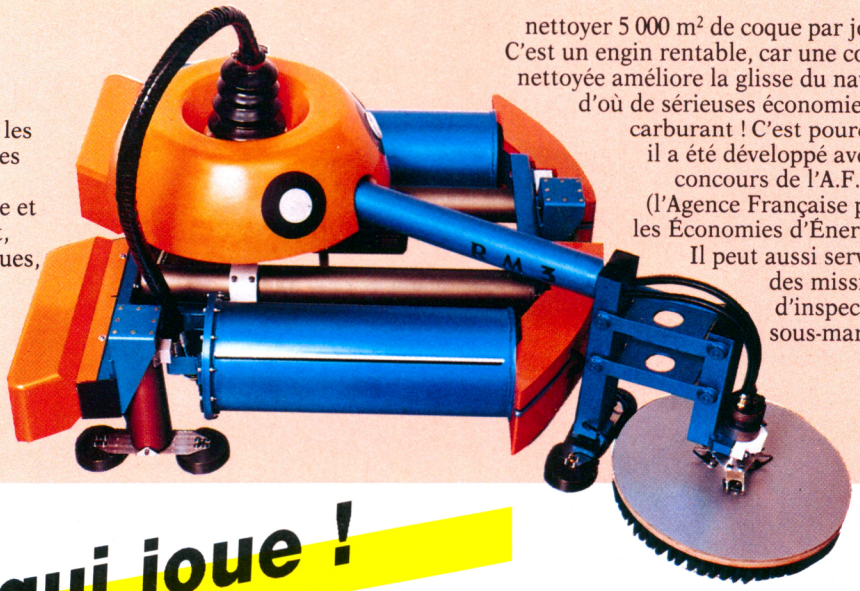
- **Bâtiment**
  ... Manutention des briques
  ... Soudure des charpentes
  ... Nettoyage des grands immeubles
- **Industrie navale**
  ... Nettoyage des cales de navires
  ... Peinture des coques
- **Élevage**
  ... Traitement des animaux
  ... Tonte des moutons
  ... Abattoirs
- **Aviation**
  ... Perçage des tôles
  ... Assemblage par rivetage ou collage
- **Habillement**

TRAVAIL A L'UNITÉ
TÉLÉMANIPULATEUR ET C.F.A.O.

EDUCATION
– Bras multisoft
– Tortue logo
– Ascenseur programmé, etc.

Un robot-laveur

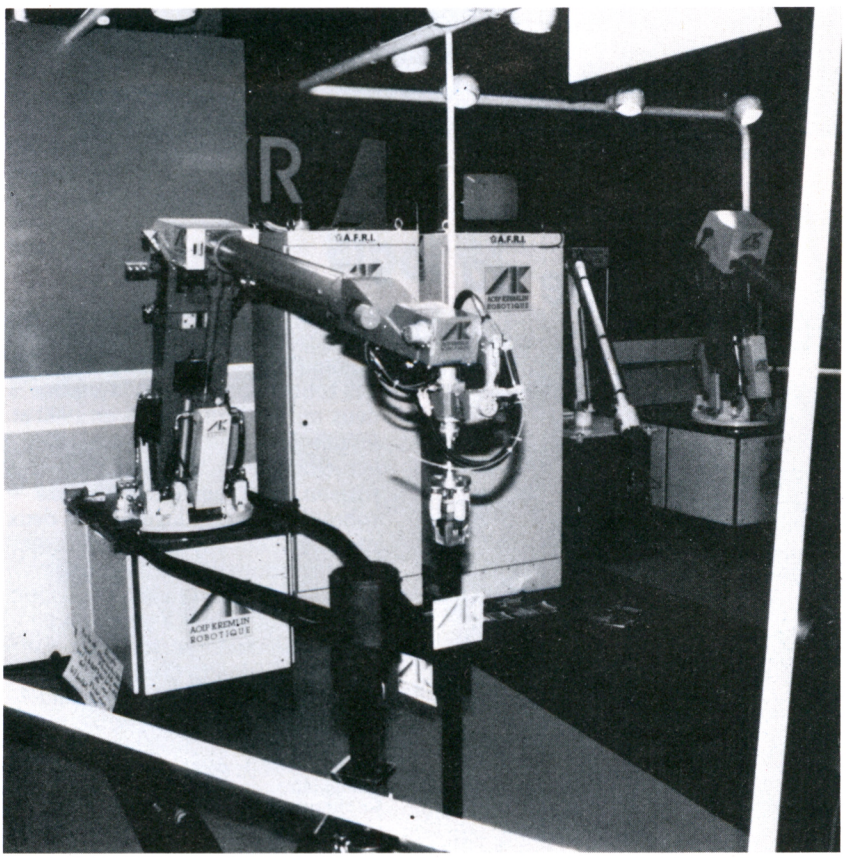
Un exemple de robot d'intervention : le RM3, mis au point par les Chantiers de Dunkerque. Il sert à caréner les coques de navires, c'est-à-dire à les nettoyer pour les débarrasser des algues et des coquillages.
Il est muni d'une brosse rotative et ses quatre pattes lui permettent, grâce à des ventouses magnétiques, de se déplacer tout seul comme un insecte.
Des capteurs à ultrasons lui permettent de contourner les obstacles.
Avec une vitesse de progression de 330 m à l'heure, il peut nettoyer 5 000 m² de coque par jour ! C'est un engin rentable, car une coque nettoyée améliore la glisse du navire, d'où de sérieuses économies de carburant ! C'est pourquoi il a été développé avec le concours de l'A.F.E.E. (l'Agence Française pour les Économies d'Énergie). Il peut aussi servir à des missions d'inspection sous-marine.

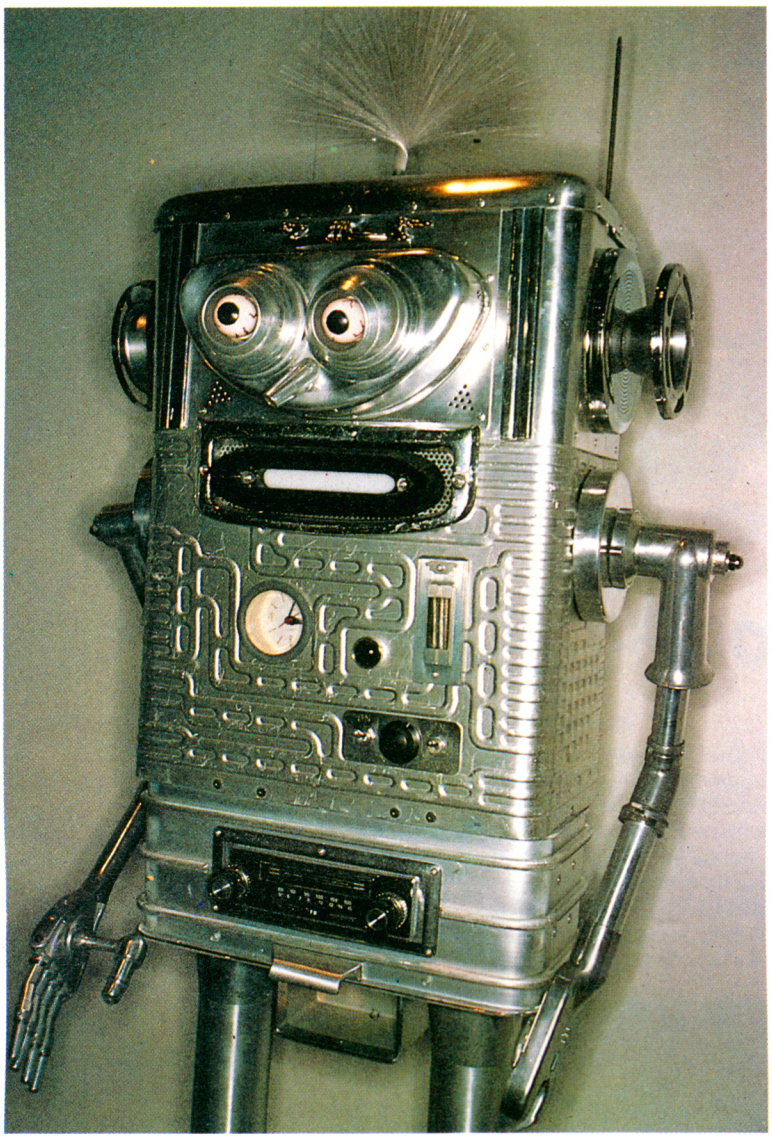


Un robot qui joue !

Finies les crises de nerfs ! Le Rubik's Cube, le célèbre casse-tête hongrois, a enfin trouvé son maître : un robot, qui reconstitue, seul, le cube mélangé.
Lors du concours de robots organisé à Micro Expo en mai 1984, Alain Hairie, un bricoleur informaticien, a présenté cette curieuse machine munie de trois moteurs pour manipuler le cube face par face et le remettre en ordre. Trois temps, trois mouvements : tout d'abord, elle lit les couleurs de trois faces du cube mélangé, et cela grâce à une matrice de diodes vertes, rouges et jaunes associées à des cellules photo-électriques qui détectent la lumière réfléchie, ensuite on fait tourner le programme de résolution de l'algorithme du cube sur un micro TRS 1 de 16 K de mémoire ; enfin la solution trouvée par l'ordinateur sert à commander les mouvements des moteurs de la machine qui effectuent alors tout seuls les rotations face par face. Cet astucieux robot fait appel à des pièces du type Meccano.
Signalons toutefois que, voici deux ans, à l'exposition mondiale de la machine-outil de Paris, AKR, constructeur français de robots industriels de peinture avait présenté cette reconstruction du Rubik's Cube sur son stand. Mais si la recherche de la solution ne prenait alors, grâce à un processeur spécifique sur micro 16 bits 68 000, que quelques minutes, la manœuvre du cube demandait une bonne demi-heure : le robot de peinture à usage industriel n'avait pas été, il est vrai, conçu pour cela !
Passionné de robots et de jeux, Alain Hairie a également construit un robot pour jouer à la Tour de Hanoï. Il s'agit de reconstituer un empilement de rondelles de différents diamètres en optimisant le nombre de coups. Ce second robot-machine fait appel à la commande vocale et à la mesure des diamètres par capteurs spéciaux. Bel exemple d'association de la micro-mécanique aux concepts d'intelligence artificielle !

Le robot AKR reconstituant le Rubik's Cube.





Un robot à l'image de l'Homme ?

« La guerre des Étoiles »

C'est à Hollywood que l'on doit, en fait, l'actuelle vogue des robots. Jusqu'au milieu des années soixante-dix, ces derniers étaient restés à la fois mythiques et redoutés ; films et littérature de science-fiction leurs donnaient rarement le beau rôle ! Puis tout à coup, l'énorme succès de la trilogie de Georges Lucas, *La Guerre des Étoiles*, mit en relief deux vedettes inattendues : C3P0 et R2D2, qui devinrent bien vite les deux plus célèbres robots du monde et firent presque oublier le Golem, Frankenstein et autres cerveaux d'acier ou automates effrayants qui se limitaient à singer l'homme avec raideur.

Des jouets animés de plus en plus perfectionnés sont construits à l'image des deux compères hollywoodiens... Ces sympathiques robots ont su réveiller l'instinct ludique et le sens du merveilleux qui sommeillent en chacun de nous !

Ainsi Nolan K. Bushnell a créé ensuite, en Californie, la firme Androbot pour y construire Bob, robot qui tire son nom de *Brains on Board* pour bien marquer son niveau d'intelligence embarquée. Nolan Bushnell déclarera : « Nous refusons de faire de Bob un simple exécutant des tâches domestiques, il peut beaucoup plus [...] ; les yeux de Bob sont tournés vers les étoiles ».

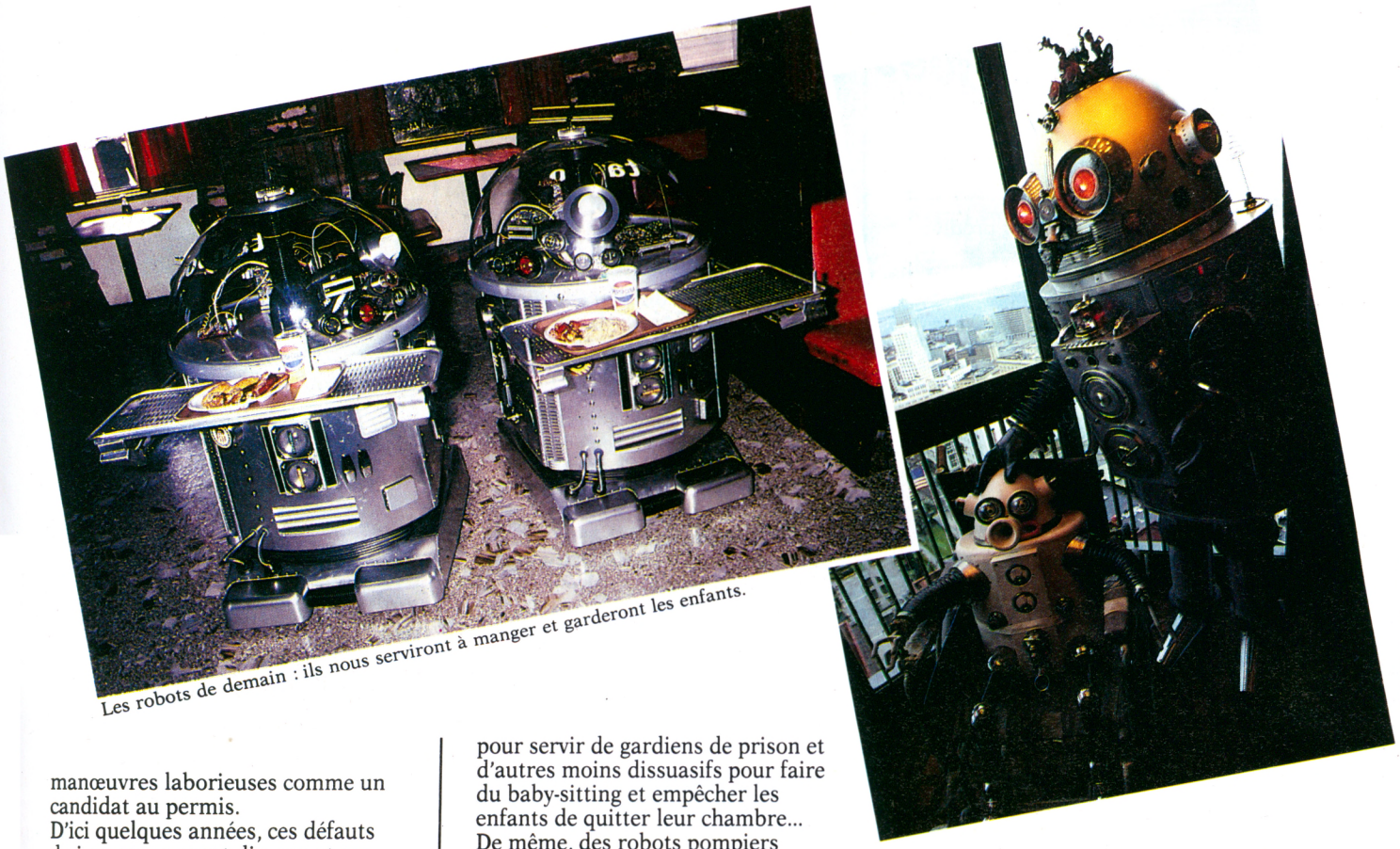
La nouvelle fée du logis



Les experts américains de Future Computing estiment que le marché des robots domestiques atteindra deux milliards de dollars en 1990 et qu'une personne sur dix possédant actuellement un ordinateur à la maison fera l'acquisition d'un tel robot. Explication logique : les deux matériels font appel au même type de programmation et de langage informatique. La plupart des robots actuels sont pilotés à partir d'un micro-ordinateur personnel (Apple II, IBM-PC, Commodore...) par télécommande infrarouge ou ultra-sonore.

Denby, robot de démonstration publicitaire construit par World of Robot. Ce robot qui mesure 1,50 m peut être loué chez Publi-Robot, société spécialisée dans l'animation des stands.

On peut imaginer ainsi que plusieurs robots « spécialisés » pourront effectuer des tâches différentes dans la maison et seront pilotés à partir d'un même ordinateur central bardé de logiciels interactifs. Mais il est certain qu'à l'image de leurs grands frères de l'atelier, les robots de la maison intégreront une part d'intelligence et de logique grâce à des micro-ordinateurs embarqués. C'est déjà actuellement le cas avec les modèles haut de gamme comme Bob XA d'Androbot, Genus de Robotic International ou Hubot de Hubotics. Leur prix est élevé, de 3 000 à 8 000 dollars, et leurs possibilités restent limitées : ils parlent encore d'une voix caverneuse lorsqu'ils donnent l'heure et la température ambiante ; lorsqu'ils tentent d'éviter les obstacles, ils effectuent des



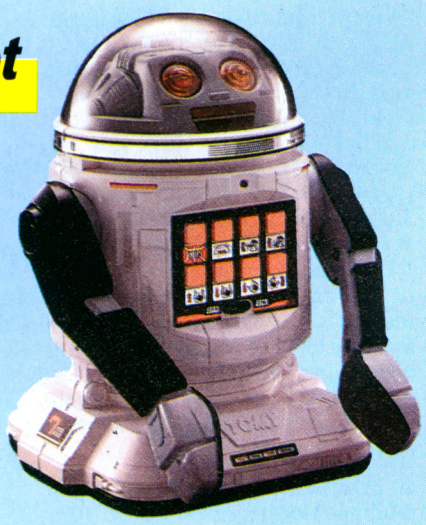
Les robots de demain : ils nous serviront à manger et garderont les enfants.

manœuvres laborieuses comme un candidat au permis.
D'ici quelques années, ces défauts de jeunesse auront disparu et ces robots mobiles – équipés de puissantes batteries miniaturisées – se déplaceront avec précision et rapidité. On croit savoir que les Japonais étudient actuellement un robot chat ultra-rapide, le Miaow-moko : il court après les souris et les attrape !
Dotés de capteurs de vision et de reconnaissance vocale, faisant appel aux systèmes experts et à l'intelligence artificielle, les robots de 1990 pourront prendre des décisions face à une situation donnée. Par exemple, ils donneront l'alarme en cas d'intrusion ou s'ils n'identifient pas les voix familières des occupants de la maison.
Ils surveilleront les fuites de gaz ou d'eau ou les écarts climatiques grâce à des capteurs élaborés.
Ils répondront au téléphone et apporteront le combiné sans fil au fond du jardin... dont ils auront, la veille, tondu le gazon. Ils aideront à transporter les plats et à mettre le couvert et passeront l'aspirateur en l'absence de la maîtresse de maison. Enfin, ils joueront aux échecs ou à tout autre jeu électronique, ou vous feront la conversation en plusieurs langues...
Tout cela apparaît parfaitement réalisable lorsqu'on extrapole les fonctions des modèles actuels : sont déjà expérimentés des robots armés pour servir de gardiens de prison et d'autres moins dissuasifs pour faire du baby-sitting et empêcher les enfants de quitter leur chambre...
De même, des robots pompiers munis de capteurs thermiques se dirigent automatiquement vers les flammes et les arrosent d'un jet de CO_2 grâce à leur extincteur embarqué...
On assiste actuellement aux États-Unis à une vague de « robomanie » : les clubs de jeunes roboticiens, calqués sur ceux de la micro, font montre d'une foisonnante imagination.
Des retombées industrielles de leurs travaux en logiciel et en construction de machines prototypes sont prévisibles dans les foyers d'ici la fin de la décennie.
Il faut enfin prendre en compte le rôle éducatif et ludique du robot domestique. C'est actuellement la raison d'être du plus célèbre d'entre eux, Hero 1, vendu par la firme Heathkit comme support de son cours de robotique.

in *Sciences & Techniques,* n° 7, par Claude Gelé (septembre 1984).

Parlez... le robot vous obéira !

Petite merveille de la firme Tomy : le robot du type R2D2 *(Guerre des Étoiles)* à commande vocale vendu 250 F au Japon. Il peut mémoriser huit ordres en n'importe quelle langue, après apprentissage au micro. Cette performance laisse présager une sérieuse avance des Japonais dans le domaine de la parole électronique !



Des périphériques mobiles

Nolan K. Bushnell, enfant prodige de la Silicon Valley est déjà le « père » des jeux vidéo et l'illustre fondateur d'Atari. Androbot, la société californienne qu'il créa en 1981, propose une famille de trois robots Topo, Fred et Bob.

● Topo est actuellement piloté à distance (30 m) avec un Apple II. Grâce à cet ordinateur, tous ses mouvements peuvent être décrits en Basic et en Forth avec sa variante Toposoft, ou en langage intuitif Logo, qui facilite les déplacements selon des parcours géométriques définis sur l'écran. On peut aussi le guider simplement à la main, grâce à un bouton placé sur sa tête : Topo obéit au doigt et marche alors à vos côtés, tel un chien fidèle... Parmi les accessoires, une table roulante, l'Androwagon, pour servir l'apéritif ou apporter divers objets ! Haut de 90 cm environ, et pesant 18 kg, Topo a des allures d'extra-terrestre avec sa tête pyramidale et ses grands yeux écarquillés. Il est construit en matière plastique thermoformée sur un châssis métallique renfermant les trois batteries rechargeables. Il parle n'importe quelle langue, grâce à un module de synthèse par association des 64 phonèmes de la langue anglaise. Il suffit d'écrire directement au clavier de l'ordinateur le nom ou la phrase à prononcer : l'ordinateur en assure la transcription automatique.

● Un deuxième modèle, plus petit – 30 cm de haut –, appelé Fred *(Friendly Robotic Educational Device)*, également télécommandé, possède un stylo rétractable pour tracer ses parcours, dessiner ou écrire sur un parquet ou un bureau. Il dispose d'un vocabulaire plus restreint de 45 mots préenregistrés. Bien qu'autonome, il pourra être également piloté à partir de plusieurs micros ; IBM-PC, TRS 80, Commodore, Sinclair...

● Quant au troisième de la famille, Bob XA, avec son ordinateur embarqué IBM-PC, c'est un haut de gamme qui dispose de nombreux perfectionnnements par rapport au premier modèle de Bob, créé par Nolan Bushnell en 1982.

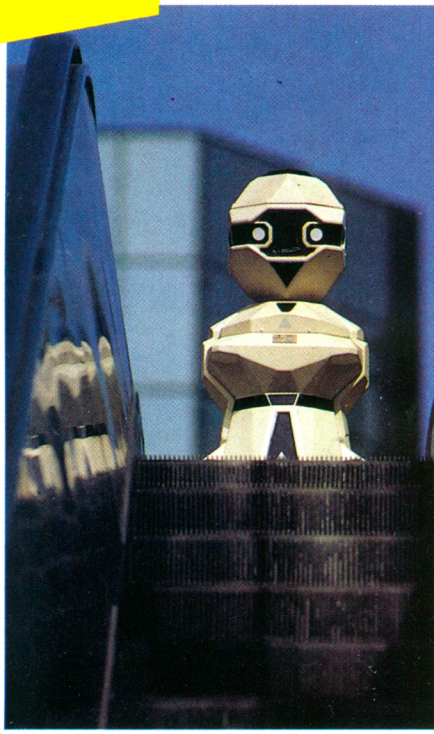
Ce nouveau Bob a été présenté en juin dernier au *Summer Consumer Electronics Show* de Chicago. Robot autonome – à intelligence embarquée – il peut accomplir non seulement des tâches domestiques, mais assurer le gardiennage de la maison. Il est doté de sens : cinq capteurs à ultrasons l'aident à localiser et à contourner les objets avec une précision de trois centimètres ; dirigé vers le sol, l'un des capteurs empêche les chutes dans les escaliers ! Deux des capteurs ultrasensibles à infrarouge lui font distinguer les objets inertes des humains, qui rayonnent des calories : il se dirige donc vers vous lorsque vous entrez – et non vers la table – et vient vous parler, grâce à son synthétiseur vocal ! Avec un tel niveau d'équipement, ce robot autonome pourra donc surveiller la maison, enseigner les langues étrangères, mémoriser des recettes de cuisine et vous assister dans diverses tâches... Il ne lui manque encore que la vision !

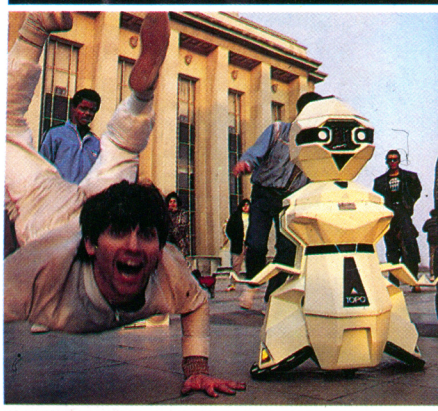
in *Sciences & Techniques*, n° 3, par Claude Gelé (avril 1984).

Voyage en Californie : Robotic Valley ?

Je me retrouve bientôt face à Topo qui me salue en français avec un petit accent américain. Je suis bien chez Androbot, créateur de Bob, Fred, Topo et du nouveau Bob XA, toute une génération de robots domestiques. Pour entrer en matière, Bob XA me sert une bière sur un plateau. Je l'ingurgite et m'en vais explorer l'usine. Drôle d'impression devant ces corps vides de robots. Dans un coin, un Topo, mais gris... *« No photo !* C'est une étude pour l'armée américaine », m'explique-t-on, des robots démineurs. La Silicon Valley, c'est également beaucoup de recherches pour l'armée ! [...]

in *Sciences & Techniques*, n° 3, par Philippe Gontier (avril 1984).





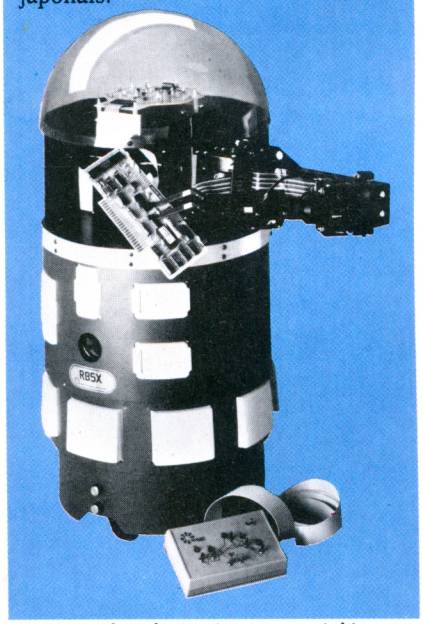




Topo, de la société Androbot, un robot aux allures d'extra-terrestre.

Les esclaves de demain

Qui n'a pas un jour rêvé d'avoir chez soi un petit robot serviable et docile, qui effectue les tâches ménagères et, pourquoi pas, sache parler ?
Les prototypes de ces sympathiques esclaves existent déjà. Citons entre autres Topo, une petite merveille ! Pas à la portée de toutes les bourses, mais qui a de quoi faire rêver.
Si vous le programmez correctement, il peut naviguer au milieu de vos invités, leur servir à boire sans les asperger, porter leurs manteaux et même leur chanter la chanson que vous lui avez apprise. Et il parle anglais, espagnol et japonais.



RB5X, robot domestique conçu à l'image du célèbre R2D2 de *la Guerre des Étoiles*.

Le Hero du jour

Heathkit – les célèbres kits – a lancé en 1983 le robot Hero 1, déjà vendu à 8 000 exemplaires aux États-Unis – il est vendu, soit monté, soit en kit. Cette dernière option est difficilement transposable en France, comme l'explique Thierry Dupont, responsable marketing de Dinotec : « Le montage de Hero 1 nécessite l'assemblage de 5 000 pièces et 3 000 soudures ! La moindre erreur peut être fatale au fonctionnement du robot. Aux États-Unis, la vente en kit est une habitude bien ancrée, mais en France nous pourrions difficilement intervenir en cas de pépin, du moins à l'échelle actuelle ». Robot de première génération, Hero 1 est avant tout un produit à vocation didactique. Equipé de capteurs de proximité et d'un radar volumétrique – semblable à ceux des systèmes d'alarme anti-intrusion – pour déceler les mouvements dans une pièce, il peut aussi détecter les bruits et les voix, ce qui en fait un « bon » gardien de la maison. Enfin, tout comme Bob, il parle n'importe quelle langue par assemblage des 64 phonèmes de la langue anglaise. Doté d'une horloge-calendrier, il énonce enfin l'heure et la date, ce qui ne manquera pas de réjouir les fidèles de l'horloge parlante. Hero 1 met en œuvre un microprocesseur Motorola 6808 programmé, soit directement à partir du clavier placé sur la tête, soit par apprentissage des mouvements décomposés à vitesse lente, à l'aide d'un boîtier annexe, selon la technique déjà utilisée pour les robots industriels.
La sauvegarde des programmes s'effectue sur cassettes magnétiques ou sur mémoires Prom. Et en cas d'erreurs répétées de manœuvre, Hero 1 vous apostrophe ainsi : « Il n'y a pas de mauvais robots, il y a seulement des robots mal programmés » !

in *Sciences & Techniques*, n° 3, par Claude Gelé, (avril 1984).

Hero 1

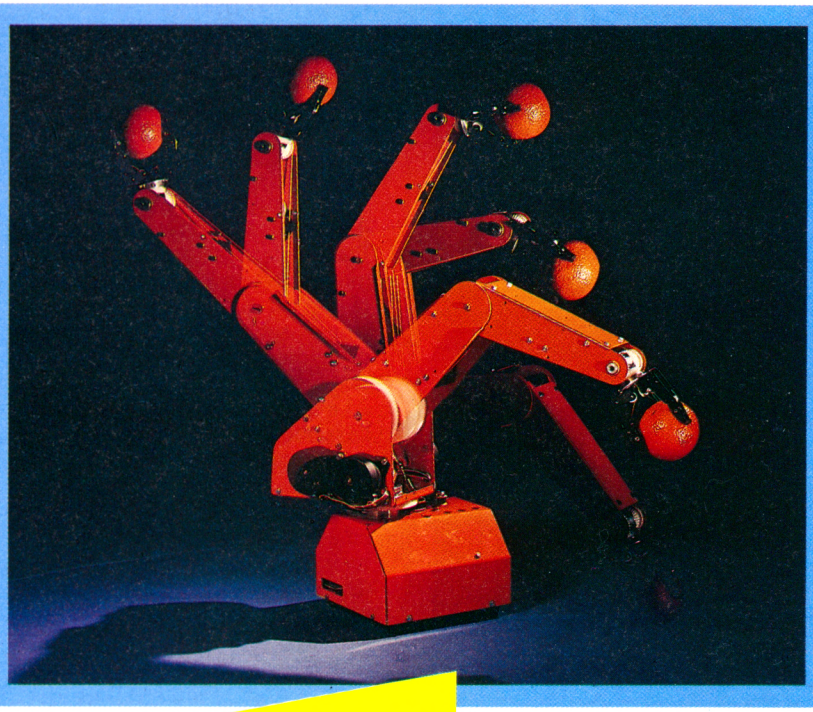


Pic et Poke... le robot Colégram

Lorsqu'il mit au point le projet de son émission, *Pic et Poke*, pour TF1, Georges Leclère décida de s'adjoindre un sympathique complice : le robot Colégram, cousin du D2R2 de la *Guerre des Étoiles*.
Ce robot Hero 1 qui avait été conçu et réalisé dans un but éducatif, Georges Leclère l'utilisa, lui, pour démystifier le dieu Ordinateur et son bras Robot.
Cette mascotte d'émission télévisée n'a rien du robot utilitaire, outil privilégié des industries de pointe, ni du robot dangereux et inquiétant dont nous parle la science-fiction, de cet énigmatique concurrent de l'homme dans le domaine de l'intelligence. Car, si Colégram peut faire preuve d'intelligence, il est bien entendu que ses comportements sont uniquement le fruit du travail de son programmeur.
Ses interventions sympathiques auraient ainsi très bien pu être confiées à un ordinateur. Celui-ci, programmé pour « intervenir » à un moment donné, l'aurait fait, lui, au moyen d'images graphiques, d'un texte ou d'une voix synthétique. Pourtant, Colégram a une dimension de plus que l'ordinateur. Il est présent physiquement, il peut toucher, prendre et bouger... La dimension ludique et la richesse de possibilités d'Hero 1 en font un outil pédagogique idéal ; Georges Leclère a compris qu'il pouvait aussi être un instrument de démystification de la robotique.

Multisoft

Conçu pour l'enseignement et la recherche, le robot Multisoft peut être piloté par tout micro-ordinateur et en particulier par le TO 7, le TO 7-70 et le MO5. Il est directement connectable sur le contrôleur de communication et programmable en Basic.
Un programme de commande et d'apprentissage utilisant le crayon optique permet de faire exécuter au robot toutes sortes de mouvements et de saisies de pièces (maximum 300 g). Les séquences de mouvements peuvent être mémorisées sur cassette ou sur disquette.
Avec cet outil, les roboticiens en herbe se mettront facilement à la *manipulation multifonctionnelle reprogrammable.*



Le robot Multisoft.

Comment les programmer

Tout comme les micro-ordinateurs personnels, les robots domestiques sont avant tout des matériels pédagogiques. Ils disposent donc de volumineuses notices d'utilisation, notamment Hero 1, de Heathkit, le support du cours de robotique diffusé par cette société spécialisée dans les matériels en kit.
Pour Hero 1, les mouvements du bras et de la pince sont programmables au ralenti à l'aide du boîtier annexe de télécommande. Première opération : initialiser le robot, c'est-à-dire remettre ses axes à zéro. De sa voix caverneuse, Hero 1 indique alors : *« Ready »*. Si ses batteries sont à plat, il prévient : *« Low voltage »*. On procède ensuite, axe par axe, au ralenti, à l'aide du boîtier qui comporte un contacteur rotatif de sélection des mouvements, un interrupteur, un inverseur et une gachette. Chaque axe est successivement programmé et on mémorise l'amplitude des mouvements choisis. Pour enchaîner ces derniers, on appuie sur la touche LEARN en spécifiant l'adresse mémoire de départ et celle d'arrivée.
On peut aussi entrer directement des ordres au clavier placé sur la tête du robot, par des nombres hexadécimaux pour programmer le microprocesseur 6808 en langage nucléaire. Pour simplifier cette opération fastidieuse, on peut recourir, dans une étape ultérieure, à un langage interpréteur qui convertit les ordres en clair en langage nucléaire.
Pour le faire parler, on procède par assemblage des 64 phonèmes de la langue anglaise ; un dictionnaire donne les équivalents phonétiques en nombres hexadécimaux que l'on tape au clavier. En anglais, c'est assez facile, mais pour le français, il faut procéder par tâtonnements



Un robot des années cinquante.

et tout noter pour se constituer un petit dictionnaire.
De même, pour que Hero 1 soit commandé à la voix, il faut écrire une quarantaine d'instructions, bien qu'en réalité le robot n'obéisse qu'à un certain niveau d'intensité sonore. Si tout cela apparaît compliqué et long, n'oublions pas que le but de Hero 1 est de vous initier à l'informatique et à la programmation !

Pour Topo, relié à un Apple II et disposant d'un logiciel Toposoft dérivé de Forth, les choses sont un peu plus simples. On dispose d'instructions mnémotechniques telles que : FWD = *forward* (avance), ARC (trajectoire courbe), PARK (arrêt momentané)...
Ainsi « 50 FWD R » signifie : « avancer de 50 cm et appuyer sur la touche RETURN » ;
« 90 RIGHT R » : « tourner d'un quart de tour (90°) vers la droite... »
On peut ainsi enchaîner des séquences de déplacement et y mixer des paroles. Pour faire parler Topo, il suffit de frapper directement les mots au clavier.
On peut enfin jouer sur le volume et sur le timbre de la voix, d'où d'amusants effets, depuis les cris gutturaux jusqu'aux grognements caverneux, puisque l'on joue sur trois octaves !

L'Ève future

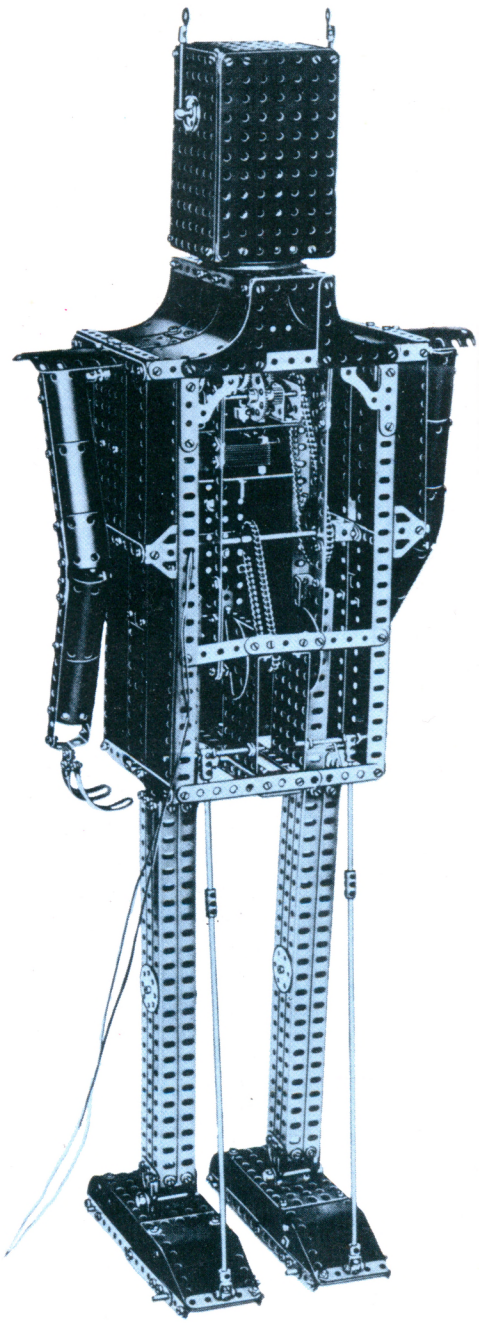


Voici les deux phonographes d'or, inclinés en angle vers le centre de la poitrine, et qui sont les deux poumons de Hadaly. Ils se passent l'un à l'autre les feuilles métalliques de ses causeries harmonieuses – et je devrais dire *célestes* –, un peu comme les presses d'imprimerie se passent les feuilles à tirer. Un seul ruban d'étain peut contenir sept heures de ses paroles. Celles-ci sont imaginées par les plus grands poètes, les plus subtils métaphysiciens et les romanciers les plus profonds de ce siècle, génies auxquels je me suis adressé – et qui m'ont livré, au poids du diamant, ces merveilles à jamais inédites.
C'est pourquoi je dis que Hadaly remplace *une* intelligence par l'Intelligence.
Voyez, voici les deux imperceptibles styles de pur acier, tremblant sur les cannelures, lesquelles tournent sur elles-mêmes, grâce à ce fin mouvement incessant de la mystérieuse étincelle : ils n'attendent que la voix de miss Alicia Clary, je vous assure. Ils la saisiront de loin, sans qu'elle le sache, pendant qu'elle récitera, en comédienne insigne, les scènes, incompréhensibles pour elle, des rôles merveilleux et inconnus où doit s'incarner à jamais Hadaly.
Au-dessous des poumons, voici le Cylindre où seront inscrits, en relief, les gestes, la démarche, les expressions du visage et les attitudes de l'être adoré. C'est l'analogie exacte des cylindres de ces orgues perfectionnés, dits de Barbarie, et sur lesquels sont incrustées, comme sur celui-ci, mille petites aspérités de métal. Or, de même que chacune d'entre elles, piquées d'après un calcul musical, joue exactement (soit en rondes, soit en quadruples croches et en tenant compte des silences), toutes les notes d'une douzaine d'airs de danses ou d'opéras, – selon que chacune vient se placer, à son rang et plus ou moins rapprochée d'une autre, sous les dents vibrantes du peigne d'harmonie –, de même ici, le Cylindre, sous ce même peigne qui étreint les extrémités de tous les nerfs inducteurs de l'Andréide, *joue* (et je vais vous dire comment) *les gestes, la démarche, les expressions du visage et les attitudes de celle que l'on incarne dans l'Andréide.*
L'inducteur de ce Cylindre est, pour ainsi dire, le grand sympathique de notre merveilleux fantôme.
En effet, ce Cylindre contient l'émission d'environ soixante-dix mouvements généraux. C'est, à peu près, le fonds de ceux dont une femme bien élevée peut et doit disposer. Nos mouvements, à part ceux de quelques gens convulsifs ou trop nerveux, sont presque toujours les mêmes : les diverses situations de la vie les nuancent et les font paraître différents. Mais j'ai calculé, en décomposant leurs dérivés, que vingt-sept ou vingt-huit mouvements, au plus, constituent déjà une rare personnalité.
D'ailleurs, qu'est-ce qu'une femme qui gesticule beaucoup ? – Un être insupportable. On ne doit surprendre, ici, que les seuls mouvements harmonieux, les autres étant choquants ou inutiles.

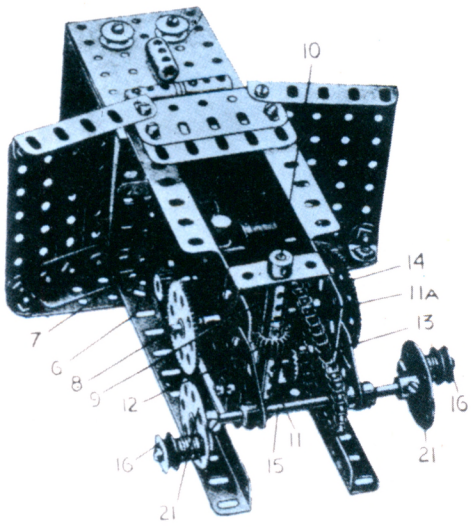
in *L'Ève future,* par Villiers de l'Isle-Adam (1886).

Meccano et robotique

Inventé en 1901 par l'Anglais Franck Hornby, le Meccano n'a cessé de se développer.
L'apparition du Lego, le développement de l'électronique et de l'informatique ont peu à peu relégué le Meccano au rang des antiquités, dont seuls quelques nostalgiques, regroupés au sein du Club des Amis du Meccano, perpétuent la mémoire.
Il semble pourtant qu'on l'ait enterré un peu vite. A l'ère de l'électronique triomphante, il peut encore rendre d'inestimables services à tous ceux qui traduisent leur créativité dans des expérimentations et des conceptions d'objets nouveaux.
En effet, le Meccano (dont les principes de base n'ont pas varié depuis le début du siècle, prouvant par-là son étonnante adaptabilité) n'est pas un simple jouet. Bien au contraire, il s'agit d'un système particulièrement ingénieux qui permet, à partir de trois cents pièces environ, de construire de manière précise et très solide une infinie variété d'ensembles mécaniques.
Boîtes de vitesse, différentiels, engrenages planétaires et épicycliques, mouvements rotatifs intermittents, vilebrequins, cames et excentriques, embrayages et transmissions à friction, mécanismes de translation : la quasi-totalité des mécanismes existants est réalisable en Meccano.
Mais qui s'intéresse encore à la mécanique à l'ère de l'électronique ? Cette réaction, fréquente chez les jeunes, est un peu étonnante.
Car si l'on regarde attentivement ces machines extraordinaires que sont les robots, on est bien forcé de convenir qu'il s'agit là d'ensembles mécaniques mus et coordonnés grâce à l'électronique.
Cette formule simple – mécanique + électronique = robotique – fait apparaître clairement qu'un nouvel avenir s'ouvre au Meccano.
Pourtant, dans la plupart des revues consacrées à la construction de robots, la majorité des réalisations décrites ont pour base le Lego. Nos nouveaux inventeurs ignoreraient-ils le Meccano ?
Il n'empêche que, si le Lego possède d'incontestables avantages en ce qui concerne l'esthétique, la facilité d'assemblage et les possibilités créatives, il est très limité dans ses possibilités de mouvements réalisables et ne permet pas de constituer des assemblages aussi solides que des machines réelles.
Il est donc grand temps que les constructeurs de robots redécouvrent les infinies possibilités que leur offre le Meccano pour la conception et l'élaboration de leurs rêves.
Pratiquement, il permet de résoudre presque tous les problèmes mécaniques qui se posent lors de la fabrication d'un robot.
Sans doute devra-t-on parfois réaliser des transpositions ou se contenter d'approximations mais, avec le Meccano, l'inventeur prendra en compte une donnée essentielle dans l'industrie : la fiabilité.
A quoi sert, en effet, de posséder un robot super-performant dans son principe mais qui, dans la pratique, ne résiste pas aux chocs ou aux efforts, se dérègle constamment et exige, pour être réparé, de coûteuses pièces sur mesure.
En imposant un système de pièces standard et en nombre limité, le Meccano entraînera le constructeur à chercher des *solutions simples* au problème posé.
« Dans mon métier de conseil en créativité et en techniques d'innovation, nous dit Bernard Demory, également membre du Club des Amis du Meccano, j'ai souvent l'occasion de travailler avec des groupes de techniciens œuvrant sur des automatismes. Un de leurs problèmes c'est de simplifier, d'enlever des pièces, d'associer deux mécanismes en un seul...



Deux robots extraits d'un catalogue Meccano.



Les contraintes du Meccano constituent une excellente formation à cette économie de moyens. Dans plusieurs bureaux d'études où je suis intervenu, j'ai incité les concepteurs à réaliser leurs maquettes avec des pièces de Meccano. Ainsi, dès les premières ébauches, l'aspect standardisé, démontable, simple, de l'appareil était inclus dans le projet.
Espérons maintenant que de nombreux jeunes, passionnés d'électronique et d'informatique, vont redécouvrir les vertus du Meccano et lui rendre, grâce à la robotique, une nouvelle jeunesse... »

La tortue Logo

Le promobile-tortue, conçu par les chercheurs de l'I.N.R.P. et mis au point par les établissements Jeulin, est un système pédagogique comprenant :

- un mobile programmable, la tortue de sol, dont la carrosserie transparente permet de voir les circuits électriques internes, notamment les mémoires et le microprocesseur ;
- un pupitre de commande, qui transmet au mobile informations et courant électrique ;
- un lecteur de cartes, qui lit les informations contenues (sous forme de codes à trous) dans des cartes et les transmet au pupitre de commande qui les traite ;
- un jeu de 75 cartes en plastique, qui permettent de donner des ordres au promobile-tortue par l'intermédiaire de trous.

On munit le promobile-tortue d'un crayon feutre et on le branche sur le lecteur : la tortue se met alors en mouvement et dessine selon les instructions des enfants.

Pour le dessin d'un rectangle, par exemple, on introduit, une à une, dans la fente du lecteur, les cartes suivantes : BC, AV 10, TD 90, AV 20, TD 90, AV 10, TD 90, AV 20.

Le mobile se comporte alors comme ci-dessous.

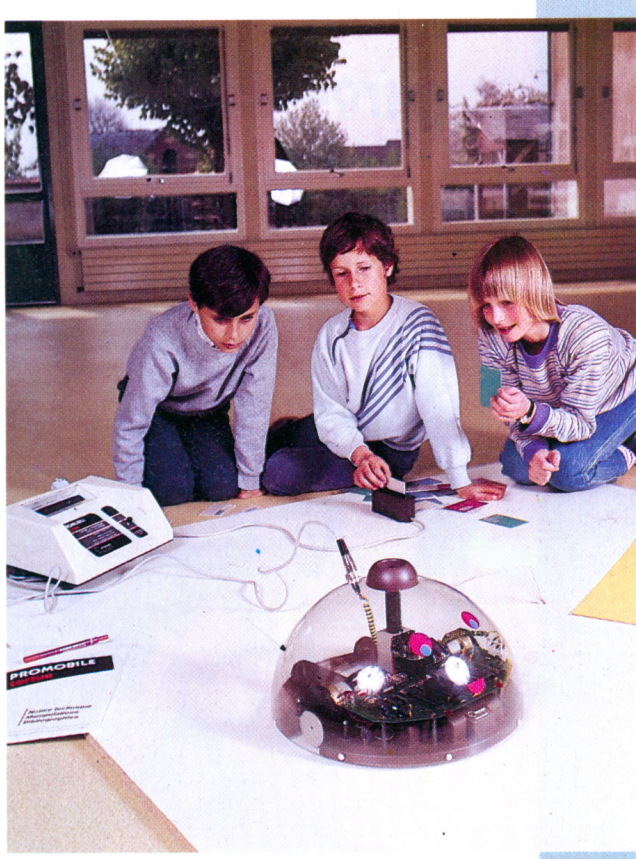
On peut également demander au promobile, au lieu d'exécuter immédiatement les ordres qu'on lui donne, de les mémoriser pour les exécuter plus tard. Pour cela, il faut commencer par introduire dans le lecteur la carte APPRENDS qui indique au promobile qu'il doit enregistrer les instructions données par les cartes suivantes.

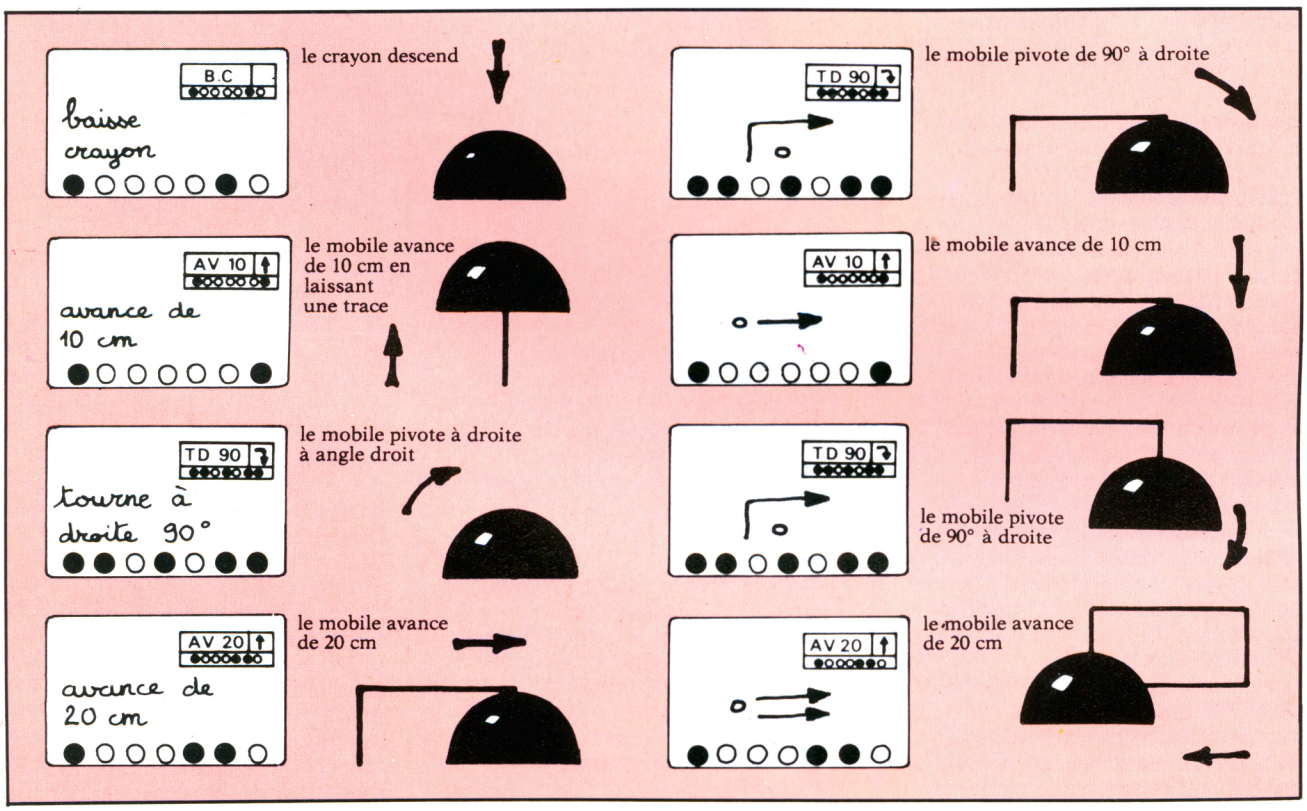
Tant que l'on n'introduit pas une carte indiquant que la série d'instructions est terminée, la machine ne fait rien d'autre qu'enregistrer la série d'ordres (c'est-à-dire le programme).

Pour faire exécuter le programme, on introduit la carte EXECUTE.

Et cette fois, le mobile exécute d'un seul mouvement tous les ordres qu'on lui a donnés.

Si, quand il a fini, on introduit à nouveau la carte EXECUTE dans le lecteur, le mobile recommence le même mouvement, donc le même dessin. Il le fera aussi souvent qu'on le lui demandera. Il est également possible de garder en mémoire un programme déterminé pour le réutiliser ultérieurement ; pour cela il suffit de lui donner un nom en utilisant la carte C'EST, puis une carte PROCÉDURE (PROCÉDURE N° 3 par exemple) sur laquelle on inscrira, pour mémoire, le nom du programme. Chaque fois que l'on réintroduira cette carte dans le lecteur, le mobile exécutera le programme.





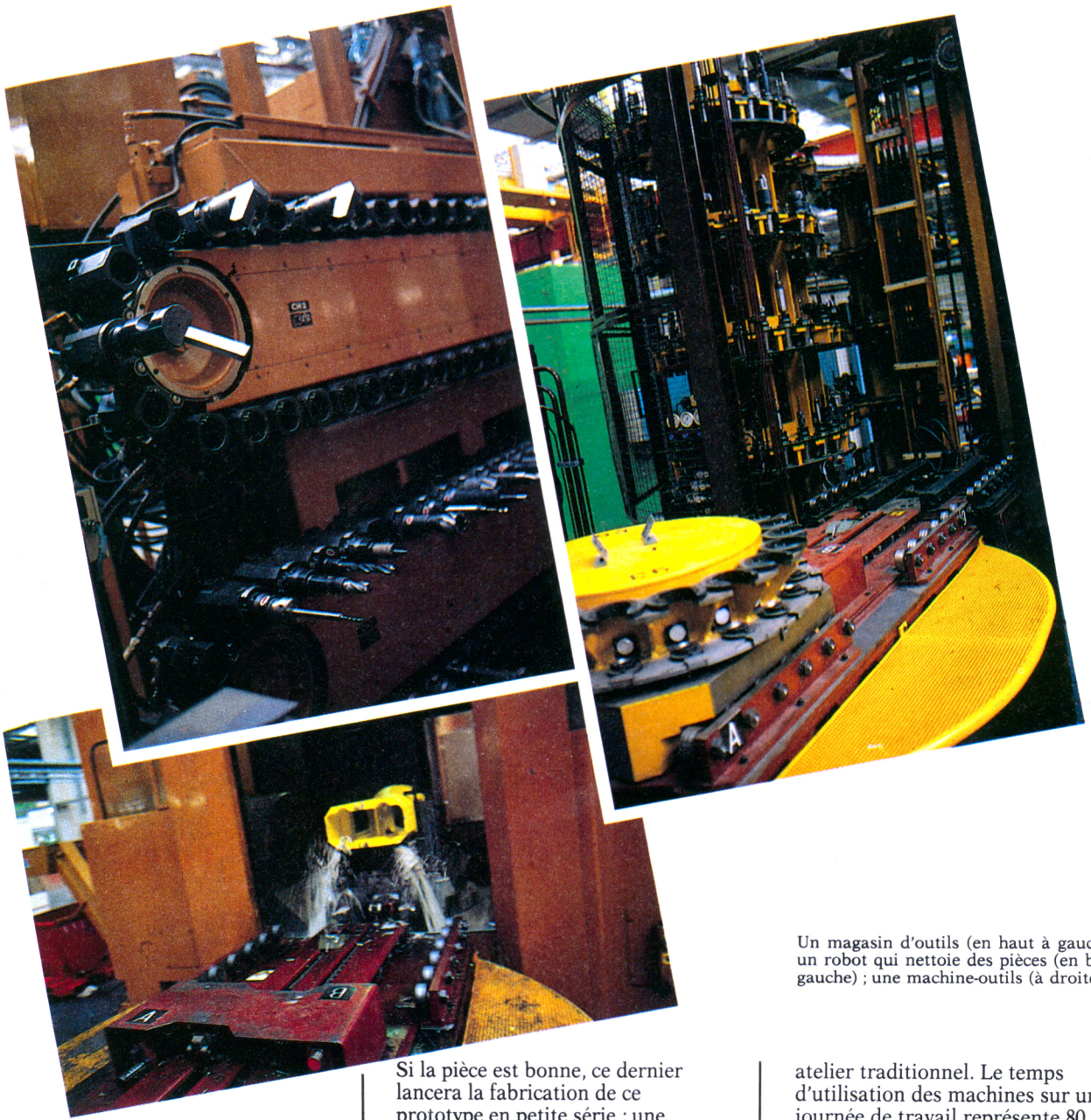
Citroën sur les chapeaux de roue



Les usines Citroën : vue des ateliers flexibles depuis la tour de contrôle (à gauche) ; vue d'un atelier flexible (en haut à droite) ; une machine-outils (en bas à droite).

A Meudon, Citroën a implanté une unité d'équipement industriel de pointe, l'un des plus rares spécimens du secteur automobile : un atelier automatisé, dit *flexible*.
Un atelier flexible ? « C'est un ensemble de structures automatisées permettant, par sa souplesse, d'usiner des pièces que nous ne connaissons pas », explique l'un des responsables de Citroën à Meudon.
Pour mieux comprendre le jargon, disons qu'un atelier traditionnel, ou « rigide », permet de réaliser de nombreuses pièces de voiture en série, mais toujours de la même forme, tandis que l'atelier flexible est fait pour s'adapter à de nouvelles pièces, pour à la fois les concevoir et les fabriquer, à l'aide de systèmes automatisés.
La mise en place de l'atelier flexible chez Citroën, vers la fin des années 1970, a répondu à un souci de s'adapter à une rapide évolution des besoins que la vive concurrence étrangère en matière de marques de voiture rendait plus cruciaux.
Le pari, face à cette concurrence, consistait à inventer au plus vite des modes de production capables de se doter de moyens souples de fabrication, de manière à assurer la compétitivité de la marque, quelle que soit la rapidité de renouvellement des modèles.
Aujourd'hui, l'atelier flexible de Citroën est au point, et permet de construire en quelques heures des pièces de conception nouvelle.
L'atelier flexible ressemble à toute chaîne de fabrication industrielle, avec son infanterie lourde de machines incompréhensibles aux profanes, à ceci près qu'il est muni d'une *tour de contrôle* où se nichent les ordinateurs-cerveaux qui commandent l'ensemble des opérations. Le processus de réalisation de nouvelles pièces se déroule en trois temps :

- en amont, le programme d'usinage qui constitue l'étape de conception proprement dite de la pièce. A l'aide d'un logiciel de CFAO (Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur), un technicien va *usiner* un prototype de pièce, c'est-à-dire lui donner toutes les caractéristiques particulières qui en feront un modèle inédit. Cet ordinateur destiné à la conception se trouve en liaison directe avec un autre ordinateur qui commande l'ensemble de l'atelier flexible. Celui-ci transmet donc le programme qu'il vient de recevoir, avec les informations sur la morphologie de la pièce, au calculateur de l'atelier. Et ce calculateur retransmet à son tour les instructions aux machines de



Un magasin d'outils (en haut à gauche) ; un robot qui nettoie des pièces (en bas à gauche) ; une machine-outils (à droite).

fabrication qui façonneront physiquement une pièce brute, préalablement moulée en fonderie ;
- deuxième temps, la pièce ainsi usinée est convoyée par un chariot vers un programme dit *de lavage* où, là aussi, un micro-ordinateur préside à son toilettage et à son séchage, par l'intermédiaire d'un robot programmé par l'ordinateur en fonction de la pièce introduite ;
- enfin, dernière étape, la pièce propre comme un sou neuf est à nouveau accompagnée par chariot jusqu'à son ultime examen : le programme de contrôle.

La pièce est alors mesurée par une machine également pilotée par un mini-ordinateur (Solar) qui renvoie les résultats du contrôle vers l'ordinateur central de l'atelier.

Si la pièce est bonne, ce dernier lancera la fabrication de ce prototype en petite série : une quinzaine d'exemplaires. Ces pièces seront alors prêtes à être montées sur un robot ou même sur une voiture, dans un bureau d'études. On a vu que c'est uniquement grâce à l'informatique que ce processus de conception et de fabrication de pièces de voiture est réalisé. Dans l'atelier flexible, aucune intervention manuelle ; c'est, selon les responsables de cette unité, ce qui permet de garantir la qualité des pièces, dès lors que le programme est bon. Infaillibilité du système automatisé, certes, mais aussi délais plus courts de mise au point : le temps de programmation par ordinateur est d'environ trois semaines pour la préparation, le réglage des outils, l'ébauche de la pièce, alors que ce même travail nécessite quatre mois dans un atelier traditionnel. Le temps d'utilisation des machines sur une journée de travail représente 80 % en atelier flexible, contre 15 % dans un atelier traditionnel où la manutention est beaucoup plus importante. D'où un amortissement considérable du coût de l'équipement, puisque le prix de revient des pièces est inférieur de 10 à 40 %, malgré l'investissement informatique de départ, à celui des pièces fabriquées de façon traditionnelle.

Mais pour le visiteur, l'aspect le plus positif de ces techniques de pointe est sans doute de comprendre que toutes les tâches répétitives du processus de fabrication sont prises en charge par les ordinateurs et les automates, et que revient davantage à l'homme la partie la plus enrichissante, l'invention et la création.

Prolos/robots

Des points de vue différents

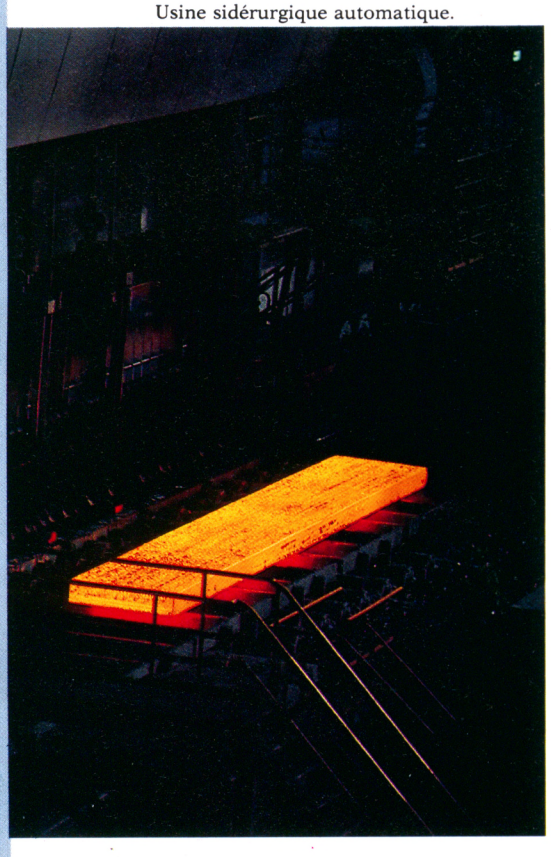
Les robots sont présentés comme de sympathiques machines qui vont prendre en charge les tâches sales et dangereuses et qui permettront d'augmenter la fiabilité et la qualité des produits. Cependant les enjeux dépassent singulièrement la seule restructuration des processus productifs. Que devient en effet l'activité humaine face à des systèmes intégrés et autonomes ? Combien de travailleurs vont-ils se retrouver rejetés vers le chômage ? Que seront les nouvelles contraintes hiérarchiques ? Quelles dépendances nouvelles vont entraîner les impératifs de bon fonctionnement des systèmes ? Que signifie à long terme la « gestion des pannes » ?
... Même si les robots permettent de supprimer quelques postes pénibles, dans leur forme technique et sociale actuelle, ils ne bénéficieront pas au plus grand nombre et ne résoudront aucun des problèmes posés à l'humanité : chômage, Tiers Monde, rapports d'exploitation et de domination, aliénation technique, etc.

Finis les temps morts, c'est la machine qui commande !

« Dans l'une de ces usines sous-traitantes où j'ai travaillé, deux machines sont arrivées : la première pouvait câbler des connecteurs automatiquement (6 000 points à l'heure) et remplaçait ainsi le travail de 30 personnes ! La seconde, « soudeuse à la vague » : une fois les composants implantés sur un circuit, elle les fait passer au-dessus d'un bain de soudure liquéfiée. Tous les réglages s'effectuent automatiquement. Cette machine peut ainsi souder à elle seule des milliers de composants à l'heure ; auparavant, chaque soudure était faite à la main, au fer à souder. Ailleurs, d'autres machines fabriquent des centaines de puces (circuits miniaturisés) à l'heure. Il y a quelques années, un seul de ces circuits nécessitait plusieurs jours de travail.
L'introduction des robots engendre la disparition des anciens ouvriers qualifiés. Ceux-ci sont alors « remerciés » (licenciements, stages, pré-retraites) ou « recyclés » pour devenir « opérateurs » sur les nouvelles machines. Ce travail d'opérateur n'a plus rien à voir avec l'ancien travail où l'ouvrier avait, face au plan de fabrication, un certain rapport avec la machine, avec la pièce ; mais aussi avec ces camarades de travail, avec l'organisation de son temps de production, avec la maîtrise. Maintenant, c'est la machine qui commande ! Finis les temps morts et les initiatives personnelles... L'opérateur doit se plier et obéir au rythme de la machine, du programme dont il doit constamment surveiller la bonne marche, son regard allant des centaines de fois en une journée de la machine à l'écran de visualisation, et de l'écran à la machine. Il doit être prêt en permanence à se précipiter sur les boutons d'arrêt d'urgence pour stopper un programme s'il n'est pas vraiment au point (c'est souvent le cas pour les petites séries) ou si la machine fait des erreurs (l'électronique, c'est très rapide, mais fragile...).
La contrainte des rendements demeure : le nombre de pièces à produire est simplement multiplié. Quant au bruit, il n'a pas diminué, au contraire, l'augmentation des vitesses des machines le rendent encore plus strident. Je l'ai constaté bien des fois. Et combien de fois ai-je entendu la phrase : "Tu vois, c'est ça la robotisation : ce sont tout simplement les travailleurs qu'on robotise !"... Quant aux accidents de travail, ils ne diminuent pas : le bruit, la vitesse et les rythmes augmentés, la fatigue nerveuse accentuée, tout cela n'est pas fait pour éviter les accidents.
Quand on travaille sur l'une de ces machines, on se sent si loin des grands discours sur *les nouvelles technologies qui rendent le travail moins pénible, moins fatiguant, moins répétitif, moins dangereux !* »

par Michel Kamps, in *Terminal 19/84* – N° 12 (janvier 1983).

Usine sidérurgique automatique.



L'ordinateur central est relié à des terminaux d'ateliers.



La robotique à domicile

Si vous êtes chez des amis et que, brusquement, une sorte de petit tank s'avance tranquillement vers vous, s'arrête à 50 cm de vos pieds, exécute un parfait demi-tour et disparaît sans que vous ayez vu l'ombre de l'éventuel téléguideur, pas de panique. C'est certainement Big Track, petit engin bizarre et futuriste de la famille des robots. Big Track est un exemple parmi tant d'autres de ces appareils de plus en plus nombreux sur le marché français, produits surtout par les Américains et les Japonais, qui représentent un aspect à la fois ludique et pédagogique de la robotique.

Petits véhicules de formes plus ou moins incongrues – tanks, tortues, OVNIS... – leurs déplacements sont gérés par des systèmes électroniques programmables ou non.

Vendus en kit – les japonais, surtout, sous la marque de fabrication Elehobby – ces robots sont présentés prêts à être montés. Il existe différents modèles de ces robots nippons, tous très fragiles malheureusement.

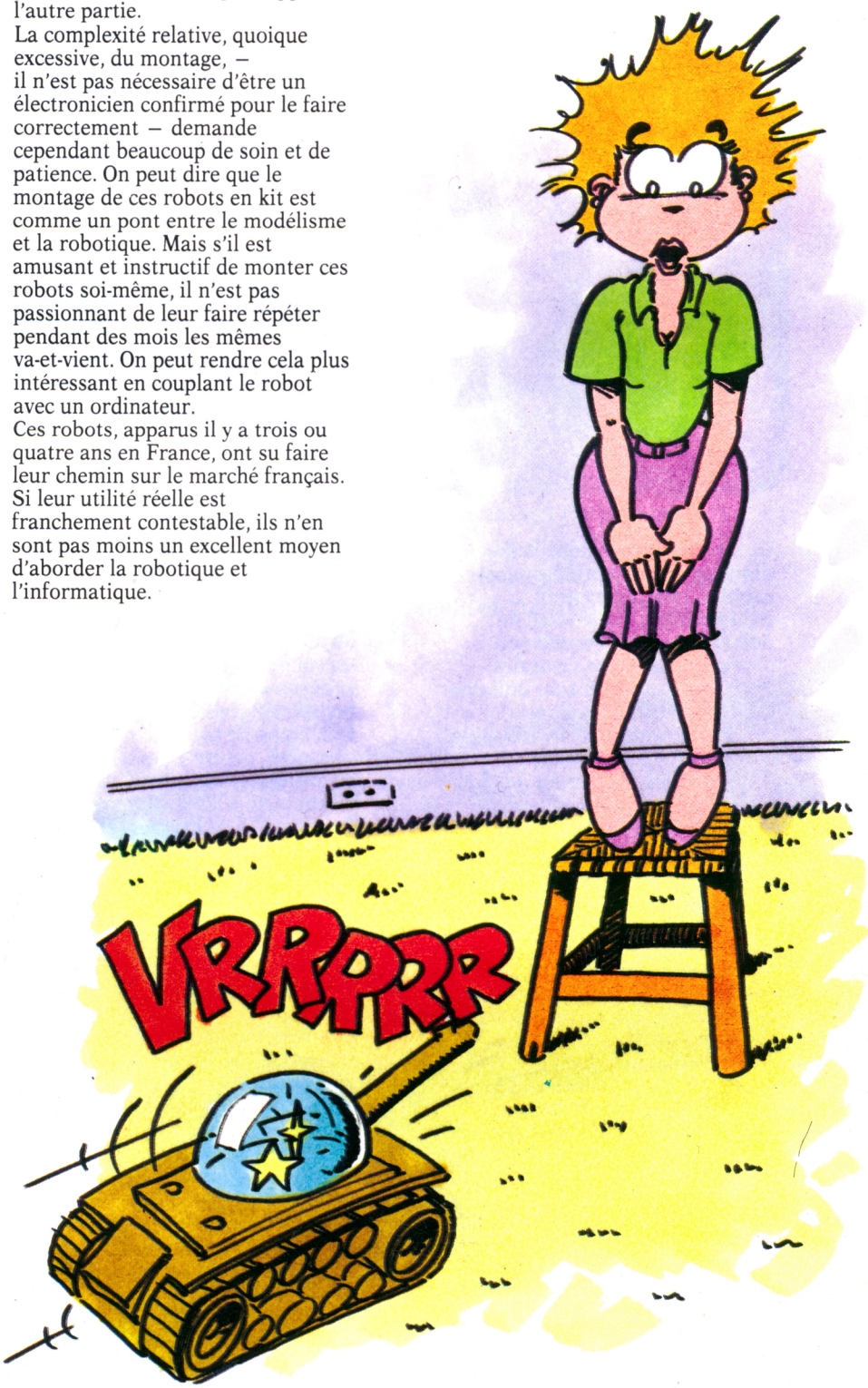
Le plus simple avance sur deux jambes, tout droit, et s'arrête quand on coupe son alimentation.

Le plus complexe, une sorte de tortue-OVNI qui crapahute sur des pattes articulées est programmable. Pour cela, on utilise un petit clavier connectable, à l'aide d'un câble, au robot lui-même. Ce clavier, simplifié à l'extrême, permet d'entrer cinq instructions qui seront enregistrées dans la mémoire – de très faible capacité – de ce robot. Du type « Avancer », « Reculer », « Aller à droite », « Aller à gauche », « Allumer une diode », elles permettent de créer un petit programme capable de piloter les déplacements de la machine.

Entre ces deux modèles, il existe un petit robot non programmable mais équipé d'un micro : si l'on frappe des mains devant celui-ci, le robot effectue une rotation et continue son chemin dans la nouvelle direction. Cet appareil, monté sur pattes lui aussi, avance grâce à l'alimentation de deux moteurs latéraux – un à droite, l'autre à gauche. Pour lui faire effectuer une rotation, on provoque la coupure de l'un des deux moteurs : la partie immobilisée sert de pivot, tandis que les pattes alimentées en énergie poussent en tournant par rapport à l'autre partie.

La complexité relative, quoique excessive, du montage, – il n'est pas nécessaire d'être un électronicien confirmé pour le faire correctement – demande cependant beaucoup de soin et de patience. On peut dire que le montage de ces robots en kit est comme un pont entre le modélisme et la robotique. Mais s'il est amusant et instructif de monter ces robots soi-même, il n'est pas passionnant de leur faire répéter pendant des mois les mêmes va-et-vient. On peut rendre cela plus intéressant en couplant le robot avec un ordinateur.

Ces robots, apparus il y a trois ou quatre ans en France, ont su faire leur chemin sur le marché français. Si leur utilité réelle est franchement contestable, ils n'en sont pas moins un excellent moyen d'aborder la robotique et l'informatique.



La robotique dans les centrales nucléaires



A gauche et à droite, télémanipulateurs utilisés dans les centrales nucléaires ; au centre : gros plan sur la pince du télémanipulateur de gauche.

La robotique, technique en plein développement, se révèle dans certains secteurs un outil indispensable. On le constate notamment en observant son application dans les centrales nucléaires E.D.F. où sont utilisées couramment des matières hautement radio-actives. Les lieux irradiés – cuves, aires de manipulation – sont des milieux trop hostiles pour que l'homme, même équipé de combinaison anti-radiations, puisse y pénétrer pour travailler.

Ce sont donc des « robots » qui y sont délégués pour manipuler les particules radio-actives, pour entrer dans les cuves qui doivent être inspectées, contrôler les tubes générateurs de vapeur, ou effectuer des réparations.

Ces appareils sont de plusieurs types. Le plus connu est sans doute le bras manipulateur, ou télémanipulateur, inventé par Raymond Goetz vers 1946. Ce bras, qui utilise la transmission par câbles, permet de déplacer un objet derrière une paroi protectrice.

Il reproduit, à distance, les gestes qu'effectue l'opérateur au moyen d'une poignée par l'intermédiaire de laquelle il ressent les mouvements de l'engin.

C'est vers 1963 qu'apparaissent les premiers manipulateurs programmés, qui effectuent des déplacements en fonction de coordonnées transmises par un calculateur. L'inspection des cuves des réacteurs est faite par des Machines d'Inspection en Service (MIS) ; la MIS permet de contrôler les soudures, l'aspect du revêtement et de détecter les défauts sous revêtement, cela au moyen de techniques de contrôle non destructif, contrôle par ultrasons, contrôle télévisuel, etc. C'est une machine de taille assez importante (environ 6 m de hauteur) et accrochée à un pont roulant. Les commandes sont électroniques ; l'enregistrement et le traitement des enregistrements sont effectués par le calculateur.

Pour contrôler et réparer les tubes générateurs de vapeur, on utilise un véhicule appelé couramment Araignée. Équipé de ventouses et d'un bras, il se déplace dans le tube où il constate ou répare les déficiences éventuelles. Pour le contrôle ou le nettoyage des équipements, il existe aussi des véhicules qui ressemblent à des tanks miniatures, de quelques dizaines de centimètres de hauteur, sur lesquels sont adaptés soit des caméras, soit des brosses ou de la toile émeri.

Contrairement à l'Araignée dont les déplacements sont pré-programmés et gérés par ordinateur, ces derniers véhicules sont téléguidés.

Alors, l'ordinateur interviendrait-il partout ? Lui qui peut – presque – se passer de l'homme pour faire fonctionner la centrale nucléaire ? C'est à peu près le cas ! Le fonctionnement de la centrale est en effet entièrement automatisé, l'ordinateur y gère toutes les phases de production de l'énergie, surveille la température, etc. L'homme intervient essentiellement au niveau de la surveillance et de l'entretien, et cela à l'aide d'appareils dont le fonctionnement est assuré en partie par calculateur. Les perspectives de la robotique nucléaire tendent vers des solutions ergonomiques visant avant tout à assurer la sécurité du personnel, nul n'étant à l'abri d'une erreur de manipulation ou d'une exposition dangereuse. Médaille à deux revers, la centrale nucléaire représente un progrès technique considérable, mais la moindre défaillance peut avoir des conséquences trop graves pour que l'erreur soit permise. La robotique y a donc pour rôle d'assurer la fiabilité des systèmes de surveillance, de détection, de réparation et d'information tout en substituant, pour le plus grand nombre d'opérations, des robots à l'homme.

Les systèmes experts

Diagnostiquer une maladie, prévoir l'emplacement d'un gisement pétrolier, conseiller un investissement boursier, déterminer les causes d'une panne de système électronique, etc. : autant de tâches qui requièrent une expertise de haut niveau – on a du mal à imaginer que l'informatique puisse prendre en charge de telles fonctions ; et pourtant c'est aujourd'hui une réalité : il existe déjà des logiciels, appelés **systèmes experts,** capables de performances égales à celles des spécialistes dans ces domaines de pointe. Ce n'est pas un miracle, ils exploitent précisément les connaissances de ces experts, après qu'elles aient été inscrites dans leurs mémoires. Certes, ils sont encore peu répandus mais les prototypes se comptent déjà par centaines. Une nouvelle informatique est en train de naître. Elle dépasse le stade du calcul arithmétique pour se spécialiser dans le traitement logique des informations. Avec cette informatique, qui utilise des techniques dites d'**intelligence artificielle**, on cherche à simuler le comportement humain pour résoudre des problèmes complexes. Les mêmes techniques et la diffusion des micro-ordinateurs devraient permettre également à tout un chacun de s'essayer à résoudre des problèmes plus simples ; et ce, dès aujourd'hui.

Monsieur Plumeau, employé modèle, s'endort régulièrement sur son clavier... Il se transforme alors en un abominable robot, Intox 639, qui décide, avec l'aide de son complice, l'ordinateur numéro 1, de mettre l'univers à ses pieds ! Mais il y a une faille...



«Ordinateur N° 1, recherchez-moi les systèmes les plus performants ! » Intox est tout entier à son nouveau fantasme...



Mais, insatisfait du résultat, il ordonne encore : « Ordinateur N° 1, tentez une interprétation de la secrétaire 127 !... »



Malheureusement, Zoé a des pulsions émotionnelles incontrôlables. « Éliminez les pulsions incontrôlables ! » hurle-t-il.

« Dites donc, Intox, ce système qui vous ressemble, il ne fonctionnera jamais ! Alors que moi... » ricane Zoé.

Ordinateur et cerveau humain

[...] L'homme est immergé dans un univers qui lui est propre, de même que l'animal, jusqu'à un certain point ; cet univers résulte d'une réaction de son cerveau à l'univers physique et implique qu'il se trouve dans des situations déjà interprétées ; l'ordinateur, au contraire, est en dehors de l'univers, ne manipule que des faits dépourvus de sens, dont la somme ne donne pas le tout dont ils faisaient partie avant d'être isolés. Feigenbaum et McCorduck le confirment dans leur ouvrage, *La Cinquième Génération :*
« [...] Plus la connaissance est structurée, plus il nous est facile de la codifier à l'usage de l'ordinateur. En revanche, affronter le monde réel n'a rien d'une tâche très structurée ; l'animal domestique y parvient très bien mais les machines en sont incapables. Cela ne signifie pas qu'elles le seront toujours, c'est une réalité actuelle. »
Comment peut-on éclairer le débat ? Tout d'abord en distinguant deux degrés d'intelligence :

- l'intelligence sensori-motrice (celle de l'*homo faber*) qui se manifeste par des mouvements et actions appliqués aux objets extérieurs à la suite d'une sollicitation sensorielle ;
- l'intelligence conceptuelle et logique ou raisonnement (celle de l'*homo sapiens*) supportée par le langage et mettant en œuvre des notions abstraites appliquées à des faits, le langage permettant d'évoquer, au moyen de symboles, les propriétés caractéristiques d'une classe d'objets, auxquels on peut ajouter :
- l'activité instinctive qui consiste essentiellement en réflexes conditionnés, mémoire associative, accomplissement de buts par essais-erreurs.

Cette distinction est insuffisante car elle ne met pas en lumière les différents modes de représentation de la connaissance et, en particulier, la notion de « sens commun » ; celui-ci repose, en effet, sur un « a priori » de la connaissance correspondant à des opérations spontanées de la pensée : c'est ce qui manque à la machine si on ne lui donne pas le point de départ. Or la pensée s'appuie, en grande partie, sur un mode de représentation de connaissances qui lui est propre ; une telle représentation n'est certainement pas intégrale : l'individu se projette dans la situation à étudier et reconstruit, en quelque sorte, le réel ; cette représentation ne fait pas nécessairement appel à des règles stockées à l'avance comme c'est le cas pour un ordinateur.
Mais l'homme ne se contente pas de représenter la situation présente, il a le pouvoir d'imaginer, de se représenter des situations futures. Pour ce faire, il s'appuie sur le langage qui, grâce à des mots et des relations entre les mots, véhicule des idées et conserve des souvenirs ou des images.
[...] un autre trait caractéristique de l'homme est de « se sentir » dans une situation sans avoir à explorer en permanence, et de l'extérieur, dans quelle situation il se trouve [...]

in *Bulletin du CPE* – N° 10 (MIR, octobre 1984).



Planche anatomique de Jacques Gautier d'Agoty (1746, Bibliothèque de l'ancienne faculté de Médecine de Paris).

Le singe de Charles Quint
par Collin de Plancy (1864).



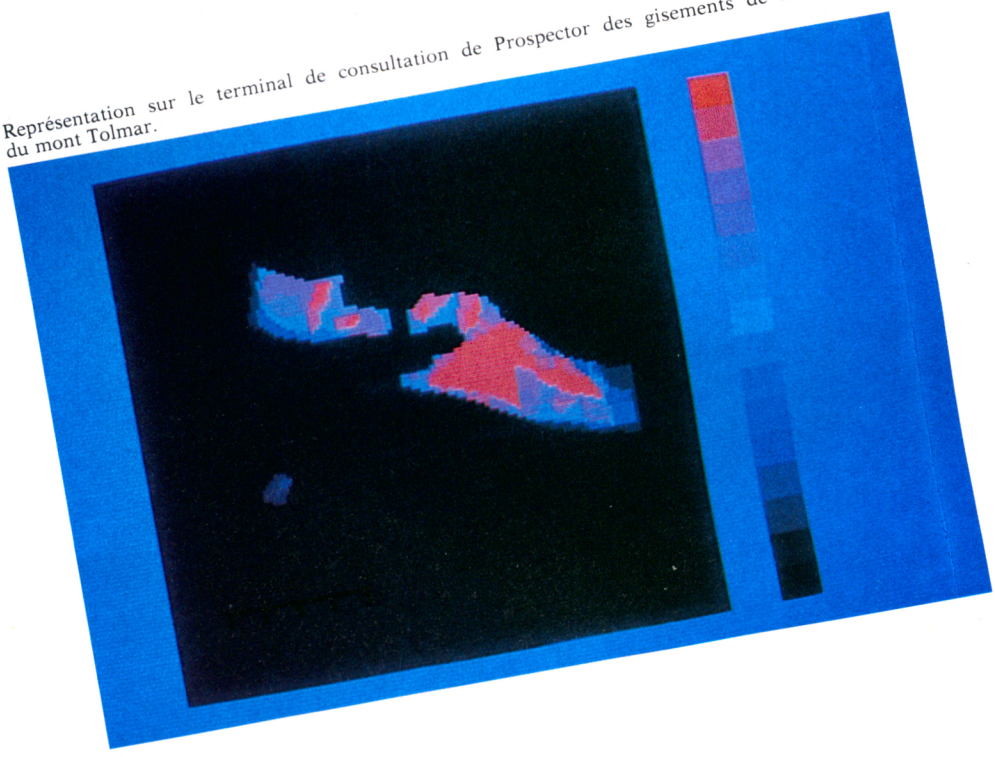
Le jour où les ordinateurs allaient devenir intelligents

Ce jour de février 1980, lorsque l'ordinateur afficha le résultat des calculs qu'il venait d'exécuter pour confirmer l'emplacement du gisement de molybdène (métal rare) du mont Tolmar, les géologues de la compagnie minière américaine Amax, n'en crurent pas leurs yeux. Sur l'écran, à gauche de la zone colorée représentant la mine déjà exploitée par Amax, l'ordinateur indiquait la présence d'un second gisement qu'ils ne soupçonnaient pas ! L'histoire semblait tirée d'un mauvais roman de science-fiction. Bien sûr, les géologues avaient longuement expliqué aux deux chercheurs en intelligence artificielle du *Stanford Research Institute* (SRI) sur quels critères ils se fondaient pour déterminer la présence de molybdène dans une région donnée, et quelles méthodes ils utilisaient pour prévoir l'emplacement d'un gisement. Après avoir noté leurs explications, après les avoir longuement interrogés sur les cas d'exception qu'ils avaient rencontrés au cours de leur carrière, les deux chercheurs du SRI avaient codifié toutes les informations qu'ils en avaient tiré et les avaient introduites dans le logiciel PROSPECTOR qu'ils étaient en train d'élaborer.

Et ce jour de février 1980, au cours d'une des nombreuses phases de mise au point, le programme fut testé sur le gisement du mont Tolmar ; pour cela, on le nourrit des mêmes données que celles dont avaient disposé les géologues lorqu'ils avaient découvert la première mine de molybdène. Mais, qui eût pu imaginer que ce système expert, comme l'appelaient ses concepteurs, allait battre sur leur propre terrain les experts géologues de l'une des compagnies minières les plus importantes du monde ! Personne sans doute, sauf peut-être, les deux chercheurs du SRI... Car la recette était simple, et, comble de l'histoire, Prospector le disait lui-même, puisqu'il était capable d'expliciter le raisonnement qui l'avait amené à ce résultat. Mais alors, venait-on de mettre au point l'ordinateur intelligent ? Certes non, mais ça y ressemblait bougrement. Car, dans le domaine précis de la prospection géologique des minerais rares, et uniquement dans celui-là, Prospector avait montré qu'il pouvait faire aussi bien – sinon mieux – que les meilleurs spécialistes de la question. Pendant ces longs mois de travail préalables à la découverte du nouveau gisement, les chercheurs du SRI avaient organisé les connaissances des géologues, puis les avaient introduites dans leur programme, ainsi qu'une description des principaux gisements de molybdène existant de par le monde.

Ces connaissances, Prospector les avaient ensuite exploitées de la même manière que les experts le faisaient quotidiennement ; mais il avait travaillé très vite et, grâce à ses mémoires électroniques infaillibles, il n'avait omis aucune des données du problème.

La découverte du gisement de molybdène fut une aubaine pour les dirigeants d'Amax : la valeur du nouveau dépôt était estimée à une centaine de millions de dollars ! Mais les plus heureux furent sans doute les deux chercheurs du SRI et, au-delà, toute la communauté de l'intelligence artificielle. Prospector avait rapporté cent fois son coût de conception ! Et son existence ne faisait que débuter. Ce résultat n'étonnait pas vraiment les spécialistes de l'intelligence artificielle. Ils connaissaient depuis longtemps les possibilités des systèmes experts. Mais cette découverte était peut-être enfin l'occasion d'en convaincre les industriels ! Depuis quinze ans qu'avaient commencé les développements de tels logiciels à l'université de Stanford, en proche banlieue de San Francisco, aucune réalisation industrielle n'avait en effet dépassé le stade du prototype. Pourtant, à Stanford, le premier projet entrepris, DENDRAL, avait été mené à son terme. Depuis plusieurs années déjà, les chimistes de l'université pouvaient lui demander d'interpréter à leur place les analyses qu'ils effectuaient à fin d'identification de leurs produits. Et ce n'était là qu'un exemple parmi les nombreux que l'on pouvait recenser dans les universités américaines, françaises, anglaises, etc.



Représentation sur le terminal de consultation de Prospector des gisements de molybdène du mont Tolmar.

Comprendre les sciences de l'artificiel

Pourtant l'événement Prospector ne provoqua pas le bruit qu'on eût été en droit d'espérer ; il fallut même attendre encore quelques mois avant que ne s'éveille l'intérêt des industriels. En octobre 1981, l'empire du Soleil-Levant dévoila en effet, à grand renfort de publicité, son projet d'un nouveau type d'ordinateurs, dits de « cinquième génération », conçus pour mettre en œuvre des systèmes experts mille fois plus puissants que ceux existant alors, capables de dialoguer avec leurs utilisateurs en langage parfaitement naturel... Et même d'apprendre ! Bref, des ordinateurs aux possibilités phénoménales : on pourrait les utiliser pour résoudre n'importe quel problème complexe dans les domaines industriels, financiers, etc. Huit cent cinquante millions de dollars furent alloués à cet ambitieux projet, une moitié provenant du gouvernement japonais, l'autre des industriels nippons.

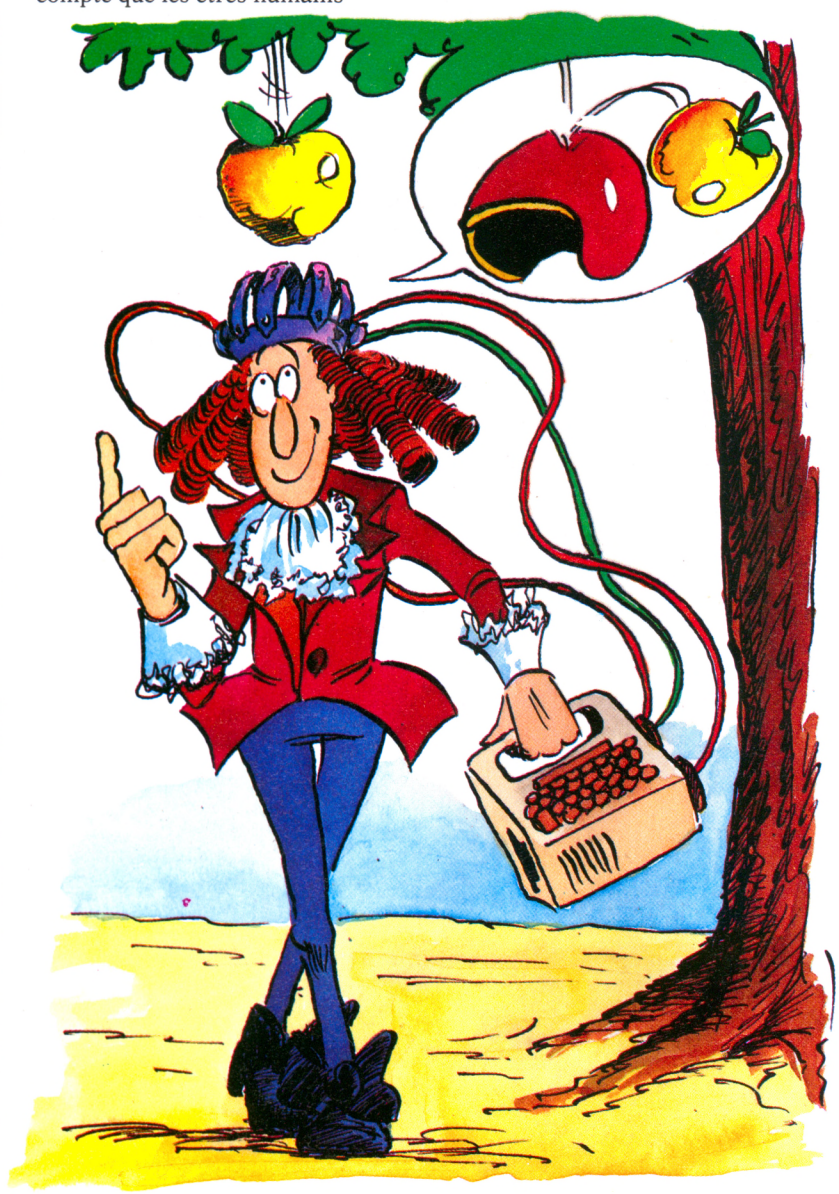
Cette annonce fit grand bruit aux États-Unis comme en Europe, où pouvoirs publics et industriels décidèrent de réagir, par crainte de voir le Japon dominer, avant la fin du siècle, un secteur aussi stratégique que celui de l'informatique.

C'est ainsi que intelligence artificielle et systèmes experts se trouvèrent propulsés sur le devant de la scène informatique, sans que rien n'ait été fait pour démystifier les concepts pourtant simples qui se cachaient derrière leurs noms.

Plus de trois ans se sont écoulés depuis, et les choses vont peut-être enfin changer. Beaucoup d'industriels se sont intéressés aux systèmes experts et ont entrepris d'en développer des prototypes, mais pratiquement aucun de ces logiciels n'est encore opérationnel.

Les Japonais viennent de mettre au point leurs premières machines spécialisées dans les applications de l'intelligence artificielle. Partis de zéro, ils ont déjà, avec ces prototypes (annoncés à l'automne 1984) une très nette longueur d'avance sur les Occidentaux. Ils n'ont pourtant rien inventé mais ont exploité, en excellents ingénieurs qu'ils sont, les résultats des travaux de recherche américains ou européens les plus avancés. Ils ont notamment fait appel à un langage de conception française, Prolog, pour le développement des logiciels de base de leurs machines. Là où les Occidentaux avaient toute une pléiade de modules effectuant chacun une des diverses fonctions que l'on retrouvait dans le projet d'ordinateurs de la cinquième génération, les Japonais disposent aujourd'hui d'une machine les intégrant toutes : apprentissage, explication, compréhension... Nul doute qu'à ce rythme, les Japonais sont à même de relever le défi et produiront comme ils l'ont promis, des systèmes industriels dès 1992. Au-delà de la leçon d'industrie qu'ils donneront alors aux Occidentaux si ceux-ci n'y prenne garde, l'enjeu est considérable : à la veille du troisième millénaire, l'humanité verra-t-elle naître les premières machines capables de simuler véritablement certaines des activités du cerveau humain ?

Cette idée du traitement de l'information effectué par l'ordinateur est apparue au milieu des années 50. C'est elle qui a conduit à la « Science de la cognition ». On s'est alors rendu compte que les êtres humains pouvaient considérer les programmes informatiques pour mieux comprendre les mécanismes de la pensée : c'est là que l'intelligence artificielle a fait ses débuts. On se sert aussi de l'ordinateur pour augmenter la puissance de réflexion de l'être



humain pour faire des choses que l'être humain n'était pas capable de faire avec sa propre intelligence. Mais alors jusqu'où l'ordinateur peut-il aller, non seulement par exemple pour comprendre le langage informatique, mais également le langage naturel, le langage normal comme le français, l'anglais ou le chinois ?

Les résultats

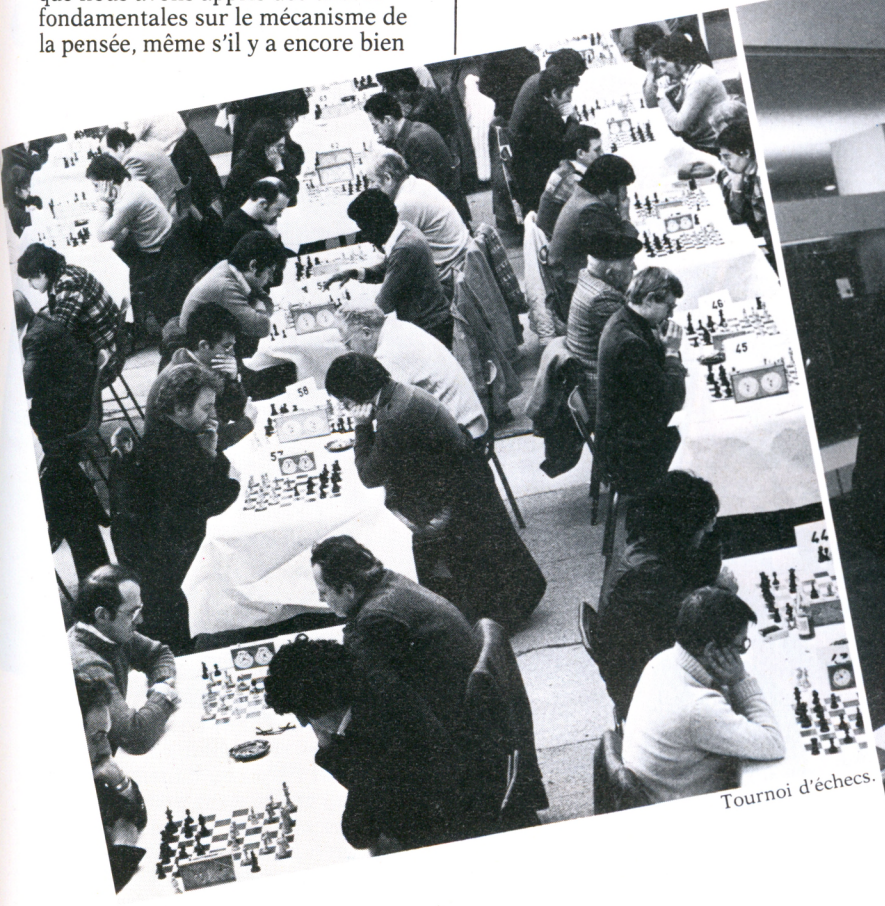
[...] il apparaît aujourd'hui que nous comprenons relativement bien la façon dont les êtres humains sont capables de résoudre les problèmes, les problèmes difficiles : ceux que rencontrent les ingénieurs, les professeurs, ou encore ceux que doivent résoudre les étudiants pour obtenir leur diplôme universitaire. Nous savons le genre de traitement de symboles auquel ils donnent lieu, nous connaissons également les mécanismes de réflexion qui, partant de la fin à atteindre, reviennent jusqu'aux moyens pour y parvenir. Ces systèmes, nous les comprenons, et je crois que leur compréhension nous permet de programmer les ordinateurs et d'établir des comparaisons entre, d'une part, la suite d'opérations accomplies par un programme informatique, et d'autre part, celles accomplies par l'être humain qui rencontre le problème. Et je crois que nous avons appris des choses fondamentales sur le mécanisme de la pensée, même s'il y a encore bien des choses que nous ne savons pas. Ensuite, je crois que nous avons des façons de savoir un peu comment le langage humain se forme, et comment il est compris. Je ne parle pas seulement de la syntaxe et de la grammaire, je parle également d'autre chose ; nous avons des programmes informatiques qui peuvent lire et comprendre des textes relativement simples. Comment le sens est-il compris ? Eh bien, laissez-moi vous donner un exemple.

Il y a un système qui s'appelle ISAAC, baptisé d'après Isaac Newton bien sûr. Ce programme peut lire les problèmes qui se trouvent à la fin d'un chapitre d'un manuel scolaire de physique. Le programme peut donner une description du problème : par exemple, il y a un homme qui se trouve sur une échelle, dans une pièce ; l'échelle forme des angles avec le mur, le sol, etc. Le programme est capable de comprendre les données, et de ce fait il est capable de construire dans sa propre mémoire une image de la scène en question, et il peut ensuite, non seulement résoudre le problème, mais aussi transmettre cette image sur un écran.

Aujourd'hui, nous savons également comment sont traitées les données dans la mémoire de l'être humain. L'exemple le plus courant est celui des jeux d'échecs. A partir des systèmes donc simples, nous pouvons construire des systèmes plus évolués, dits experts. Par exemple, nous savons que personne ne peut devenir expert en échecs, ou en diagnostic médical, avant d'être capable de reconnaître dans les domaines environ 50 000 configurations ou formes organisées qui lui sont déjà connues. Un joueur d'échecs doit donc pouvoir reconnaître 50 000 configurations. [...]

Actuellement, nous commençons à nous pencher sur les mécanismes d'apprentissage de l'être humain. Nous découvrons comment l'être humain peut apprendre, non seulement en écoutant les instructions qu'il reçoit ou en les mémorisant, donc en apprenant par cœur des choses, mais également quel processus d'apprentissage à proprement parler il utilise.

in *Les Nouvelles Sciences : comprendre les Sciences de l'Artificiel,*
avec le professeur H. A. Simon
(AFCET : Les débats de l'AFCET).



Tournoi d'échecs.

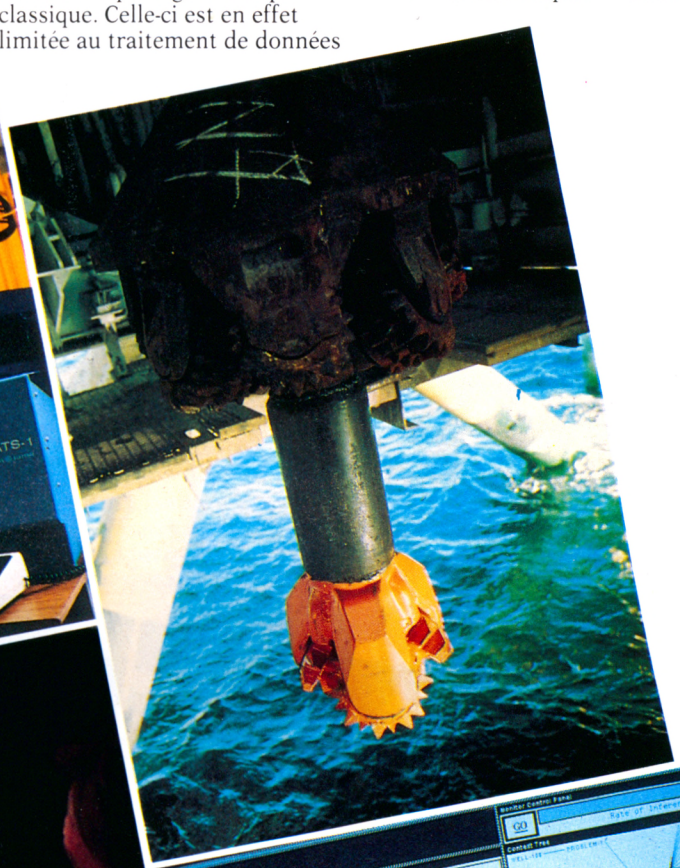


Jeu d'échecs électronique.

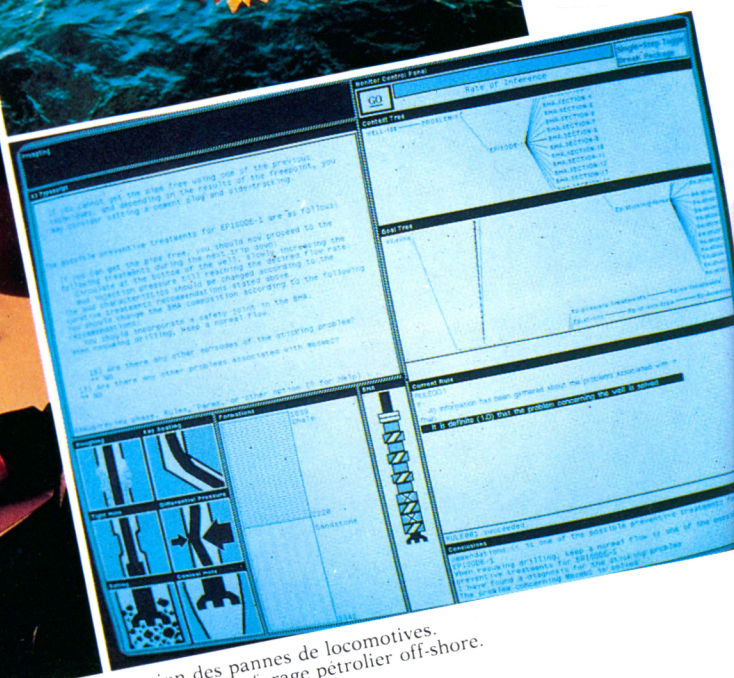
De l'hôpital aux plates-formes de forage...

Le champ d'application des systèmes experts s'étend bien au-delà du domaine de l'informatique algorithmique classique. Celle-ci est en effet limitée au traitement de données numériques ou littérales, c'est-à-dire de chiffres et de lettres. Les programmes de gestion – paye, comptabilité, etc. –, de traitement de texte, ou même de conception assistée par ordinateur, ne font rien de plus qu'enchaîner, selon un ordre prédéterminé par leur concepteur, des opérations arithmétiques – additions,









En haut à gauche : Cats-1, système expert pour la détection et la réparation des pannes de locomotives.
A droite et en bas : Secofor détecte les pannes de trépan sur les plates-formes de forage pétrolier off-shore.

multiplications, etc. – des tris, des regroupements, sur les données.
Les systèmes experts abordent des domaines jusqu'ici totalement réservés à l'être humain. A San Francisco, au *Pacific Hospital,* le personnel médical dispose d'un système expert nommé PUFF qui sait diagnostiquer les infections pulmonaires. Il offre par exemple aux médecins la possibilité de tester la validité de leurs diagnostics. Mais il permet aussi aux infirmières de réagir rapidement en cas d'urgence, lorsqu'aucun médecin n'est présent.
Digital Equipment Corporation (DEC), le second constructeur mondial d'ordinateurs, utilise le système expert XCON pour déterminer les configurations des systèmes informatiques VAX qu'il commercialise. Il lui est ainsi possible, en connaissant les besoins d'un client, de savoir combien d'unités centrales, de lecteurs de disques, etc., il devra installer, quelle puissance les systèmes de conditionnement d'air devront fournir pour maintenir la température idéale dans le local ordinateur, en fonction du volume de ce dernier, de la chaleur dégagée par les machines, par exemple.
Xcon a l'avantage de proposer très rapidement des configurations optimisées. Il permet également à DEC d'évaluer l'intérêt de tels logiciels pour préparer son avenir sur le créneau de l'intelligence artificielle.
Le groupe américain *General Electric* se sert du système-expert CATS-1 pour diagnostiquer les pannes des locomotives électriques et faciliter leur réparation. La compagnie pourra ainsi bénéficier de l'expertise de son principal mécanicien lorsque celui-ci sera parti à la retraite.
Pour Elf-Aquitaine, il s'agit également de pallier l'absence d'experts en cas d'incident technique sur les plates-formes de forage off-shore. Grâce à SECOFOR, système expert en cours de développement, les causes de blocage du trépan, par exemple, seront identifiées et la réparation effectuée sans attendre la venue sur place d'un spécialiste, parfois indisponible pour quinze jours. L'intérêt d'un tel système se justifie dès qu'on sait que le coût d'immobilisation d'une plate-forme de forage est de un à deux millions de francs par jour.
De son côté, la Société Générale de Banque, sise à Bruxelles, envisage d'offrir le système LE COURTIER en service à ses clients. Ceux-ci pourront constituer et gérer eux-mêmes leurs portefeuilles d'actions en fonction de leurs propres critères, et sans rien connaître au milieu de la finance.

Simuler le raisonnement d'un expert humain

Les quelques exemples précédents (sans oublier Prospector) illustrent la diversité des domaines d'application des systèmes experts, tout comme la variété d'utilisateurs auxquels ils s'adressent. Mais quelles différences existe-t-il entre les problèmes qu'ils permettent de résoudre et ceux que l'informatique classique traite aujourd'hui ?
La réponse tient avant tout à la difficulté de modéliser et de structurer les connaissances dans les secteurs mentionnés, comme l'exigerait l'informatique classique. Et à la possibilité, même si on ne dispose pas de tous les éléments nécessaires à la résolution du problème auquel on est confronté, d'obtenir des systèmes experts un diagnostic et des propositions de mesures à adopter.
Le travail du système expert va donc consister à reproduire, ou plus exactement à simuler, le raisonnement d'un expert humain, d'une manière aussi exacte que possible. Lorsque l'homme est confronté à un problème, il met en œuvre des **heuristiques,** méthodes plus ou moins « pifométriques » qui consistent à tester des solutions non garanties de succès mais ayant d'autant plus de chances d'aboutir qu'elles reposent sur une meilleure expérience du phénomène observé. Si une première voie ne débouche pas rapidement, une autre est essayée, et ainsi de suite. Lorsqu'un médecin voit arriver un patient qui a des brûlures d'estomac, par exemple, il se dit que celui-ci a quatre-vingts chances sur cent d'avoir un ulcère. Il procède ainsi de manière heuristique. En effet, si un examen rapide lui confirme ce premier diagnostic, le problème sera résolu – ce sera le cas si le patient lui indique que les brûlures apparaissent environ deux heures après les repas. En revanche, s'il trouve d'autres symptômes venant contredire l'hypothèse initiale, il émettra une autre hypothèse : une gastrite, par exemple.
Dans son raisonnement, le médecin utilise ses connaissances de manière sélective selon qu'elles s'appliquent plus ou moins bien au cas rencontré. Il ne sait pas, a priori, quelles connaissances lui permettront de résoudre le cas étudié, et ne choisit parmi celles-ci qu'en fonction des données dont il dispose, des symptômes qu'il observe (ici les brûlures).
Le système expert procédera exactement de la même manière ; c'est pourquoi il est pratiquement impossible de définir d'avance la voie qu'il devra suivre pour résoudre un problème donné, c'est-à-dire, ici, pour établir le diagnostic.
C'est l'une des grandes différences avec le processus algorithmique utilisé dans l'informatique traditionnelle où le chemin à suivre est défini et figé, dans le programme, lors de sa conception. Un système expert, lui, construit progressivement, à partir des données qui lui sont communiquées, la voie devant aboutir à une solution. Aussi la structure d'un tel programme est-elle prévue pour fonctionner de manière analogue à celle de l'esprit humain placé dans de telles situations.
Lorsqu'il raisonne, l'expert fait appel à ses connaissances dans le domaine abordé. Celles-ci constituent un stock, sa mémoire, qui peut évoluer au cours du temps, notamment lorsque l'expert apprend. Il exploite ce savoir en fonction des faits qu'il observe en procédant par déductions ou inductions logiques successives. Ainsi le médecin, lorsqu'il voit son patient, procède-t-il par déduction en diagnostiquant un ulcère au vu

de brûlures d'estomac apparaissant environ deux heures après les repas. Il opère ensuite par induction pour confirmer ce diagnostic en se disant par exemple : « Supposons qu'il ait effectivement un ulcère, alors les brûlures devraient être calmées par l'ingestion d'aliments lactés ». Cette fois, il a supposé le but vrai, et va chercher confirmation en demandant si le symptôme évoqué est présent.



Harvey, un automate sans jambes créé par le cardiologue américain W. Proctor Harvey. En appuyant sur un simple bouton, on peut lui infliger l'une des quarante maladies cardiaques inscrites à son programme.

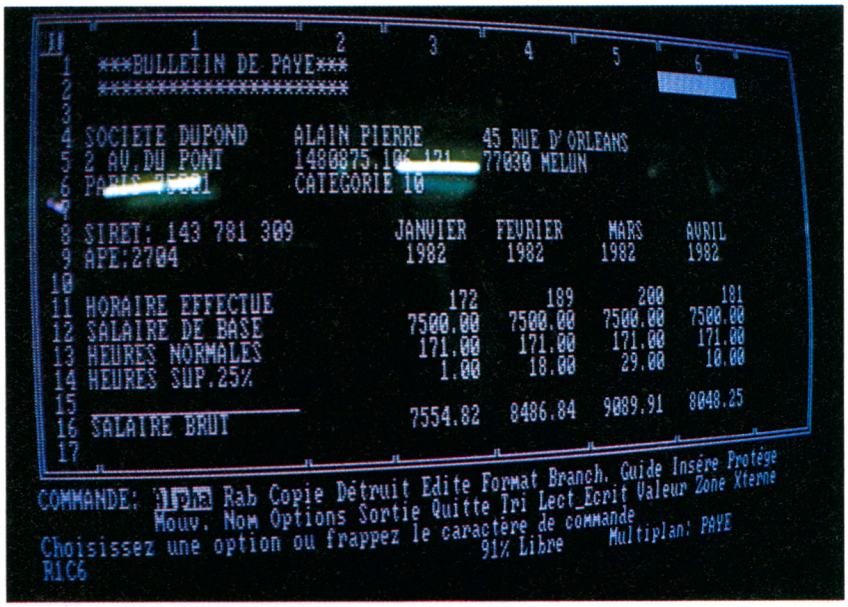
Structure

On distingue deux parties essentielles dans un système expert.

- La **base de connaissances** est une mémoire où sont stockées les connaissances des experts qui ont été consultés pour constituer le logiciel. Elle contient le savoir du système expert dans son domaine d'application. Elle est donc caractéristique du système. Il est très important de remarquer que ce savoir provient exclusivement des experts consultés pour réaliser le logiciel. Dans l'état actuel de la science, les systèmes experts n'inventent rien et ne savent rien de plus que les personnes qui leur ont communiqué leur expertise.
- La seconde partie du système expert est le **moteur d'inférences.** C'est un programme capable d'enchaîner des **inférences** (inductions ou déductions) à partir des faits communiqués au système et en exploitant les connaissances contenues dans la base évoquée précédemment. Le moteur d'inférences est indépendant du domaine d'application du système, et un même moteur peut être utilisé pour différents systèmes. Cette séparation entre base de connaissances et moteur d'inférences présente un gros intérêt : on peut très facilement rajouter des connaissances dans la base, tout comme un expert accroît son savoir. De nouvelles voies pour résoudre les problèmes sont ainsi introduites implicitement. Cette facilité d'évolution contraste avec la rigidité des programmes algorithmiques : modifier ces logiciels classiques exige souvent leur refonte plus ou moins complète, et cette tâche devient colossale dès qu'il s'agit de gros programmes – dans les grandes entreprises, il n'est pas rare de voir le service informatique occuper plus de la moitié de son temps à la maintenance des logiciels !

La structure des logiciels du type système expert intéresse donc beaucoup les concepteurs de programmes algorithmiques dont les applications exigent de fréquentes modifications. C'est le cas, notamment, pour le traitement de la paye dans les entreprises. Ainsi une petite société établie dans l'Yonne réussit-elle un coup de maître lorsqu'elle conçut, pour la paye, un système expert qu'elle arriva à implanter dans quatre entreprises de cette région. L'une

des plus grosses sociétés de services informatiques françaises lui racheta ensuite tous les droits d'exploitation de son programme pour le diffuser largement.
Base de connaissances et moteur d'inférences sont les deux constituants fondamentaux du système expert, mais celui-ci comporte également d'autres éléments. L'un d'eux est la **base de faits.** C'est, en quelque sorte, la mémoire de travail de ce logiciel. Dans l'étude d'un cas précis, elle contient à chaque instant tout ce que le système sait sur ce cas, et elle s'enrichit au fur et à mesure que le système enchaîne les inférences. On trouve donc dans la base de faits les informations communiquées par l'utilisateur et les conclusions que le système a pu en tirer.
Un autre élément important du système expert est l'**interface en langue naturelle.** Ce module permet à l'utilisateur de dialoguer avec le logiciel en langage courant (anglais, français, ...) comme il parlerait avec un expert. Ceci ne signifie pas pour autant que le langage naturel soit utilisé pour concevoir les logiciels.
On dispose à cet effet de langages de programmation spécifiques à l'intelligence artificielle : Lisp, Prolog, Smalltalk, Logo, etc. Ceux-ci ont l'avantage, sur les langages de type Basic, Fortran ou Cobol, de faciliter l'emploi de symboles pour la représentation des connaissances. Ces symboles désignent notamment tout objet, relation, etc., qui permettent de manipuler des concepts beaucoup moins rudimentaires que les simples chiffres ou lettres de la programmation algorithmique.



Traitement, sur ordinateur, de la paye d'une entreprise.

Comment fonctionne un système expert

Les moteurs d'inférences utilisent deux modes de raisonnement : l'un, par **chaînage avant**, applique un raisonnement **déductif** ; l'autre, par **chaînage arrière**, un raisonnement **régressif** (ou **inductif**).

- Dans le cas d'un chaînage arrière, le raisonnement est guidé par le but à atteindre. Le système s'assigne donc un but hypothétique et recherche la manière d'y parvenir. Il choisit pour cela une règle y aboutissant, et cherche à vérifier les conditions de son déclenchement. Si ces conditions sont contenues dans la base de faits, ou peuvent être obtenues par interrogation de l'utilisateur, l'hypothèse de départ est correcte et le cas est résolu. Sinon, les conditions en question deviennent le nouveau but (sous-but) à atteindre et le processus recommence. Il se poursuit ainsi jusqu'à la vérification de toutes les conditions permettant le déclenchement des règles invoquées. Lorsqu'à un moment donné la règle sélectionnée ne peut être appliquée (conditions de déclenchement impossibles à vérifier), le système choisit une autre règle aboutissant au même but (ou sous-but) recherché. Enfin, lorsqu'aucune des règles y aboutissant ne peut être déclenchée, il change de but (sous-but).
- Dans le cas d'un chaînage avant, le raisonnement est guidé par les données. Le système sélectionne donc des éléments de la base de faits et choisit, puis déclenche, une règle s'appliquant sur ces données. Les conclusions ainsi obtenues viennent enrichir la base de faits et le processus recommence jusqu'à ce que le but que l'on s'est assigné soit atteint.

Dans les deux cas, le choix des règles et des faits est effectué en fonction des stratégies de résolution dont dispose le système. Dans le cas où l'on utilise des règles de production, la logique des deux modes de raisonnement évoqués peut être représentée de la manière suivante :

- chaînage arrière :
  SI A ⇒ (entraîne) B,
  et SI l'on veut prouver que B est *vrai*,
  ALORS on peut chercher à prouver que A est *vrai ;*
- chaînage avant :
  SI A ⇒ B
  et SI A *vrai*
  ALORS B *vrai.*

Dans un système expert comportant plusieurs centaines de règles, la possibilité de déclencher plusieurs règles à partir d'un fait donné peut aboutir rapidement à une multiplication des voies de résolution, trop importante pour que le système fournisse une réponse dans un laps de temps acceptable. Cette multiplication est connue sous le nom d'**explosion combinatoire.** Pour la prévenir, les stratégies de résolution permettent de sélectionner la voie la plus probable aux yeux des experts, notamment grâce au recours aux facteurs de vraisemblance.

in *Sciences et Techniques*, n° 4.

Baleine ou pingouin ?

Le système ci-dessous n'a que valeur d'exemple. Il montre comment peut fonctionner un système à partir d'une base de connaissances et de faits initiaux. Le moteur d'inférences de ce système fonctionne par déductions.

- **Base de connaissances :**

Règle 1 : SI « allaite ses petits » ALORS « mammifère ».
Règle 2 : SI « a des plumes » ALORS « oiseau ».
Règle 3 : SI « donne fourrure » OU « mammifère » ALORS « vit dans forêt ».
Règle 4 : SI « oiseau » ET « ne vole pas » ET « ne vit pas dans forêt » ALORS « pingouin ».
Règle 5 : SI « vit dans forêt » ET « très lourd » ALORS « ours ».
Règle 6 : SI « très lourd » ET « mammifère » ALORS « baleine ».

- **Moteur d'inférences :**

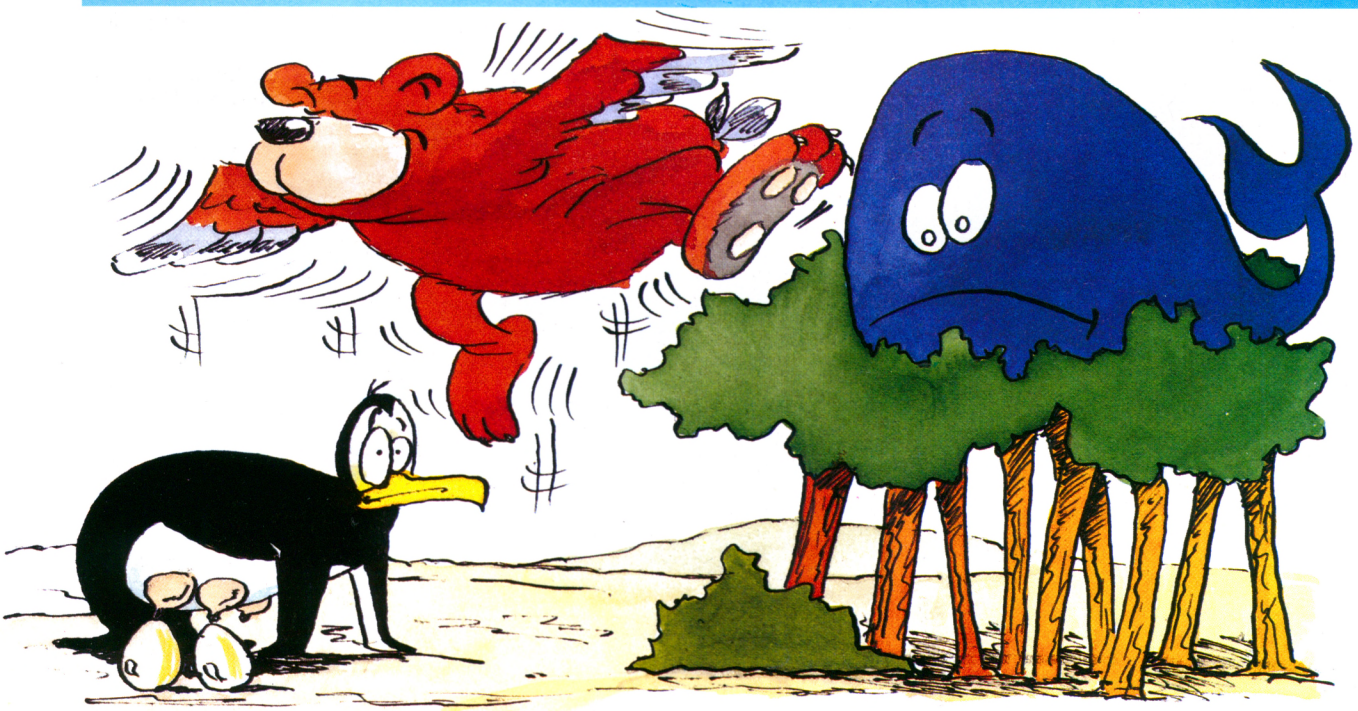
1. Trouver toutes les règles dont les conditions sont vraies.
2. S'il y en a plus d'une, ne pas prendre en compte celles qui dupliquent une propriété déjà connue.
3. Exécuter la règle du plus petit numéro ; s'il n'y en a pas, fin.
4. Retour en 1.

Voici maintenant l'évolution de la base de faits qui contient au départ les observations sur l'animal que l'on veut caractériser (les flèches représentent les inférences successives).
A noter que l'insuffisance de la base de connaissances amène à trouver deux animaux.

• Base de faits :	REMARQUES
– allaite ses petits – très lourd	Seule R1 s'applique
– allaite ses petits – très lourd – mammifère	R1, R3 et R6 sont applicables. R1 est éliminée car elle duplique une propriété connue. R3 (plus petit numéro) est sélectionnée
– allaite ses petits – très lourd – mammifère – vit dans forêt	R1, R3, R5 et R6 applicables R1 et R3 rejetées R5 est sélectionnée
– allaite ses petits – très lourd – mammifère – vit dans forêt – ours	R1, R3, R5, R6 applicables R6 sélectionnée
– allaite ses petits – très lourd – mammifère – vit dans forêt – ours – baleine	FIN

Pour obtenir une meilleure réponse au problème, on aurait pu modifier R6 en prenant règle 6 : Si « très lourd » et « mammifère » et « vit dans l'eau » alors « baleine ».
Notons également que la stratégie de résolution consiste ici à exécuter en priorité la règle qui a le plus petit numéro.

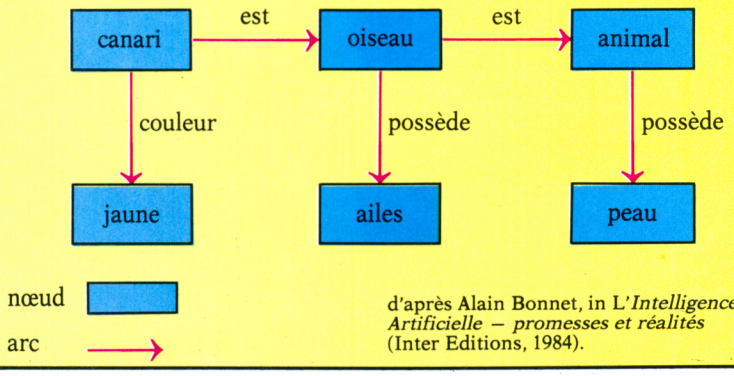
d'après Alain Bonnet, in *L'Intelligence Artificielle – promesses et réalités* (Inter Editions, 1984).



Traitement de la connaissance

Dans un système expert, comme dans l'esprit humain, les connaissances sont stockées dans la base de connaissances de manière **déclarative,** c'est-à-dire telles que l'expert les a exprimées. Ainsi, pour évoquer la rotondité de notre planète, nous disons : « La terre est ronde ». Cette connaissance pourrait être inscrite telle quelle dans la base de connaissances d'un système expert qui en aurait l'usage, pourvu qu'elle ait été au préalable codée dans le langage de programmation choisi. Cependant, dans la plupart des systèmes experts actuels les connaissances sont exprimées sous une forme adaptée à l'utilisation voulue.
La forme la plus répandue est celle des **règles de production.** Ces règles se composent de deux parties : la première est celle des conditions nécessaires pour que la règle s'applique et la seconde celle des conséquences de l'application de cette règle. Les règles de production s'écrivent donc sous la forme : SI « conditions » ALORS « conséquences ».
Ainsi notre médecin, face à son malade, pourra exprimer sa connaissance sous la forme : SI « le malade a des brûlures d'estomac »ET SI « elles apparaissent deux heures après les repas », ALORS (80 %) « il a un ulcère ». La valeur 80 % est le **facteur de vraisemblance** affecté à la règle. Il traduit le degré de certitude qu'a l'expert d'aboutir à la conséquence « ulcère » en présence des symptômes « brûlures et apparition deux heures après les repas ». Les 20 % restant correspondent aux cas où ces deux symptômes caractérisent d'autres maladies qu'un ulcère.
Les règles de production sont la forme la plus employée pour représenter les connaissances, mais il en existe d'autres. Prospector utilise un mode de représentation par **réseaux sémantiques.**
Ce sont des ensembles constitués de **nœuds** représentant des objets ou des concepts, et d'**arcs** reliant ces nœuds et traduisant des relations entre eux.

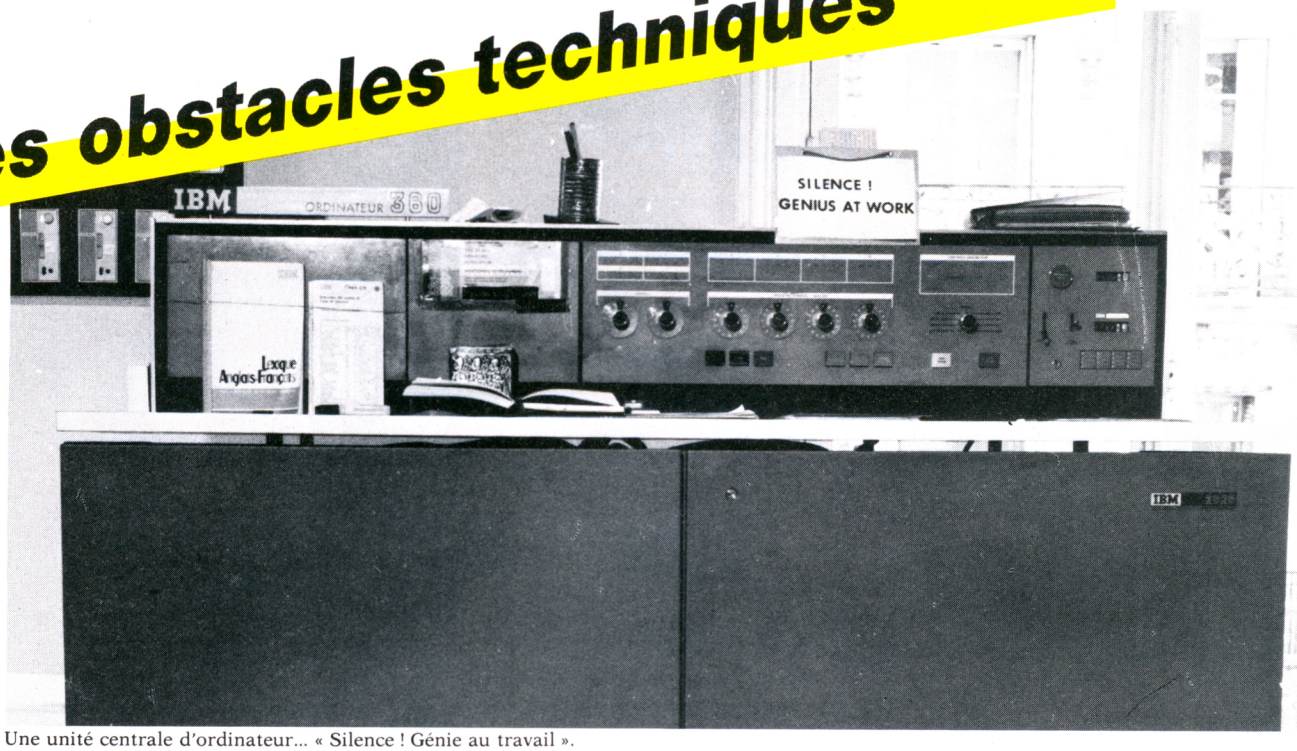
RÉSEAU SÉMANTIQUE PERMETTANT DE CARACTÉRISER LES ANIMAUX



d'après Alain Bonnet, in L'*Intelligence Artificielle — promesses et réalités* (Inter Editions, 1984).

Citons encore la logique des **prédicats du premier ordre.** Elle permet d'exprimer par exemple la connaissance : « Tout homme est mortel, Socrate est un homme, donc Socrate est mortel » sous la forme : Pour tout x,homme (x) entraîne mortel (x)
SI homme (Socrate)
ALORS mortel (Socrate)
Le prédicat homme (x) qui signifie « x est un homme » indique une propriété de x. On voit ici que l'on peut par exemple combiner certaines possibilités des réseaux sémantiques, les relations en particulier, avec la logique SI... ALORS... des règles de production.
L'utilisation d'une méthode donnée pour représenter les connaissances dépend en réalité de sa capacité à faciliter la résolution des problèmes dans le domaine concerné.
Le mode de représentation des connaissances a une influence sur la structure du moteur d'inférences. En effet, il peut conditionner l'ordre d'enchaînement des connaissances et les moteurs d'inférences ne sont donc pas réellement universels. Confronté à un problème donné, l'expert n'examine pas toutes les solutions possibles. Il connaît des stratégies de résolution de problèmes qui, au vu de certains détails précis, lui suggèrent la meilleure manière d'aboutir rapidement au résultat. Il peut chercher, par exemple, des données complémentaires à celles déjà observées pour établir directement une conclusion. Il peut aussi savoir comment associer plusieurs déductions pour obtenir d'autre informations. De telles connaissances sont donc plutôt des connaissances sur les connaissances, encore appelées **métaconnaissances.** La plus simple consiste, bien sûr, à savoir qu'il faut privilégier l'utilisation des connaissances ayant la plus forte probabilité de s'appliquer, c'est-à-dire celles qui ont le facteur de vraisemblance le plus élevé.
D'autres sont plus complexes. Dans le cas de règles de production, une métaconnaissance peut être une règle s'appliquant lorsque certaines règles sont déjà vérifiées. Les règles étant numérotées dans la base de connaissances, une telle **métarègle** s'écrirait par exemple :
SI « règle 33 a été appliquée » ET SI « règle 60 a été appliquée » ALORS « conséquence ».
Les systèmes experts ont également la particularité de pouvoir expliciter leur raisonnement, comme le ferait un expert. Il leur suffit pour cela de reprendre l'enchaînement des faits et des règles inférés au cours de la résolution du problème. Celui-ci se trouve implicitement dans la base de faits.
En reprenant l'exemple du médecin, l'utilisateur peut demander au système comment il a conclu à un ulcère. Le logiciel citera la règle SI « brûlure d'estomac après les repas, ALORS « ulcère » et l'observation des deux symptômes brûlures et apparition deux heures après les repas. Cette propriété est très importante car l'utilisateur peut ainsi vérifier s'il est d'accord avec la solution proposée par le programme.

Les obstacles techniques



Une unité centrale d'ordinateur... « Silence ! Génie au travail ».

Tous les concepts que nous venons d'évoquer (bases de connaissances, moteurs d'inférences, représentation des connaissances, aspect déclaratif, etc.) paraissent en définitive beaucoup plus naturels que ceux habituellement employés en informatique algorithmique. Leurs propriétés (facilité d'actualisation, possibilité d'expliciter le raisonnement, similitude avec le langage naturel, etc.) constituent des atouts de poids qui donnent à penser que les systèmes experts devraient se répandre rapidement. En réalité, il n'en sera peut-être rien avant plusieurs années, car la réalisation de ces logiciels est encore très difficile pour l'instant. A cela, plusieurs raisons.

La constitution des bases de connaissances reste très complexe. Elle exige le recours à des spécialistes de la connaissance, qui travailleront en étroite liaison avec les experts du domaine d'application du système (médecins, géologues, etc.). Ces ingénieurs de la connaissance devront recueillir le savoir des experts, l'analyser pour déterminer la meilleure manière de représenter les connaissances (règles de production, réseaux sémantiques, etc.). Ils introduiront ensuite ces connaissances en machine, codifiées selon le formalisme choisi. A n'en pas douter, le génie de la connaissance est lui-même une forme d'expertise, qui relève autant de l'art que des sciences exactes.

Dans le travail de constitution de la base de connaissances, il est en particulier indispensable de détecter toutes les incohérences et les contradictions – et il y en a ! – qui se trouvent dans les informations fournies par l'expert, faute de quoi le système ne fonctionne pas correctement. C'est notamment le cas en ce qui concerne les facteurs de vraisemblance, qui sont souvent attribués de manière arbitraire.

Un ensemble de conditions déterminées peut, par exemple, conduire à plusieurs conclusions distinctes. Dans ce cas, la somme des facteurs de vraisemblance de



ces conclusions ne peut en aucun cas dépasser 100 %.
Par ailleurs, la véritable expertise est celle qui va au-delà des généralités. L'ingénieur de la connaissance devra donc interroger l'expert sur tous les cas d'exceptions et les raretés qu'il a rencontrés au cours de sa carrière. Cette tâche est difficile : les bases de connaissances des systèmes existants comportent couramment 500 à 1 000 règles. Et ce ne sont souvent que des prototypes ! On en prévoit dix fois plus dans l'avenir.
De plus, l'ingénieur de la connaissance doit faire preuve de psychologie. Conscient de sa valeur, l'expert n'accepte pas facilement de reconnaître qu'il se trompe ou de livrer ses secrets.
La réalisation des interfaces de dialogue homme-machine en langage naturel présente elle aussi des difficultés encore mal surmontées. La compréhension d'une phrase exige en effet une expertise : celle de la langue (français, anglais, etc.). Toute personne qui connaît cette langue et le contexte de la phrase comprend cette dernière.
Cette référence au contexte est essentielle, car elle seule permet de lever la plupart des ambiguités du langage. Prenons par exemple la phrase « l'avocat n'est pas prêt ». Prononcé par un serveur de restaurant, le mot avocat désigne probablement le fruit. En revanche, dans la bouche d'un juge d'instruction, ce mot a plus de chances d'évoquer l'homme de loi. Mais il n'y a là aucune certitude : il peut s'agir du même juge d'instruction, rentré chez lui et passé derrière ses fourneaux, qui répond à sa femme, s'inquiétant du dîner, qu'ils ne pourront passer à table que lorsqu'il aura terminé la préparation de leur hors-d'œuvre.
Dans le cas des systèmes experts, la limitation du domaine d'expertise et, donc, du contexte, rend moins complexe l'interprétation du langage naturel. S'il s'agit d'un système expert juridique, l'avocat sera l'homme de loi. S'il s'agit d'un système expert en agronomie, ce sera le fruit. Les techniques les plus répandues pour l'interprétation du langage naturel sont d'ailleurs proches de celles des systèmes experts. La base de connaissances est cette fois constituée des mots employés dans le domaine concerné et d'instructions spécifiques permettant de lever les ambiguités.
L'utilisation à grande échelle des systèmes experts sera donc largement conditionnée par l'évolution des facteurs que nous venons d'évoquer.

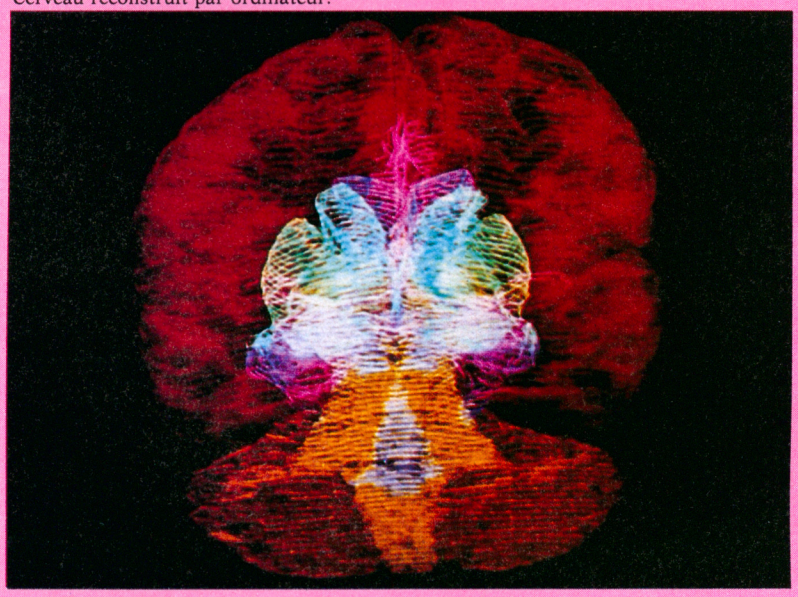
La question essentielle

[...] il en résulte que le fait, et ceci est un fait, que les humains connaissent des choses qu'ils sont incapables de communiquer sous la forme du langage écrit ou parlé ne suffit pas pour affirmer qu'il existe des connaissances inaccessibles aux ordinateurs.
Cependant, de peur qu'on donne à mes mots une signification supérieure à mes intentions lorsque je dis que les ordinateurs peuvent acquérir des connaissances de maintes façons différentes, je souhaite préciser ma position :
Premièrement, la capacité des systèmes d'ordinateurs actuels, même les plus perfectionnés, d'acquérir des connaissances par des moyens autres que ceux appelés par Schank « à la petite cuiller » est encore très limitée [...]
Deuxièmement, il n'est pas évident que l'ensemble des connaissances humaines soit codable en « structures d'informations » aussi complètes soient-elles. Un homme peut savoir par exemple le genre d'émotion que lui-même et son interlocuteur éprouvent lorsqu'ils se serrent la main. L'acquisition d'une telle connaissance n'est certainement pas fonction du seul cerveau [...] son acquisition exige pour le moins de disposer d'une main ; autrement dit, il existe certaines choses que les hommes savent par la grâce d'avoir un corps. Aucun organisme n'ayant pas un corps humain ne peut connaître ces choses d'une façon similaire aux êtres humains [...]
Troisièmement, et l'exemple de la poignée de mains s'applique là aussi, il y a des choses que les gens arrivent à connaître uniquement comme la conséquence d'avoir été traités en tant qu'êtres humains par leurs semblables [...]
Quatrièmement enfin, même le genre de connaissances qui, à première vue, semblent être transmissibles d'un être humain à un autre au moyen du seul langage ne sont en fait pas tellement transmissibles. Claude Shannon a démontré que même dans la théorie abstraite de l'information, le « contenu informationnel » d'un message n'est pas fonction du seul message mais dépend beaucoup de l'état des connaissances ou des attentes du récepteur. Le message « Arriverai par l'avion de 7 heures. Tendresse. Bill. » ne possède pas le même contenu informationnel pour une épouse qui savait que Bill rentrait à la maison mais ignorait à quelle heure, que pour une jeune fille qui n'attendait pas du tout Bill et qui est surprise par sa déclaration d'amour [...]

Ces considérations ne concernent pas seulement certaines limitations techniques des ordinateurs mais aussi la question essentielle de ce que signifie être un homme ou être un ordinateur.

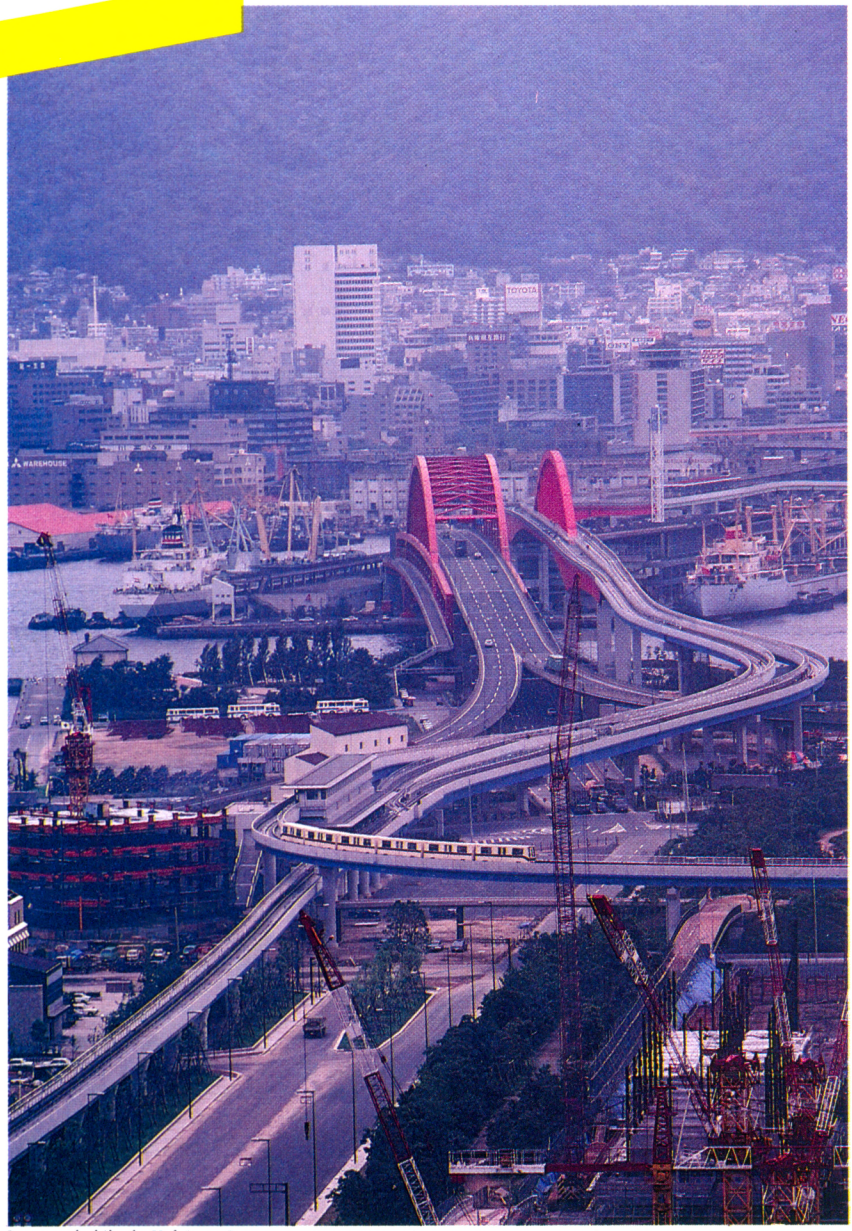
in *Puissance de l'ordinateur et Raison de l'Homme, du jugement au calcul,* par Joseph Weizenbaum (Editions Informatiques, 1981).

Cerveau reconstruit par ordinateur.



L'avenir

La constitution de bases de connaissances par des ingénieurs spécialisés semble être un travail trop vaste pour qu'il soit envisageable de manière systématique. D'ailleurs, il existe pour l'instant à peine cinq cents ingénieurs de la connaissance dans le monde et, compte tenu de l'expérience nécessaire pour exercer cette fonction, il ne faut pas s'attendre à voir ce nombre augmenter suffisamment pour répondre à la demande potentielle. Plusieurs solutions sont envisagées pour y remédier. Elles font l'objet de recherches actives. L'une est la création de systèmes permettant aux experts de constituer eux-mêmes leur base de connaissances. De tels logiciels vérifieraient automatiquement la cohérence de la base de connaissances. Une autre voie consiste à réaliser des interfaces entre les systèmes experts et les bases de données documentaires existantes, permettant au système d'aller chercher lui-même les informations dont il a besoin. Dans ces deux cas, de gros progrès dans l'interprétation du langage naturel sont indispensables. Il est en effet difficile d'obliger un expert à adopter un langage restreint qui convienne au système. De même, le système désirant analyser un texte pour en extraire des connaissances devra l'utiliser en l'état. Après ce travail d'interprétation du langage naturel il y a une autre tâche, tout aussi complexe sinon plus, qui consiste à construire automatiquement des représentations de connaissances à partir des informations obtenues dans ces bases de connaissances. Notons au passage que les connaissances « encyclopédiques » obtenues dans les bases documentaires seront, de toute façon, insuffisantes pour constituer de véritables systèmes experts. Les experts humains devront aussi leur communiquer leurs « trucs ». Une troisième voie explorée, complémentaire des deux autres, consiste à réaliser des logiciels capables d'apprendre automatiquement, c'est-à-dire d'enrichir par eux-mêmes leur base de connaissances lorsqu'ils sont confrontés à de nouveaux cas. Dans tous ces domaines, de nombreux travaux de recherche ont abouti à des prototypes avec un succès plus



Le port de l'île de Kobé, au Japon.

Tokyo : le centre de trafic urbain par ordinateur.



ou moins grand. Le passage à des réalisations en vraie grandeur sera sans doute une autre affaire.
Les types de données que les systèmes experts savent traiter sont également trop limités. On veut, en particulier, pouvoir prendre en compte des données numériques, et surtout des paramètres physiques, pour permettre à un système expert de réagir dans des situations de crise – par exemple une température trop élevée dans une centrale nucléaire. Or, caractériser une température par le fait qu'elle est « trop » élevée reste beaucoup plus flou que donner une valeur limite (par exemple 1 000 degrés) qui ne doit être dépassée en aucun cas. Cette valeur peut d'ailleurs dépendre d'autres paramètres ou de certaines conditions. Ici encore, il est difficile de généraliser.
Le problème doit, dans chaque cas, être ramené à un contexte précis pour déterminer la forme qu'adoptera la solution.

Notons également que le champ de connaissances que traitent les systèmes experts est encore trop restreint. Ceci concerne d'une part le niveau de connaissances : à l'heure actuelle, les systèmes experts n'utilisent que des connaissances basées sur l'observation et l'expérience – ils ignorent les connaissances fondamentales basées sur des lois (en physique par exemple), tout comme, à l'opposé, les connaissances « de bon sens », trop générales ; et d'autre part le domaine d'application : la constitution de systèmes moins spécialisés, qui couvriraient, par exemple, tout un secteur de la médecine ou de la géologie, se heurte tant au problème de la



constitution de vastes bases de connaissances qu'à celui de l'indisponibilité d'ordinateurs spécialisés suffisamment puissants. Le projet japonais d'ordinateurs de la cinquième génération a précisément l'ambition de résoudre une grande partie des difficultés que nous venons de mentionner. Selon les affirmations des Japonais, le système d'exploitation de tels ordinateurs assurera, en effet, un certain nombre de fonctions qui permettront de constituer des systèmes experts hautement performants en ne se concentrant plus que sur la partie d'acquisition des connaissances. Ce système d'exploitation comportera quatre modules programmés en langage Prolog :

- l'un pour la résolution de problèmes par inférence ou par d'autres techniques de **complémentation** ;
- un autre pour la manipulation des connaissances selon les formes de représentation employées ;
- un troisième pour la vérification et la détection d'erreurs ;
- enfin une interface en langage naturel.

Du point de vue matériel, le système comprendra une machine-base de connaissances, capable de gérer de grands stocks de connaissances, et une machine de calcul parallèle pour exécuter plusieurs opérations logiques à la fois.

L'ordinateur de la cinquième génération pourrait, d'ici une dizaine d'années, exécuter couramment un milliard d'inférences par seconde – chiffre à rapprocher des 40 000 inférences par seconde dont sont capables les machines les plus puissantes à l'heure actuelle...

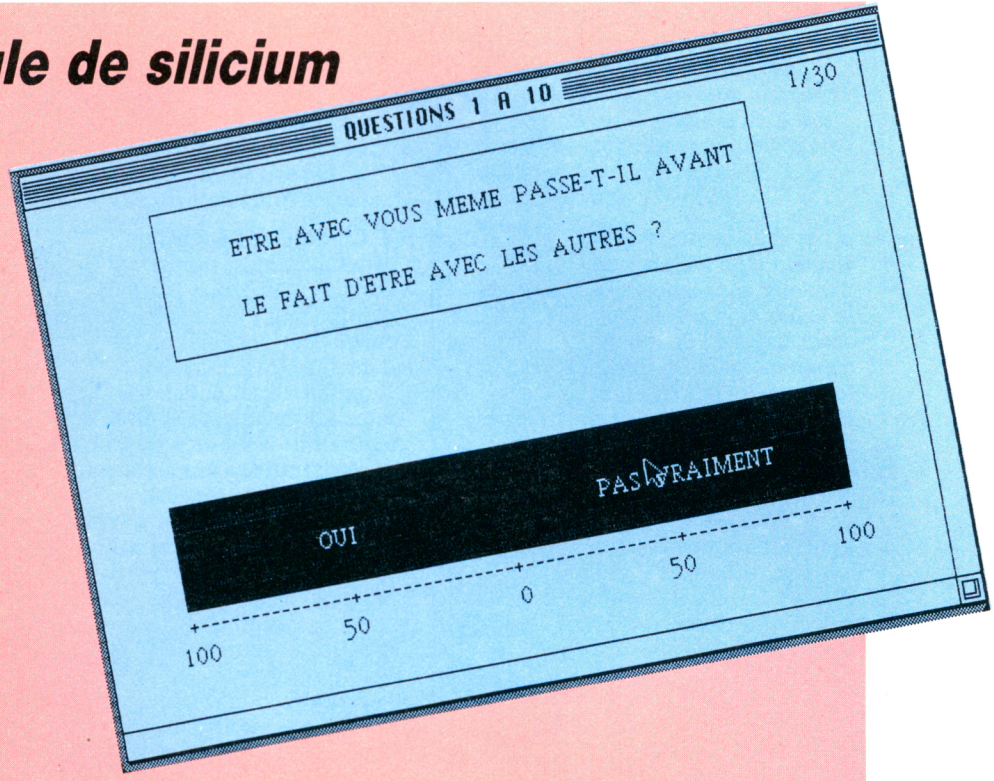
Aura-t-on pour autant construit un ordinateur intelligent ? Disons plus modestement que de telles machines seront capables de traitements intelligents, avec des performances supérieures à celles de l'homme, dans des domaines précis. Cela n'a rien de très nouveau, les super-ordinateurs sont déjà capables d'effectuer des millions d'opérations arithmétiques par seconde. La grande nouveauté sera celle de l'élucidation de certains mécanismes de la connaissance qu'auront permis les travaux de mise au point de telles machines. On sait aujourd'hui que l'intelligence, comme la connaissance, revêt de multiples aspects. Au-delà des fantastiques conséquences industrielles qu'elle entraînera, l'arrivée de tels ordinateurs marquera aussi un pas décisif vers une meilleure compréhension de la « machine humaine ».

En micro-informatique, les systèmes experts vont également apporter du nouveau, et ceci dès aujourd'hui, avec l'apparition des premiers moteurs d'inférences pour micro-ordinateurs. Chacun va, en effet, pouvoir construire lui-même son propre système expert en constituant une base de connaissances dans un domaine précis. On pourra tout à loisir s'essayer à la résolution de problèmes relativement simples sur des bases restreintes, comportant environ deux cents règles. Nul doute que cette voie sera largement explorée dans le domaine pédagogique. Par ailleurs, on verra probablement apparaître des petits systèmes experts à usage domestique, pour dépanner sa voiture, pour quelques examens médicaux à titre préventif, etc. Aux États-Unis, une société a pressenti l'intérêt de telles applications. Elle commercialise déjà des systèmes experts à vocation psychologique destinés à aider les relations entre parents et enfants ou entre conjoints...



Des colonnes de puces à l'usine Macintosh (Fremont, USA).

Lire dans la boule de silicium



Une petite firme dynamique, Hyperlog, rassemble autour de Marcos Einis, des psychiatres qui construisent des applications inattendues de l'ordinateur. Celui-ci gère des tests de personnalité.
Or nous adorons passer des tests. Leur nombre croissant dans les magazines en fait foi. Un logiciel appelé Boule de silicium, implanté sur Macintosh, présente à l'usager une quarantaine de questions, selon une grille qui change à chaque fois (voir écran ci-contre). Il y a, en dessous de la question, une échelle graduée pour la réponse. On peut affirmer OUI ou PAS VRAIMENT ou se placer ailleurs sur l'échelle.
Et la machine met en évidence le degré d'incohérence de celui qui s'en sert. On a droit à des jugements du type :
« développer vos potentialités est un de vos désirs, mais vous manquez de persévérance » ;
ou bien :
« dès qu'une situation devient importante pour vous, vous vous sentez en contradiction ».
Le dispositif d'analyse est analogue à celui de Cléopâtre (que nous verrons plus loin), utilisé pour la suggestion de parfums. Mais on obtient en plus, en pourcentages, ses propres dimensions narcissique, décentrée, oscillante, orthodoxe et discriminante.
« On peut imaginer que quelqu'un, après s'être lavé les dents, fasse tous les jours son test pour voir comment il évolue, propose Marcos Einis. Mais on peut aussi le faire pour quelqu'un d'autre, son épouse par exemple. On prépare d'ailleurs un programme de consultation pour les couples qui ne marchent pas. » Le prospectus suggère aussi d'autres arrangements : demander à quelqu'un d'autre de le faire pour soi, par exemple.
Il est évident que ce que peut identifier une machine n'a que de lointains rapports avec ce que peut ressentir un être humain en face d'un autre. Mais, la machine a l'avantage de ne pas changer d'humeur. Joseph Weizenbaum avait fait, voici plus de quinze ans, un programme, Eliza, qui simulait un dialogue avec un thérapeute, pour des raisons de méthodologie informatique. Dans son très beau livre, *Puissance de l'ordinateur et raison de l'homme,* il raconte comment son logiciel eut un succès et une crédibilité considérables auprès de nombreuses gens, alors que tel n'était pas son but. Ce n'est pas une question vide de sens, cet attrait pour les tests et pour la machine qui les gère.
Peut-être Adam ou Ève futurs ?...



Petit glossaire

• **Base de connaissances** : élément d'un système expert ; mémoire dans laquelle sont stockés le savoir et le savoir-faire des spécialistes du domaine d'application du système expert (description des objets et de leurs relations, cas particuliers, stratégies de résolution et leurs conditions d'application).

• **Base de faits** : espace de travail d'un système expert ; celui-ci opérant essentiellement en mode conversationnel avec l'utilisateur, la base de faits contient à tout instant ce que le système sait du cas étudié, d'après les données qui lui sont communiquées par l'usager et les conclusions qu'il a pu en tirer en exploitant la base de connaissances.

• **Calcul (ou traitement) symbolique** : par opposition au calcul numérique de l'informatique classique, qui opère sur des valeurs arithmétiques et permet, par exemple, d'obtenir 1 + 1 = 2, le calcul symbolique traite des variables ou des objets selon des principes de logique et permet ainsi de réaliser l'opération x + x = 2x quel que soit x.

• **Cinquième génération** : dénomination se rapportant à l'origine à un projet japonais d'ordinateur évolué spécialement conçu pour des applications d'intelligence artificielle. Il comprendrait notamment une interface en langage naturel, des logiciels de résolution de problèmes et reposerait sur une architecture spécialisée pour le calcul symbolique permettant d'atteindre un milliard d'inférences par seconde.
Le terme de cinquième génération reste cependant abusif, puisque les trois seules générations d'ordinateurs actuellement reconnues se différencient par la technologie électronique employée pour générer des opérations logiques. Sont, ainsi, successivement intervenus le tube à vide, le transistor et le circuit intégré.
Le projet japonais a été doté d'un budget de 450 millions de dollars sur dix ans. Le Royaume-Uni, avec le projet Alvez (350 millions de livres sur cinq ans), et plus généralement l'Europe, avec certains éléments du projet Esprit (10 milliards de francs sur dix ans), se sont, eux aussi, lancés dans des recherches sur la cinquième génération d'ordinateurs.

• **Inférence** : opération logique par laquelle on admet une proposition en vertu de sa liaison avec d'autres propositions déjà tenues pour vraies ; par exemple : induction ou déduction.

• **Intelligence artificielle** : discipline qui concerne le traitement automatique des connaissances. Utilise des méthodes inspirées du mode de raisonnement humain. Ainsi la manière de résoudre un problème évolue-t-elle avec l'état des connaissances dont dispose le système, humain ou artificiel. Les applications des systèmes informatiques employant des techniques d'intelligence artificielle suivent actuellement trois directions principales : reconnaissance de formes d'objets en robotique ; interprétation du langage naturel pour le dialogue avec les ordinateurs ou la traduction automatique ; systèmes experts en diagnostic médical, en prospection géologique, en identification de pannes, en conseil fiscal, etc. Il faut noter que les diverses disciplines d'origine (reconnaissance de forme, interprétation du langage naturel) étaient désignées distinctement. Pour les regrouper sous une même appellation, les organisateurs d'un congrès qui se tint en 1954 à Chicago choisirent l'appellation « intelligence artificielle » qui, à l'époque, fit sensation.

• **Interprétation du langage naturel** : sans doute la branche la plus complexe mais la plus essentielle de l'intelligence artificielle. Elle s'appuie avant tout sur la linguistique. Au niveau du dialogue homme-machine, elle se développe principalement pour l'interrogation de bases de données. De son côté, la traduction automatique, plus modestement rebaptisée Traduction Assistée par Ordinateur (TAO) permet déjà de transposer des documents techniques d'une langue à une autre avec un minimum d'intervention humaine, de 0 à 30 % selon les cas.

• **Ingénieur cognitif** (ou **cogniticien**) : de l'anglais *knowledge engineer*. Spécialiste de



Service informatique au Crédit Lyonnais.

l'intelligence artificielle, plus particulièrement de la représentation formelle d'une grande masse de connaissances, et de la définition de stratégies pour l'exploiter.

• **Génie de la connaissance** : de l'anglais *knowledge engineering ;* ensemble des techniques de conception et de réalisation des systèmes d'intelligence artificielle.

• **Heuristique** : du grec *eurêka* (« j'ai trouvé ! ») ; mode de réflexion largement intuitif conduisant à la résolution d'un problème à partir de l'expérience acquise.

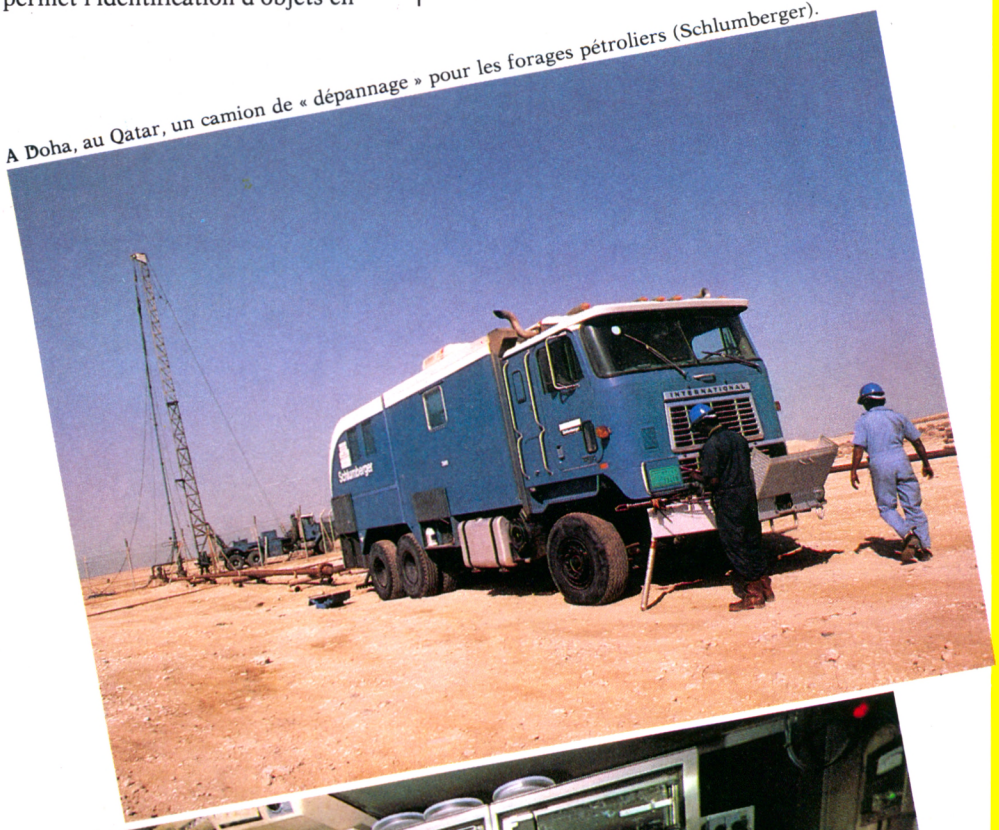
• **Moteur d'inférences** : élément d'un système expert ; programme construisant un raisonnement à partir de faits qui lui sont indiqués en exploitant les connaissances contenues dans la base de connaissances du système expert. Théoriquement indépendant du domaine d'application, le moteur d'inférences fait « réfléchir » le système expert en enchaînant les règles d'inférences que contient la base de connaissances. Cependant sa structure reste généralement liée au mode de représentation des connaissances : règles de production, réseaux sémantiques, etc.
Le moteur d'inférences peut être doté de modules d'interprétation du langage naturel, de gestionnaires de fichiers, d'aides à la constitution de la base de connaissances, de modules d'explication des raisonnements, etc. L'ensemble constitue alors le noyau d'un système expert parfois appelé **système essentiel**.

• **Prolog, Lisp, Logo, Smalltalk** : langages conçus pour les applications d'intelligence artificielle.
– Prolog, pour PROgrammation LOGique, est fondé sur la logique du premier ordre. Il connaît une vogue indéniable depuis que les Japonais l'ont retenu pour leur projet de cinquième génération.
– Lisp, pour *LISt Processing* (traitement de listes), est à ce jour le langage le plus employé pour les applications d'intelligence artificielle. Il existe notamment plusieurs ordinateurs, appelés machines Lisp, spécialement conçus pour utiliser Lisp, alors que les machines Prolog sortent à peine des laboratoires.
– Logo est, quant à lui, un langage conçu avant tout pour des applications d'autoformation.

• **Règles de production, réseaux sémantiques, frames, scripts, logique du 1er ordre,** etc. : divers modes de représentation des connaissances employés dans la constitution de la base de connaissances d'un système expert. Le plus courant est la règle de production, constituée de conditions (SI...) et de conséquences (ALORS...) survenant si les premières sont vérifiées ; par exemple : SI le malade a le nez qui coule et SI sa température dépasse 37°, ALORS il a un rhume. Une telle règle peut en outre être affectée d'un facteur de vraisemblance.

• **Reconnaissance des formes** : technique qui associe des caméras vidéo ou des circuits intégrés spéciaux (CCD) à des processus électroniques spécialisés. Elle permet l'identification d'objets en contrôle de production ou le pilotage de machines en temps réel.

• **Système expert** : en anglais *knowledge based system* ou *expert system ;* logiciel employé dans des domaines exigeant une importante maîtrise des connaissances : médecine, aide à la décision financière, prospection géologique, diagnostic de panne, configuration d'ordinateurs, etc. Il rassemble les connaissances d'experts sur un sujet concerné et est programmé pour les employer d'une manière inspirée de ce qui serait celle de ces spécialistes.



A Doha, au Qatar, un camion de « dépannage » pour les forages pétroliers (Schlumberger).


L'intérieur du camion est équipé d'un ordinateur utilisant un système expert.

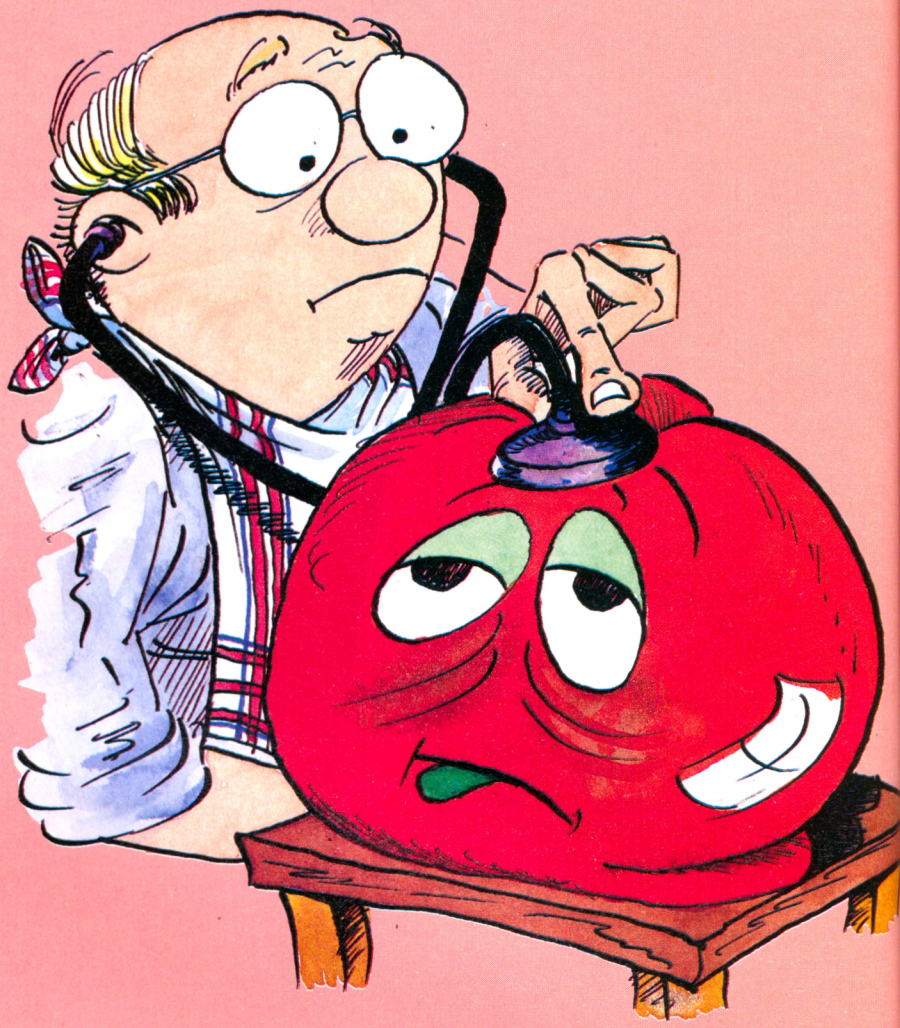
Les applications

Quatre principaux types d'application peuvent être envisagés pour les systèmes experts.

- Le système expert peut intervenir pour remplacer ou conseiller l'expert. C'est bien sûr le cas de la vérification du diagnostic qui remet en cause le savoir des experts, et suggère un recyclage éventuel. En médecine, un généraliste peut être amené à consulter un système expert pour savoir vers quel spécialiste orienter son malade. Cette fois-ci, le logiciel assurera plutôt une fonction de conseil. Dans le domaine bancaire, le système expert peut intervenir pour donner une appréciation sur l'opportunité d'une décision d'investissement, par exemple. Dans ce cas, le logiciel aura un rôle d'aide à la décision.
- Le deuxième grand secteur d'application potentiel pour les systèmes experts est la formation. Cela est d'autant plus justifié qu'il s'agit pour l'étudiant d'acquérir un savoir spécialisé. On envisage d'ailleurs la mise au point de systèmes experts pédagogues. Ils comporteraient alors, en plus du module expert dans le domaine d'application, des modules experts en pédagogie pour mieux s'adapter à la fonction d'enseignement [...]
- Le troisième type d'application envisagé est l'interface intelligente avec des bases de données et des logiciels existants. C'est en particulier tout le travail d'interprétation du langage naturel. Il exige la constitution de bases de connaissances complexes, qui comprennent des dictionnaires, des règles syntaxiques et sémantiques, etc. La base de connaissances de ces systèmes sera constituée directement avec les utilisateurs.
- Le diagnostic et la réparation de systèmes complexes – automobiles, locomotives, ordinateurs, réseaux de télécom, etc. constituent enfin le dernier domaine d'application. A terme, pour certains de ces systèmes, on envisage qu'ils aient la capacité d'effectuer eux-même la réparation, à condition qu'elle ne soit pas trop importante.

in *Rapport sur les systèmes experts* (La Fondation Butler-Cox, nº 37).

TOM et les tomates



Le système-expert Tom est en cours de réalisation à l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). Une maquette est en cours de test sur les maladies de la tomate. A terme, Tom sera étendu à de nombreuses variétés.
Son domaine d'expertise est la pathologie végétale. Voici un exemple de dialogue en langage naturel entre Tom et un agriculteur.

Tom : Age de la tomate ?
Consultant : Adulte.
Tom : Quelle est la variété ?
C. : Vemone.
Tom : Quel est le type de culture ?
C. : Sous-abri.
Tom : Quel est le mode de culture ?
C. : Hors-sol.
Tom : Quel est le type d'irrigation ?
C. : Localisée.
Tom : Quel est le mois de réception de l'échantillon ?
C. : Mai.
Tom : Quelle est la région de production ?
C. : Sud-Ouest.
Tom : Comment est la répartition des plantes malades dans la parcelle (ligne, disséminées, en foyer) ?
C. : Disséminées.
Tom : Avez-vous observé un jaunissement, un flétrissement ou un déssèchement des feuilles (ne pas confondre avec des taches sur les feuilles) ? En général, ce jaunissement affecte les parties basses des plantes, et peu de plantes au départ.
C. : Non.
Tom : Y a-t-il des taches sur les feuilles ?
C. : Non.
Tom : Y a-t-il anomalie de la forme des feuilles ?

C. : Inconnue.
Tom : Y a-t-il anomalie de la coloration des feuilles ? En général, ces anomalies sont généralisées à la parcelle et affectent les parties hautes des plantes.
C. : Non.
Tom : Y a-t-il altération du collet ?
C. : Non.
Tom : Y a-t-il anomalie ou altération du système racinaire ?
C. : Oui.
Tom : Y a-t-il altération de la tige ?
C. : Non.
Tom. : Quel est l'état de la végétation (vigoureuse, chétive, normale, bloquée) ?
C. : Chétive.
Tom : Observe-t-on des radicelles ?
C. : Non.
Tom : Y a-t-il des galles à la racine ?
C. : Oui.
Tom : Observe-t-on des galles spongieuses marron clair grisâtre, localisées au niveau de la motte ou des racines ?
C. : Oui.
Tom : Observe-t-on par hasard une localisation de symptômes aux endroits les plus humides de la parcelle ?
C. : Non.
Tom : Quel est le résultat de l'analyse de salinité ?
C. : Inconnu.
Tom : Note-t-on un jaunissement du système racinaire ?
C. : Non.
Tom : Y a-t-il désagrégation du cortex des racines ?
C. : Non.
Tom : Y a-t-il présence de manchons liégeux sur les racines ?
C. : Non.
Tom : Observe-t-on des altérations brunes par zones de racines ?
C. : Oui.
Tom : Y a-t-il tumeur sur les racines ?
C. : Oui.
Tom : Coloration des vaisseaux de la tige (normale/anormale) ?
C. : Normale.
Tom : Y a-t-il brunissement de la moëlle en bordure des vaisseaux de la tige ?
C. : Non.
Tom : Note-t-on un brunissement de la moëlle de la tige ?
C. : Non.
Tom : Y a-t-il présence de verrues humides le long des nervures de la face inférieure des feuilles ?
C. : Non.
Tom : Voici mon diagnostic : maladies possibles avec force entre 4 et 10 : *Spongospore Subterranea* – champignon – avec la force 6 ; *ruloïdogyne sp* – galle à nimatrode avec la force 5. Pour confirmer le diagnostic, adressez-vous au centre spécialisé de Le Rheu (le GRISP).



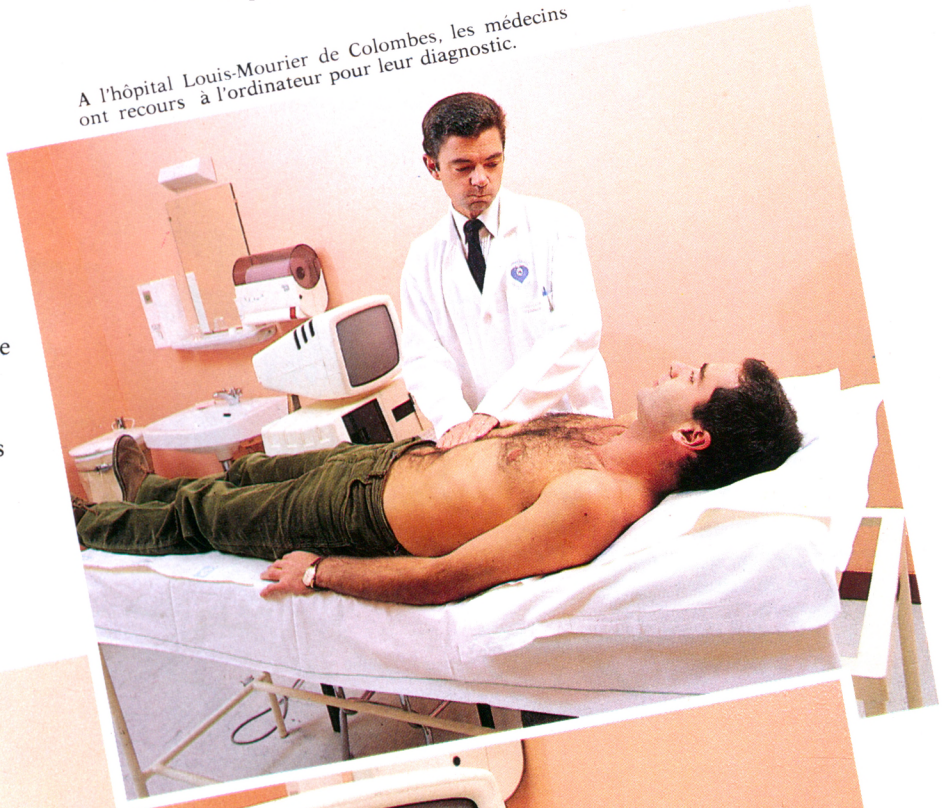


En haut : symptômes sur feuilles de *Leveillula Taurica*. A gauche : symptômes sur fruits verts de *nécrose apicale*, deux maladies de la tomate détectables par Tom.

L'aide au diagnostic

En milieu hospitalier, les urgences sont parfois une question de minutes. Lorsqu'un patient arrive, se plaignant de douleurs, il faut pouvoir aller vite, prendre des décisions immédiates.
Pour le chirurgien amené à établir son diagnostic « à chaud », l'ordinateur peut constituer une aide précieuse. Dans certains hôpitaux français, le recours à l'ordinateur pour l'aide au diagnostic est désormais devenu une pratique quotidienne.
A l'hôpital Louis-Mourier dans la région parisienne, dans le service de chirurgie digestive, professeurs et internes consultent l'ordinateur installé dans une petite salle spécialement aménagée chaque fois que se présente un cas d'urgence, un malade souffrant de douleurs abdominales. L'interne examine et interroge le patient, recueillant les informations sur une fiche pré-établie semblable à un questionnaire à choix multiple, avec des codifications chiffrées. Par exemple, les facteurs d'exacerbation de la douleur seront exprimés par : aucun = 0, marche = 1, toux = 2, etc. Cette fiche permet d'aller très vite et de constituer un ensemble de données correspondant à l'infrastructure du programme sur ordinateur.
Le médecin va ensuite introduire ces données dans la machine, à l'aide d'une grille de saisie très simple à manipuler ; puis il indiquera son propre diagnostic. L'ordinateur, en quelques secondes,

A l'hôpital Louis-Mourier de Colombes, les médecins ont recours à l'ordinateur pour leur diagnostic.







établira le sien, assorti d'un pourcentage de vraisemblance.
Pour ne pas risquer de passer à côté d'un diagnostic apparemment peu probable mais que l'on ne peut sous-estimer, le programme affiche la liste des maladies répertoriées en cas de syndromes aigus de l'abdomen, avec leurs coefficients de vraisemblance respectifs : appendicite 91,57 %, salpingite 5,48 %, etc.
Le programme suggère également la décision thérapeutique à prendre, ou encore des examens complémentaires.
Le traitement en machine ne prend au total que cinq minutes.
Ce système est issu de recherches en intelligence artificielle. Il a été mis au point par un groupe de chirurgiens réunis en association pour la recherche en chirurgie. Son principe est basé sur une théorie probabiliste, celle de Bayes.
On effectue donc un calcul de probabilités : chaque signe ou symptôme relevé dans l'étude d'un cas modifie la probabilité de départ. La probabilité est donc d'autant plus élevée que la maladie est fréquente et que le signe clinique en question se rencontre souvent.
À ce principe s'ajoutent des critères d'accroissement ou de réduction de la probabilité qui tiennent compte du sexe, de l'âge, de la nationalité, etc. La mise en œuvre de ce système a donc d'abord nécessité un long travail de constitution d'une base de données sur le sujet.
Cette tâche préliminaire s'est effectuée à partir de 7 500 cas de malades venus aux urgences en raison de douleurs abdominales. Les données ont été recueillies sur les mêmes fiches que celles qui sont utilisées aujourd'hui pour les patients ; au total, 1 750 000 informations ont été enregistrées...
Avec cette banque de données et le programme de probabilités, l'ordinateur est capable de suggérer un diagnostic estimé exact dans 79 % des cas, dépassant ainsi la propre performance du clinicien : 73,5 % !
Il arrive que les diagnostics du médecin et celui de l'ordinateur diffèrent ; dans ce cas, le programme propose un autre diagnostic qui oriente le médecin vers des examens complémentaires ; les statistiques révèlent pourtant que le bon diagnostic échappant à la fois au clinicien et à l'ordinateur ne représente que 4 % des cas.
En tout état de cause, l'ordinateur ne fait que suggérer une ou plusieurs hypothèses ; il appartient au médecin de prendre la décision finale.

Hôpital Louis-Mourier
Service du Pr. J.-N. MAILLARD

Madame TIFY

CODE DU MÉDECIN	Interne
SEXE	Féminin
ÂGE	35
NATIONALITÉ	Française
DOULEUR AU DÉBUT	Fosse iliaque droite
DOULEUR A L'ADMISSION	Fosse iliaque droite
IRRADIATIONS	Descendante Lombaire ou postérieure
MODE DE DÉBUT	Brutal
DURÉE	12 heures
FACTEURS D'EXACERBATION	Toux Marche
FACTEURS DE SOULAGEMENT	Aucun
INTENSITÉ	Sévère
ÉVOLUTION	Inchangée
TYPE	Paroxystique
SYMPTÔMES DIVERS	Vomissement unique
TRANSIT	Transit normal
MICTIONS	Miction normale
GYNÉCOLOGIE	R.a.s.
TEMPÉRATURE	38.4
POULS	110
TENSION ARTÉRIELLE	Normotendu
ASPECT	Langue saburrale
INSPECTION	Respiration visible
MÉTÉORISME	Oui
DOULEUR PROVOQUÉE	Douleur diffuse
SIGNES ABDOMINAUX	Défense
MASSE ABDOMINALE	Non
ORIFICES HERNIAIRES	Orifices libres
CONTENU GASTRIQUE	Non recueilli
PERCUSSION ABDOMINALE	Normale
AUSCULTATION ABDOMINALE	Auscultation normale
TOUCHER RECTAL	Douleur à droite
HÉMATOCRITE	45
LEUCOCYTOSE	Plus de 15 000
ABDOMEN SANS PRÉPARATION	A.s.p. normal
RADIO PULMONAIRE	Radio pulmonaire normale
E.C.G.	E.c.g. normal
AUTRE EXAMEN INFLUENT	Non

Diagnostics évoqués chez Mme Tify

DIAGNOSTIC INITIAL : Occlusion — Strate : Nécrose du grêle
DIAGNOSTIC FINAL : — Strate : Non précise

DIAGNOSTIC DE L'ORDINATEUR

Appendicite	91.57 %
Salpingite	5.48 %
Douleur non spécifiée	0.91 %
G.E.U.	0.82 %
Infection urinaire	0.55 %
Kyste de l'ovaire	0.41 %
Colique Néphrétique	0.26 %
Sigmoïdite	0.00 %
Perforation d'ulcère	0.00 %
Autres diagnostics	0.00 %
Cholécystite	0.00 %
Pancréatite	0.00 %
Péritonite	0.00 %
Occlusion	0.00 %
Hernie étranglée	0.00 %
Ulcère - Gastrite	0.00 %

Décision thérapeutique clinique : intervention dans les douze heures.

Deux langages de l'intelligence artificielle

Les tentatives pour réaliser des systèmes intelligents peuvent prendre deux types de formes. On peut espérer constituer d'emblée des systèmes complexes simulant l'activité intellectuelle d'un être humain adulte. On peut par ailleurs chercher à créer un noyau initial que l'on aura la possibilité d'éduquer et d'enrichir pour le faire mûrir et passer au stade adulte. Sans rejeter la possibilité d'arriver un jour à constituer des systèmes fondés sur le premier schéma, il semble bien que les chantiers les plus prometteurs se dessinent actuellement dans la seconde optique.

Un langage de programmation comme Basic est un langage de type **impératif :** les actions à réaliser y sont décrites une à une, numérotées, exécutées dans un ordre qui constitue le programme. Le vocabulaire de base offert par le langage n'est pas extensible et toute action un tant soit peu complexe nécessite la rédaction d'un programme ou d'un sous-programme particulier.
Si, par exemple, on a besoin, dans une application particulière, de trier par ordre alphabétique des listes de noms, il faudra écrire un sous-programme qui sera appelé chaque fois que l'on en aura besoin. Ce sous-programme fera partie intégrante du programme principal. Les variables utilisées dans le sous-programme sont connues de l'ensemble du programme. Celui-ci ne peut donc pas réaliser de traitements de manière autonome. Par ailleurs, Basic n'offre pas la possibilité de programmer de manière récursive. C'est-à-dire qu'un programme n'a pas la possibilité de s'appeler lui-même. Ce sont ces diverses considérations qui ont conduit les programmeurs à voir en Basic un langage évolué permettant, certes, de développer des applications multiples, mais que sa rigidité rend très mal adapté à la rédaction de programmes d'intelligence artificielle. Ils préfèrent donc, habituellement, utiliser des langages de type **fonctionnel** comme **Lisp** ou de type **logique** comme **Prolog.**

De Logo à Lisp...

Un langage fonctionnel peut, lui-même, enrichir son propre vocabulaire de base. Nous avons déjà rencontré ce type d'approche avec Logo, qui n'est d'ailleurs qu'un habillage de Lisp réalisé par l'équipe de Seymour Papert à des fins pédagogiques. Il est intéressant de rappeler que Lisp n'est pas un nouveau venu dans le monde des langages informatiques. Les premières versions de ce langage datent en effet de la fin des années cinquante. A cette époque, le langage scientifique le plus courant était Fortran ; et Basic, LSE, ou a fortiori Pascal, n'étaient pas encore nés.
Nous avons vu précédemment comment il est possible, en Logo, de créer des procédures qui agissent sur des données et qui *rendent* des résultats. C'est ainsi qu'il sera tout à fait possible de définir, en Logo ou en Lisp, le mot TRIER qui prendra une liste pour argument et qui rendra cette liste triée dans l'ordre alphabétique, par exemple. Le mot TRIER sera alors une fonction au sens ou l'entendent les mathématiciens, c'est-à-dire une machine capable de modifier, de traiter des données. Bien entendu, il sera ensuite possible de composer les fonctions et d'en combiner ainsi les actions.
Cette possibilité peut présenter de gros avantages en programmation. C'est ainsi que : la fonction TRIER fait partie de la définition de la fonction TRIER – Logo et Lisp sont des langages récursifs.
Sans se placer dans un langage particulier, on pourrait écrire :

```
déf trier (liste) :
Si (liste) vide : terminé
Sinon insère premier (liste) dans
   trier saufpremier (liste)
```

En Logo, tout comme en Lisp, certains mots tels PREM (PREMier) ou SP (SaufPremier) font partie du noyau initial du langage.
D'autres mots, comme ici INSERE, auront été définis par ailleurs.
On peut décider, par exemple que : pour insérer un élément E dans une liste L, on compare cet élément au premier élément de la liste ; s'il est plus petit, on le met au début, sinon on passe le premier élément de la liste et on insère E dans ce qui reste de L :

```
déf insère (elem) (liste)
Si (liste) vide : retourne une liste
   formée seulement de (elem)
Sinon compare (elem) et premier
   (liste)
Si (elem) est plus petit retourne
   une liste formée de (elem) et de
   (liste)
Sinon retourne une liste formée de
   premier (liste) et de insère (elem)
   saufpremier (liste)
```

En Logo, ceci s'écrira :

```
POUR TRI :L
SI VIDE ? :L [RENDS :L]
RENDS INSERE PREM :L TRI SP :L
FIN

POUR INSERE :E :L
SI VIDE ? :L [RENDS PH :E [ ] ]
SI  >  :E PREM :L [RENDS PH :E :L]
RENDS PH PREM :L INSERE :E SP :L
FIN
```

> compare les deux éléments qui suivent et exécute la première liste si le test est vrai, il passe à la suite si le test n'est pas vérifié.

En Lisp, ces deux procédures s'écriront :

```
(de tri (L)
 (cond
   ((null L) ( ))
    (t (insère (car L) (tri (cdr L))))))

(de insère (e L)
 (cond
   ((null L [e])
((>e (car L)) (cons e L))
   (t (cons (car L) (insère e (cdr L))))))
```

La grande quantité de parenthèses, qui affole toujours celui qui contemple une procédure écrite en Lisp pour la première fois, est en fait un merveilleux garde-fou contre les erreurs de syntaxe. Leur étude permet de comprendre assez vite comment agissent les divers opérateurs et comment sont évalués leurs arguments.

Pour comprendre dans le détail les syntaxes ci-dessus, il faut savoir que, tout comme Logo, Lisp manipule des mots (en Lisp, on parle d'**atomes**) et des listes (Lisp signifie d'ailleurs *LISp Processing*).

En Lisp, on définit une procédure en en précédant le nom par de dont l'équivalent Logo est POUR. cond remplace le mot SI, car et cdr remplacent respectivement PREM et SP, null est le faux et t le vrai. Enfin, le mot cons sert à former une liste à partir des deux arguments qui le suivent. Ainsi :

(cons e L)

donne l'ordre de : « construire la liste formée par la liste L à laquelle on rajoute, au début, l'atome e ».

Lorsque l'on confie une liste à trier à la procédure TRI, celle-ci est découpée et recollée d'une manière extrêmement difficile à suivre dans le jeu des appels récursifs de procédures. On peut s'amuser à chercher de quelle manière les données sont traitées en simulant « à la main » le fonctionnement de la procédure mais si la liste est un tant soit peu compliquée, l'expérience montre que l'on n'est jamais assez fort pour ce calcul.

Prolog

Prolog est un langage de type logique ; du reste son nom est une contraction de « PROgrammation LOGique ». Ce langage a été développé dans l'équipe d'Alain Colmerauer à la faculté des sciences de Luminy à l'université d'Aix-Marseille et il a été adopté dans de nombreuses implantations de systèmes experts de par le monde, car il se prête merveilleusement au traitement des bases de faits.

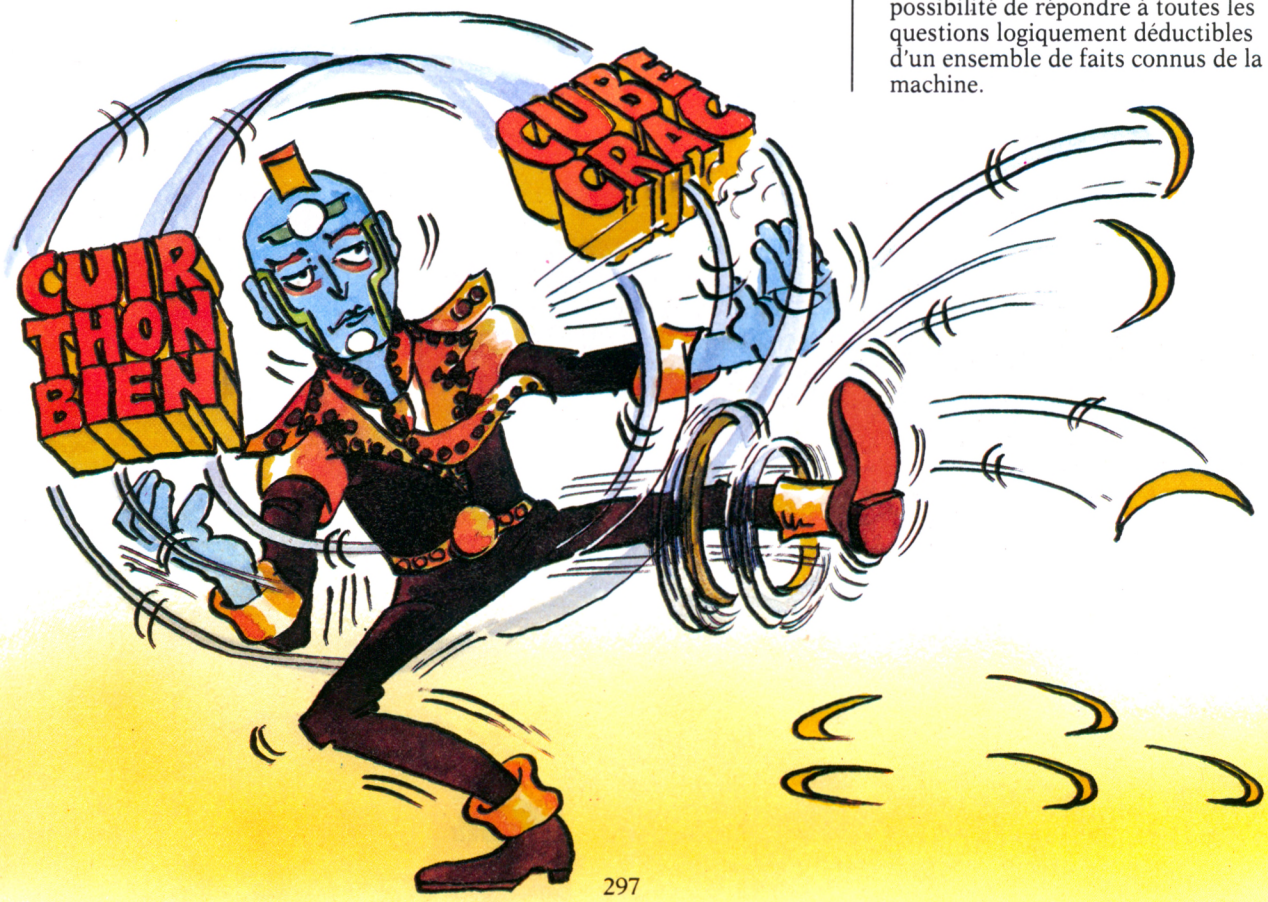
Prolog permet à l'utilisateur d'énoncer des propriétés et des relations entre les éléments de la base de connaissances. Ces relations vont porter un nom et pourront être combinées entre elles pour créer des relations plus complexes. A'tout instant, une relation étant définie, l'utilisateur peut demander à Prolog de lui donner tous les éléments qui la vérifient. Pour cela, il suffit d'utiliser une inconnue : le fameux « X » des mathématiciens.

Ainsi, la phrase Prolog :

> père (Pierre, X)

peut se lire : quels sont tous les individus ('X') qui vérifient la relation 'Pierre est le père de X' ?

Le travail en Prolog ne suit absolument pas la description d'un algorithme, il repose plutôt sur la possibilité de répondre à toutes les questions logiquement déductibles d'un ensemble de faits connus de la machine.

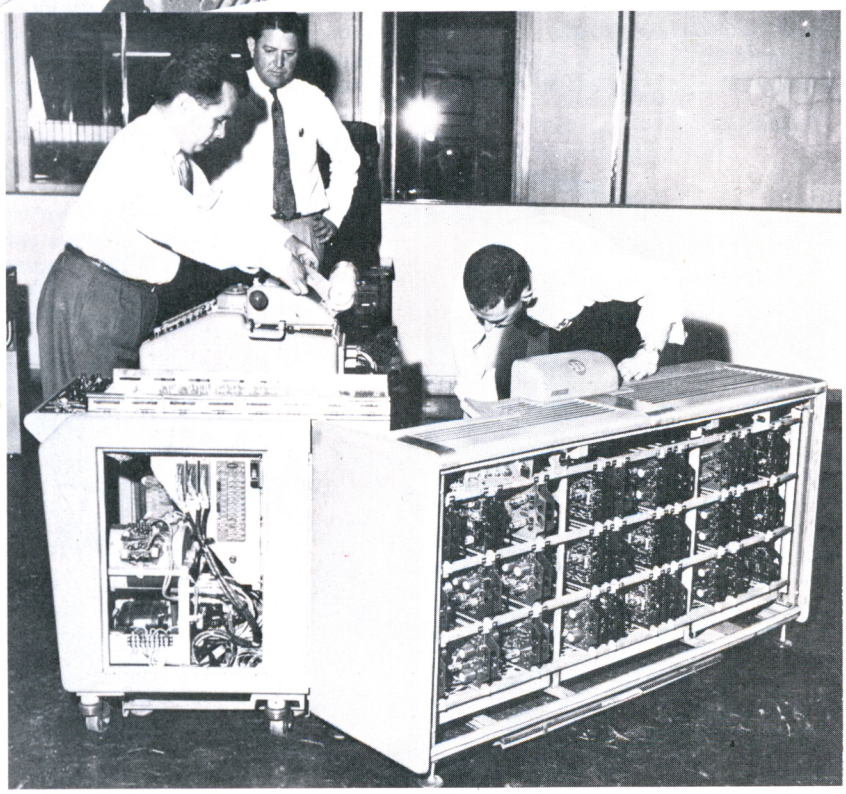


« Les poules du couvent couvent » Que comprend l'ordinateur ?



Les essais du cerveau électronique mobile E 101.

Que le système expert intervienne pour remplacer l'expert, transmettre une nouvelle connaissance ou assister au diagnostic de systèmes complexes, il faudra toujours communiquer avec lui. Or les interlocuteurs de ce système sont des êtres humains sans connaissances particulières en informatique et dont le principal outil de communication reste quand même leur langue maternelle. C'est dans cette branche de l'intelligence artificielle que constitue l'interprétation du langage dit naturel que travaille Paul Sabatier au CNRS.
Cette barrière du langage entre l'homme et l'ordinateur est apparue dès le début des années 60 avec la traduction automatique : pour passer d'un mode d'expression – « les poules du couvent couvent » – à un autre – *« the hens of the convent are sitting on their eggs »* – en passant par un troisième – les 0 et les 1 de l'ordinateur –, la correspondance mot à mot ne suffisait pas, il fallait faire intervenir le contexte.



La première machine électronique à traduire (International Business corporation, 1954).

Les informaticiens eurent donc besoin des linguistes. Quand une question comme « quelles sont les populations des rivières ? » est frappée sur le clavier d'un système expert, il faut en effet, pour qu'une réponse pertinente puisse être donnée, que différents traitements interviennent :

- la phrase est analysée

syntaxiquement. Tous les mots qui la composent sont comparés à ceux d'un dictionnaire où chaque utilisation possible du mot a été préalablement analysée. Par exemple : le verbe *dîner* a forcément un sujet humain, il peut être complété par la préposition *de* suivie d'un nom de chose, etc. Il a ainsi fallu 15 ans pour recenser les 9 à 10 000 verbes de la langue française. Les 150 articles ont été vus. Les linguistes travaillent en ce moment sur les noms ;

- supposons la phrase correcte sur le plan de la syntaxe. A-t-elle un sens ? Pour un démographe, *la population des rivières* ne signifie rien, tandis que c'est justement ce qui intéressera un naturaliste. Là, c'est la base de connaissances qui prend le relais pour vérifier la cohérence sémantique de la phrase dans le domaine étudié, et seulement dans ce domaine. Un dialogue peut alors s'établir, où la machine fait préciser les mots qu'elle ne reconnaît pas ;
- la phrase est traduite dans le langage de requêtes de la base de données, langage plus proche de la machine ;
- la réponse est cherchée par les méthodes habituelles aux systèmes experts ;
- la réponse est formulée ; ce peut être *oui, non,* une liste d'objets, la propriété d'une classe d'objets, etc.

Représentation des connaissances, structure du raisonnement, mode de transmission d'un système de représentations à un autre, sont autant de domaines dans lesquels linguistes, experts et informaticiens doivent collaborer pour que ces systèmes sortent des laboratoires et descendent dans la rue.

Croire en l'intelligence artificielle...

Lors de la conférence sur la cinquième génération, un des participants prit la parole pour émettre des remarques concernant ce qu'il venait d'entendre.
Ses objections n'étaient pas fondamentales, mais il conclut ainsi son intervention : « Je crois que, pour vous résumer ma pensée, nous sommes intéressés par la prochaine génération d'ordinateurs, et je suis d'accord avec vous sur les grandes lignes lorsque nous disons de ces ordinateurs que ce sont des machines pourvues d'intelligence artificielle. Mais je ne voulais pas perdre de vue le fait qu'un certain nombre de membres de cette assemblée ne croient pas en l'I.A. et souhaiteraient par conséquent envisager différemment les ordinateurs de cinquième génération. »
C'était une expression assez curieuse : « Croire en l'I.A. », comme si l'I.A. était une sorte de foi mystique, qu'on ne pouvait démontrer empiriquement. Cela faisait en fait allusion à une controverse bien plus importante que celle portant sur le choix du meilleur langage de programmation possible, que la question de savoir si une approche fondée sur la connaissance était le meilleur moyen d'obtenir un comportement intelligent de la part d'un ordinateur, ou que toutes les discussions d'ordre scientifique qui ont pu animer depuis vingt-cinq années le domaine de la recherche en matière d'I.A. La cinquième génération serait-elle finalement une machine pensante d'une conception nouvelle, ou tout simplement une version considérablement améliorée des quatre générations précédentes, voilà un problème auquel le temps apporterait immanquablement une solution.
Un problème qui ne serait pas résolu, du moins dans l'esprit de ceux qui nourrissaient des doutes à l'heure actuelle, consistait à savoir s'il fallait croire ou non en l'intelligence artificielle. Dire que l'on ne croit pas en l'intelligence artificielle – et de forts nombreuses personnes trouvent pour cela toutes sortes d'arguments – revient à dire que l'on ne croit pas qu'une machine puisse être qualifiée de pensante, quoi qu'elle fasse.
L'opposition se fit entendre dès l'instant où quelqu'un proposa pour la première fois de créer un ordinateur qui pût se comporter de manière intelligente. Quelle que fût son importance, tout comportement intelligent de la part d'un ordinateur ne pourrait convertir les incroyants.
L'expression même « croire en » suggérait un dogme, une doctrine, une permission ou un interdit.
« Moi, je suis socialiste, dit à Dedalus l'un des amis du héros de Joyce, je ne crois pas en l'existence de Dieu. » Moi, je travaille sur le matériel, je ne crois pas en l'existence de l'intelligence artificielle.
Feigenbaum avait si souvent entendu ces propos qu'il y répliquait toujours par une petite anecdote. Un jour, un jeune savant européen avait rendu visite au grand physicien Niels Bohr. Le jeune homme avait été choqué de voir un fer à cheval accroché à la porte de la demeure du grand homme : « Professeur, vous ne croyez certainement pas à ces vieilles superstitions ! » lui avait-il dit. Le physicien réfléchit un instant, puis répondit avec entrain : « Vous savez, il paraît que c'est efficace, que l'on y croie ou non ! »
L'une des objections adressées aux spécialistes de l'intelligence artificielle par leurs collègues scientifiques concerne la hardiesse, pour ne pas dire l'irresponsabilité de leurs prophéties. Assurément, certaines ont été lancées, qui ne se sont pas réalisées. Par exemple, des prédictions formulées en 1958 annonçaient qu'un ordinateur serait champion du monde d'échecs dans les dix ans à venir. Les dix années passèrent, de même que l'intérêt de la plupart des savants pour l'association échecs-ordinateur. Mais quand vingt années se furent écoulées, les ordinateurs jouèrent assez bien pour remporter des tournois. La quasi-totalité de la recherche en ce domaine était due, si l'on peut dire, à des bricoleurs de l'I.A. Les ordinateurs qui, aujourd'hui, jouent comme des champions, et par conséquent mieux que 99 % d'entre nous, continuent d'être amoureusement conçus par de petits groupes ; ils ne constituent pas, comme on le pensait à l'époque des premières prédictions, un banc d'essai capital pour la découverte des règles du comportement intelligent. Intellectuellement parlant, un bon joueur d'échecs n'est rien de plus et rien de moins qu'un bon joueur d'échecs. Nous le verrons plus tard, cette constatation a permis de comprendre beaucoup de choses sur l'intelligence en tant que spécialisation de la connaissance.

in *La Cinquième Génération,* par Edward Feigenbaum et Pamela McCorduck (Inter Editions, 1984).

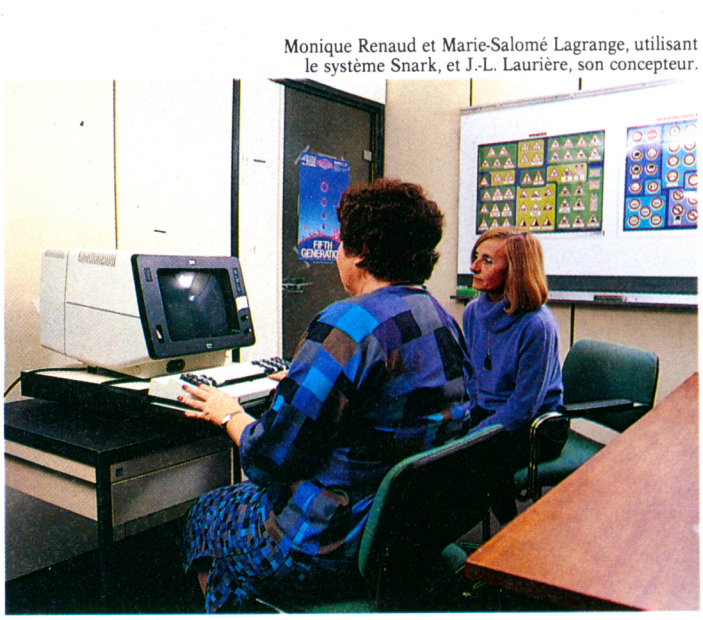
Système expert et archéologie

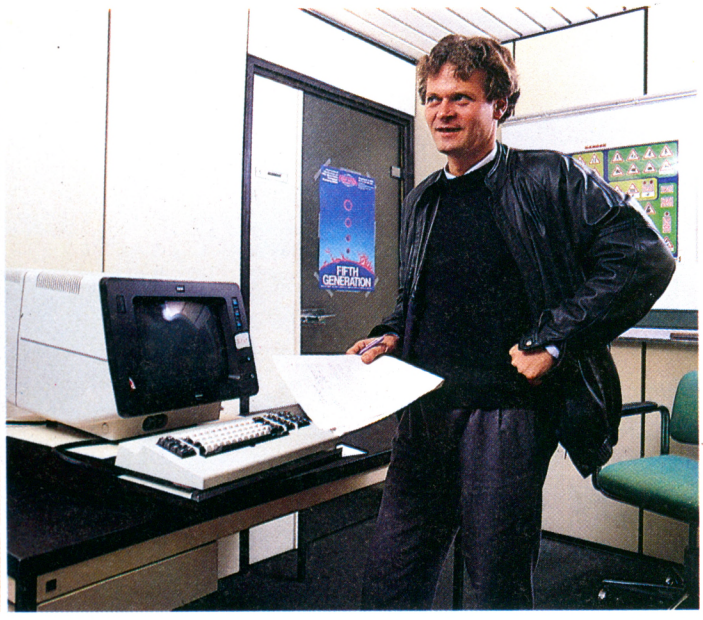


Ajax portant le cadavre d'Achille (cratère Attique).

A la Maison des Sciences de l'Homme (M.S.H.), à Paris, officient deux femmes, dont l'une est informaticienne au laboratoire d'Informatique pour les Sciences de l'Homme (C.N.R.S.) et l'autre fait partie d'un groupe de chercheurs en archéologie du CNRS. Toutes deux se sont interrogées très tôt sur l'application possible des systèmes experts aux sciences de l'homme, et plus particulièrement à celle qu'est l'archéologie.
Point de départ de leur démarche : des travaux portant sur l'analyse du discours archéologique. Le but, tenter de dégager la « logique », en quelque sorte, du raisonnement des archéologues, et voir comment cette logique permet à ceux-ci d'établir telle ou telle conclusion portant sur leur objet d'étude (comme l'évaluation de l'origine d'un vase grec, par exemple).
Les sciences humaines, dont l'archéologie, n'ont pas, selon certains, un statut scientifique au même titre que l'informatique ou les mathématiques, par exemple. D'où l'intérêt d'analyser les processus de raisonnement archéologique, afin d'en évaluer la rigueur et l'exactitude. Il ne s'agit pas de mettre en doute ce raisonnement, mais d'en accroître l'économie (la cohérence...) et de le formaliser, ne serait-ce que pour faciliter la transmission du savoir et des méthodes, dans son enseignement.
C'est en 1982 que l'utilité des systèmes experts dans ces recherches épistémologiques apparaît évidente, dans la mesure où cet outil informatique peut simuler certains aspects du raisonnement humain et apporter un éclairage précieux sur la façon dont les connaissances s'enchaînent et se structurent pour aboutir à un « jugement ».
Monique Renaud et Marie-Salomé Lagrange se lancent donc dans la grande aventure. Le système expert choisi sera Snark, réalisé par J.-L. Laurière à Paris VI.
La particularité de ce moteur d'inférences est de manipuler l'information sous la forme d'un ensemble de relations linéaires

Monique Renaud et Marie-Salomé Lagrange, utilisant le système Snark, et J.-L. Laurière, son concepteur.





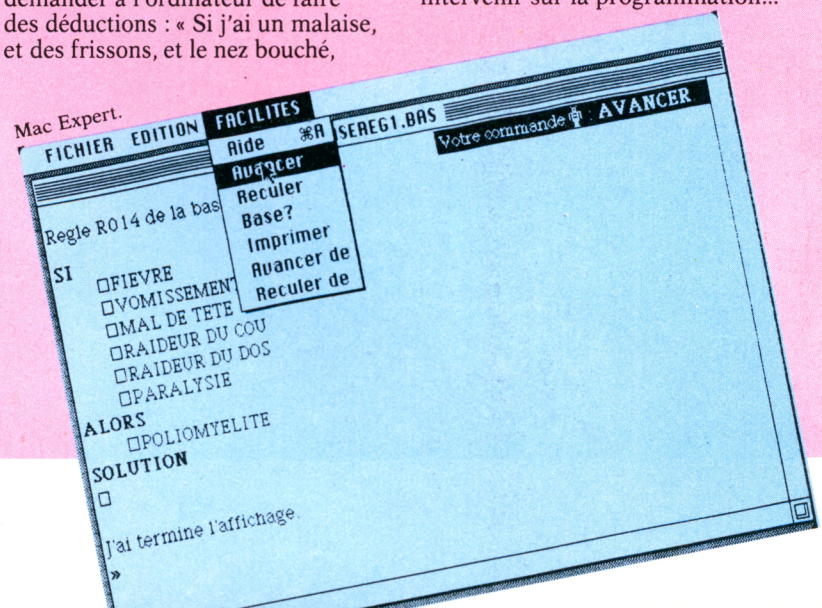
entre éléments ou objets. Par exemple, dans la phrase « Jean donne un livre à Paul », Jean, livre et Paul sont trois éléments unis par une relation, le DON.
Le travail des deux chercheuses consiste alors à simuler sur ordinateur un raisonnement archéologique, en s'appuyant sur des documents d'experts dont elles extrairont le processus d'analyse.

L'une des premières expériences portait par exemple sur le thème du « guerrier-mort » apparaissant sur une série de vases grecs des Ve et IVe siècles avant J.-C.
L'étape initiale fut de constituer une base de faits permettant de décrire les objets, les situations... Cette base de faits devait contenir toutes les données initiales du raisonnement, transcrites dans le formalisme Snark.
La phase suivante, l'une des plus délicates, fut d'établir l'ensemble des règles de production simulant l'interprétation iconographique, et dont la rédaction n'est pas évidente pour qui n'est pas spécialiste du domaine. Il s'agit, en effet, de transcrire un texte linéaire, empreint de la rhétorique traditionnelle, en un ensemble cohérent de règles de production, dont chacune est autonome, et qui ont la forme suivante :

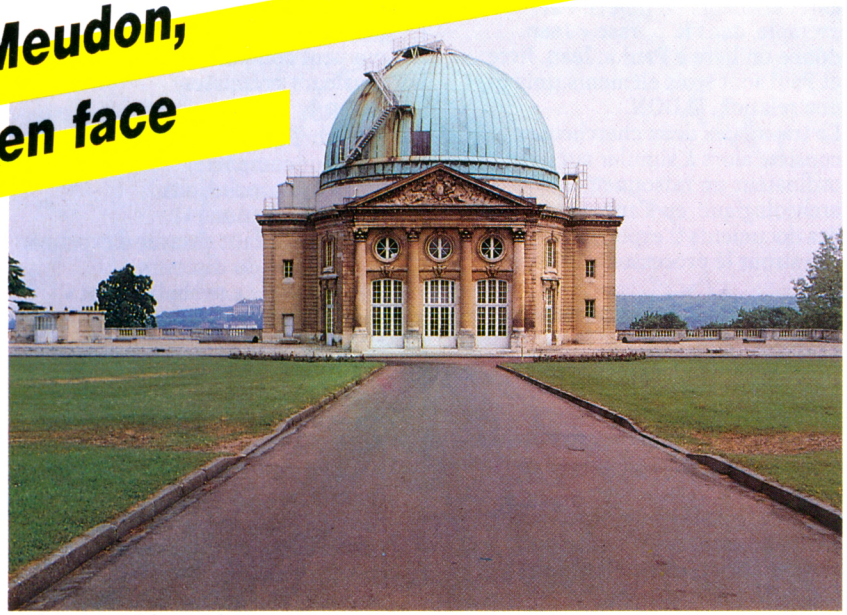
SI...
(Membre gauche,
qui peut comporter
plusieurs prémisses)
ALORS...
(Membre droit,
qui peut comporter
plusieurs conclusions
appelées « actions »)
En outre, il faut essayer d'exprimer les nuances du discours traditionnel : « probablement », « peut-être », etc. Pour traduire ces nuances, Snark permet d'associer aux règles, comme aux faits de la base de faits, un coefficient de vraisemblance indiquant le degré de confiance que l'on peut accorder aux propositions. Snark, à partir de ces coefficients, calcule, suivant une formule explicite, le coefficient des propositions terminales (ou conclusions) du raisonnement.
Au total, une quarantaine de règles furent ainsi définies et introduites en machine.
On put ainsi faire imprimer par Snark ses conclusions. L'aspect le plus instructif était de voir, à l'aide du système expert, le cheminement entier du raisonnement, à savoir l'ensemble des règles qu'il avait appliquées pour parvenir à ses conclusions.
Ces expériences ont permis de mettre en évidence certaines défaillances du raisonnement archéologique, et de repérer les contradictions, les redondances, ou encore les terminologies différentes utilisées pour désigner les mêmes choses ; et aussi de suggérer que certaines vérités présentées de façon dogmatique avaient de faibles coefficients de vraisemblance, par manque d'une argumentation suffisamment étayée.
L'utilisation d'un système expert dans ce type d'application a souligné la nécessité, en archéologie comme dans l'ensemble des sciences humaines, d'une plus grande rigueur dans l'analyse des situations, dans la formulation des argumentations, dans la définition des concepts :
« Maintenant, ajoutent les deux chercheuses, il faudrait que nous travaillions avec les archéologues eux-mêmes. C'est à eux de choisir les « bonnes » règles de production, même s'il faut les aider à les formuler. Une autre question est celle de la représentation de connaissances dans le cadre d'un système expert : on ne peut utiliser efficacement un tel système que si on lui fournit des connaissances sous une forme structurée, régulière, non ambigüe. Cette tâche revient peut-être à « l'ingénieur du savoir », mais à la condition que l'archéologue ait d'abord donné au savoir une forme explicite.

Un système expert sur micro-ordinateur

Jusqu'à présent les systèmes experts n'étaient pas d'emploi très facile. Et pourtant les techniques de l'intelligence artificielle ne s'adressent pas qu'aux informaticiens, mais à toutes sortes de gens dans leurs domaines respectifs d'expertise. On sait que la relation entre un domaine et un moteur d'inférences se fait par l'intermédiaire de la base de connaissances dans laquelle on enregistre les règles propres à ce domaine. Il était donc intéressant de proposer un système expert pour micro-ordinateur. C'est ce qu'a fait Essoukan Mouangue, avec MacExpert.
Le programme fonctionne à l'aide de « menus », au sein desquels on choisit les fonctions à exécuter.
On charge une base de connaissances avec des phrases ayant la forme sujet-relation-objet : « le malade a la fièvre ». Les règles sont construites avec SI et ALORS : « SI l'animal mange de la viande, ALORS il est un carnivore ».
A côté de la base de connaissances, existe une base de faits, dans laquelle on met les données de départ et celles qui sont produites par le système.
Nanti de ces bases, on se met à travailler avec le menu INFERENCE. On peut ajouter des faits dans la base ou demander comment un fait a été obtenu, par exemple. On peut aussi demander à l'ordinateur de faire des déductions : « Si j'ai un malaise, et des frissons, et le nez bouché, qu'en déduisez-vous, MacExpert ? » Il répond : « Grippe ».
MacExpert pratique le chaînage avant, le chaînage arrière et le mode mixte. Il ne donne pas la probabilité de véracité de chaque règle. Mais il permet de tester dans de bonnes conditions l'ensemble des propositions logiques que l'on élabore pour une opération déterminée, sans que l'on ait à intervenir sur la programmation...



A l'observatoire de Meudon, on regarde le soleil en face



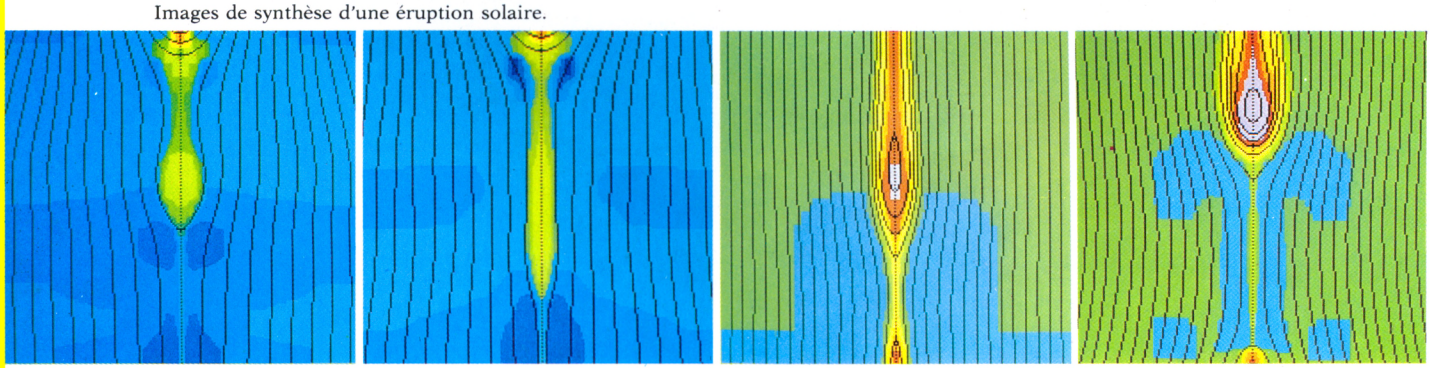
L'Observatoire de Meudon.

Les étoiles sont comme nous : elles naissent, vivent, meurent. Pour en savoir plus sur nous-mêmes, nous devons essayer de reconstituer leur histoire. Seulement les durées se comptent en millions ou milliards d'années, les distances en années-lumière (10^{13} km). Il est difficile d'aller sur place les observer directement. Alors, pour les connaître, on passe par l'intermédiaire de la théorie mathématique et physique.
L'astronome s'appuie sur cette théorie pour interpréter les résultats des mesures fournis par les télescopes. Ainsi, il identifie les corps célestes, étudie leur trajectoire, essaie de comprendre de quoi ils sont faits.
L'Observatoire de Meudon, l'un des plus anciens du monde, est resté le plus grand, mais il n'observe plus rien du tout au sens strict du mot « observer ». Ses huit cents personnes travaillent sur tous les domaines de l'astronomie et de l'astrophysique à partir des observations faites par les télescopes du pic du Midi, de Saint-Michel-de-Provence, de Hawaï ou du Chili où l'air est plus propre et les nuits plus noires. Autrefois, quand l'ordinateur s'appelait encore calculateur, ces observations étaient recueillies sur papier sous forme analogique (photographies ou courbes spectroscopiques), puis interprétées par les astronomes au double décimètre et à la règle à calcul. C'était long, peu fiable et les progrès étaient lents. Vers le milieu des années 70, les observations arrivaient toujours sous forme analogique, mais directement sur bande magnétique. Elles étaient perforées sur cartes, entrées dans l'ordinateur et confrontées à d'autres dans des modèles de représentation des étoiles ou de l'univers. Aujourd'hui, l'ordinateur se retrouve à toutes les étapes du processus de la recherche astronomique. Sous sa forme « micro », il pilote directement les expériences sur plan. Plus fiable, plus résistant, plus rapide que l'être humain, s'adaptant aux conditions d'observation les plus dures (altitude, température), il fait gagner du temps dans la mise en œuvre de l'expérience et facilite l'acquisition des observations.
Sous sa forme « mini », il est très vite devenu un outil indispensable à l'astronome pour interpréter ces images arrivées de l'espace.
En effet, les images transmises par le télescope sont entachées d'erreurs dues à l'instrument lui-même et aux conditions de l'expérience. Ces erreurs sont connues des chercheurs et peuvent donc être éliminées. Ce travail est fait par le gros mini-ordinateur du centre de calcul de l'observatoire. Puis les images « propres » digitalisées sont lues par l'astronome sur des unités d'affichage graphique à haute définition (d'un million de points). Les renseignements ainsi trouvés sur un petit coin de ciel sont alors introduits dans de très gros modèles de représentation de l'espace et confirmeront ou infirmeront la présence ou l'absence d'une étoile ou d'une galaxie, son âge, sa distance, son mouvement. En ce moment, un des thèmes de recherche les plus excitants est la recherche de l'existence d'un autre système planétaire que celui du Soleil.

Un exemple d'expérience

En astronomie, comme dans toutes les autres sciences, théorie et observation se nourrissent l'une l'autre. Pour vérifier l'exactitude d'une théorie, le moyen le plus convaincant est la simulation. Cette méthode consiste à reconstituer un phénomène réel en laboratoire au

Images de synthèse d'une éruption solaire.



moyen d'équations mathématiques et à comparer le résultat avec la réalité. C'est ce qui est fait à l'Observatoire de Meudon avec une éruption solaire. Périodiquement, la surface du soleil est agitée par des explosions de matière solaire où atomes et électrons sont violemment éjectés dans l'espace. Les conditions de cette explosion ont été entièrement modélisées dans l'ordinateur sous forme d'équations mathématiques, et les résultats des calculs présentés aux chercheurs sous la forme d'images de synthèse. Sur ces images, les lignes noires représentent la direction des forces magnétiques et les couleurs la densité de la matière, c'est-à-dire le nombre de particules par cm^3 en un point. Plus la matière est dense, plus la couleur se rapproche du rouge en suivant l'ordre de l'arc-en-ciel.
Ce genre de simulation qu'il serait impossible d'interpréter sans la sortie image est un moyen très riche d'informations potentielles pour comprendre un phénomène trop difficile à observer directement. Une fois de plus, l'ordinateur couplé à des unités d'entrée-sortie directement accessibles à nos organes des sens fournit à l'homme un supplément de cette intelligence avec laquelle il se comprend de mieux en mieux.



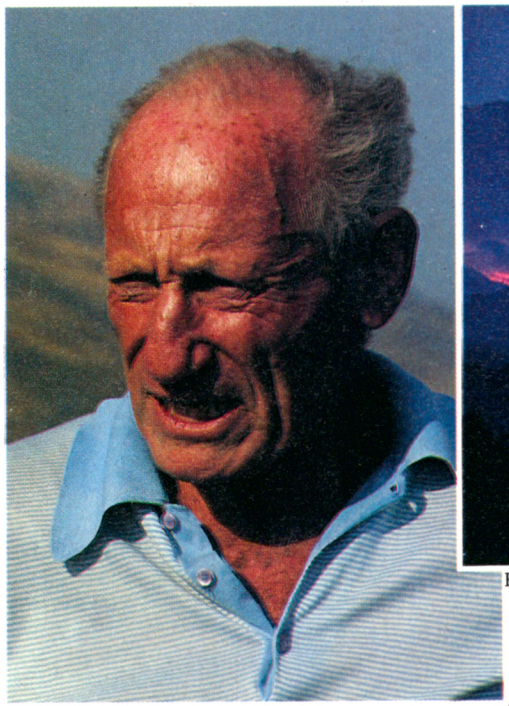
Un chercheur de l'Observatoire de Meudon devant un ordinateur.

Le double jeu de Cléopâtre



Affiche de parfumerie (vers 1890).

– Les exigences vis-à-vis de votre corps sont-elles des moyens de votre réussite ?
– Vous abandonnez-vous souvent à la rêverie ?
– Prenez-vous plaisir à dérouter les autres ?
Telle est l'indiscrétion du programme Cléopâtre. Il vous pose ainsi toute une série de questions intimes qui lui permet d'avoir une idée de votre personnalité.
Construit par le psychiatre Marcos Einis, il recense à partir de ces questions les traits qui vous caractérisent. Il paraît qu'au travers des réponses à ces questions émergent des indications sur nos pulsions, notre érotisme, nos obsessions et notre narcissisme. Quatre-vingts ans de clinique sont là, d'après l'équipe, pour assurer la pertinence du questionnement.
Par ailleurs, on a effectué une classification de quelque deux cents parfums en fonction de leurs composantes principales (chypré, aldéhyde, floral, etc.). On a, de plus, enregistré le discours de parfumeurs et les traits généraux des grandes catégories de représentation de la femme. En tout une quarantaine. Ces représentations sont croisées avec les comportements pulsionnels, érotiques, etc., et mis en regard avec la classification des parfums. Résultat : le programme vous dissèque, donne les traits de votre personnalité et suggère des parfums. Pas forcément tendre, Cléopâtre vous tire le portrait :
– le manque d'assurance vous empêche souvent de garder une bonne estime de vous-même ;
– prendre des risques, cela vous arrive sans toujours réfléchir aux conséquences, etc., etc. Il y en a une page comme ça.
Et le conseil tombe :
– Eau de Cologne d'Hermès,
– Eau fraîche de Léonard.
Il aurait été intéressant de faire passer ce programme à Antoine. Pour vérifier. Car Cléopâtre évolue en fonction des informations qu'elle accumule sur les clientes et qu'elle traite. Elle classe en effet et caractérise chaque population, par rapport à ses composantes (érotique, narcissique, obsessionnelle) et en fonction d'indications telles que la relation à l'autre, le corps, l'image, la relation au temps et à l'espace.
Mine de rien, Cléopâtre joue un double jeu. Tandis qu'elle conseille les clientes des parfumeries, elle fait du marketing.
Mais Cléopâtre fait aussi quelque chose qui est encore très rare dans le champ de l'informatique. Elle y associe d'autre sens. Et les odeurs, ça existe.



Haroun Tazieff.



L'Etna (Sicile).

Technologies avancées et vulcanologie

Vulcanologue bien connu, Haroun Tazieff nous parle, à travers son métier, de l'intelligence artificielle et de l'intérêt qu'il porte aux systèmes experts.
« La machine, nous dit-il, n'aura jamais, ni l'intelligence, ni la sensibilité d'un être humain, pas même celle d'un animal. » Pour lui, le système expert n'est encore, en réalité, qu'une banque de données perfectionnée, qui ne contient que les informations que l'ingénieur de la connaissance a bien voulu y inscrire et, s'il est capable de retenir plus d'informations et de schémas de cas typiques que la mémoire humaine, il n'est en fait qu'un « extenseur du cerveau » : en l'état actuel de l'intelligence artificielle, l'interprétation définitive et l'utilisation des données appartiennent toujours à l'expert humain.
Confronté lui-même, il y a deux ans, à l'intelligence artificielle appliquée au cadre de la vulcanologie, Haroun Tazieff fait la comparaison avec le système expert médical : « les systèmes logiques et cognitifs d'approche des problèmes sont similaires, dit-il. Dans les deux cas, la machine est supérieure à l'homme sur le plan de la mémorisation des connaissances, mais, ajoute-t-il, je ne me fierai jamais aveuglément au diagnostic d'un système expert ».

Le diagnostic pose, en effet, le problème des qualités humaines nécessaires à l'interprétation des symptômes – qu'ils soient médicaux ou géophysiques – qualités d'intuition, d'imagination et de sensibilité « que la machine ne possédera jamais ».
Le système expert est alimenté par des experts d'horizons très différents. Et Haroun Tazieff pose le problème du faux scientifique, faux dû à l'ignorance ou à la malhonnêteté. « Le système expert, nous dit-il, pourrait être conçu comme une grille permettant le recoupement des informations et éjectant, au bout d'un certain temps, les informations inexactes. On produit chaque année des quantités de faux scientifiques, et cela pose un problème en ce qui concerne la mise à jour des systèmes experts dans lesquels on introduit des erreurs – volontaires ou non. » Ce qui risque, si ces erreurs ne sont pas éliminées, d'amener le système expert et les experts eux-mêmes à de fausses conclusions.
La remise en question des informations et la mise à jour du système expert devront donc être constantes pour que le système ne devienne pas obsolète.

La critique du système expert doit être accessible aux experts de la connaissance : ce système ne doit donc pas être surveillé par des informaticiens seuls qui ne sauraient juger de la véracité de données spécifiques. Et puis, Haroun Tazieff insiste : « Il faut démystifier les savants, les porteurs de chapeaux pointus... »
D'un point de vue plus technique, il explique que les systèmes experts sont d'une utilité indéniable en vulcanologie, et ceci contrairement à la robotique : pour effectuer des prélèvements dans des milieux inaccessibles à l'homme, le vulcanologue utilisera de préférence à un robot, un appareil de télémesure, le prix exorbitant du robot n'étant pas justifié par une efficacité réelle.
Le problème du vulcanologue, à l'heure actuelle, est, en effet, la faible importance des crédits dont il dispose. Et, comme la plupart des chercheurs, il doit se montrer très circonspect quant à ses investissements technologiques. Il peut, et même il doit, se procurer les appareils indispensables ; mais les gadgets sont à rejeter impitoyablement. Un bon exercice, donc, de remise en question des technologies et des innombrables logiciels en fonction de leur utilité réelle.

La grande peur de l'an 2000

« L'ordinateur supprime des milliers d'emplois, il fascine les enfants que nous ne comprenons plus, il stocke des fichiers qui nous échappent : nous allons être licenciés, isolés, quadrillés, sans même être capables pour survivre de devenir nous aussi des informaticiens. »
Voilà, sous des formules abruptes, la grande peur de l'informatique. Même s'ils ne les expriment pas aussi vivement, beaucoup de nos contemporains vivent dans ces craintes et savent mal les dominer.
On pourrait croire, puisque l'informatique est un problème neuf, que nous sommes les premiers dans l'histoire occidentale à vivre une semblable angoisse. Mais qu'on imagine un instant l'impression d'abîme du chevalier moyenâgeux devant le premier coup de fusil ou l'effroi de l'humaniste visitant la première chaîne de production industrielle... N'avaient-ils pas eux aussi un sentiment de totale impuissance, le même que nous ressentons devant l'invasion de l'ordinateur, nous qui avons pourtant appris à vivre avec la bombe atomique et qui sommes capables d'anéantir d'un coup la planète ? Nous avons en commun plus qu'un sentiment avec nos ancêtres des XIIe et XVIIIe siècles : comme eux, nous sommes confrontés à une révolution fondamentale dans les rapports entre savoir et société, entre économie et philosophie ; comme eux, nous ressentons la peur du vide, parce que notre avenir échappe à nos logiques habituelles [...]

Allons-nous perdre l'esprit ?

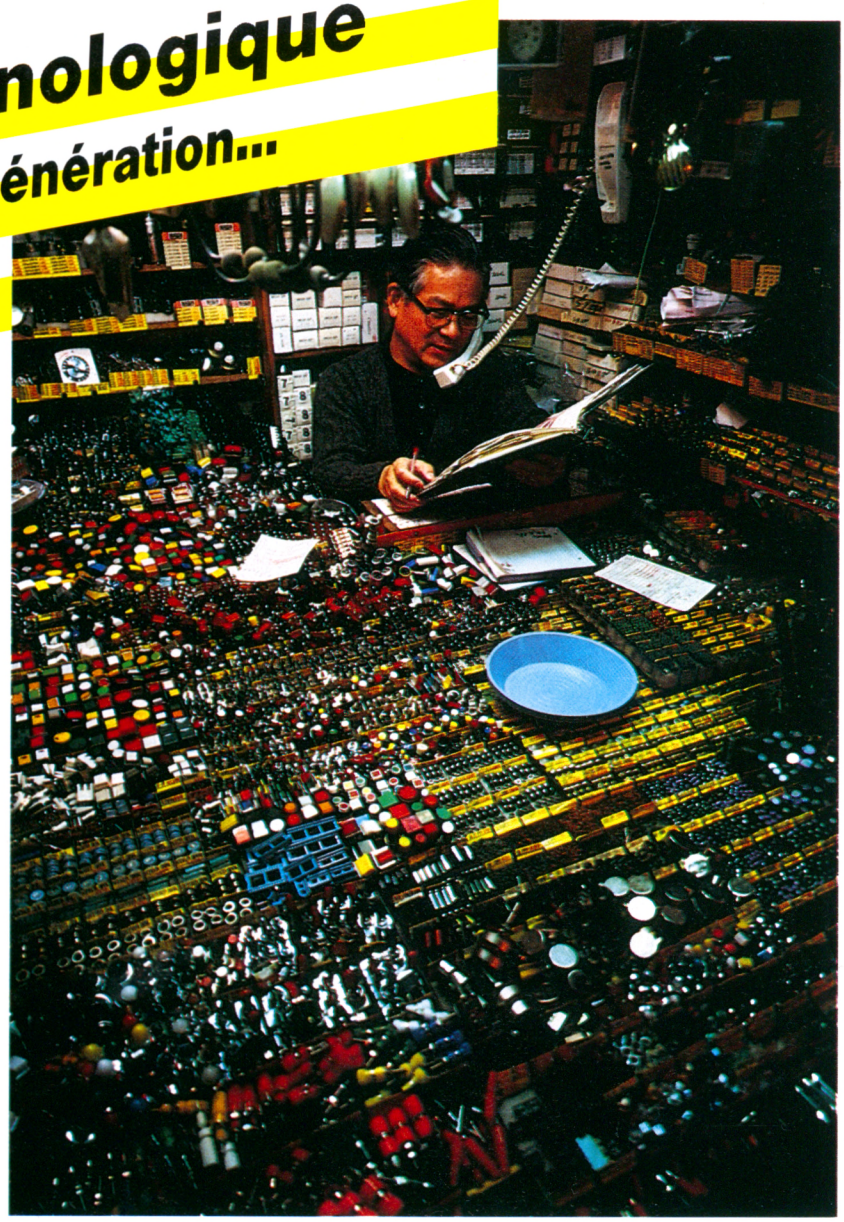
Nous voici donc au bord de la révolution informatique. En quarante ans, les grands moyens de production ont quitté le domaine de la seule initiative privée. La crise de l'énergie et la crise financière internationale ont accéléré la participation des États aux capitaux, aux décisions, au contrôle des marchés. Le conflit sur la possession du capital et la répartition des richesses se déplace vers le champ culturel, où l'enjeu s'aiguise chaque jour, à savoir qui maîtrisera les médias, les modèles idéologiques, l'opinion. Il est plus important aujourd'hui d'avoir la majorité dans un sondage que dans un conseil d'administration, même si l'un aide bien l'autre.
Car, entre-temps, l'ordinateur s'est installé dans tous les rouages de la production [...] Demain, à l'usine comme dans les campagnes, des machines conduites par une minorité de gens assureront l'essentiel de la production, et la classe ouvrière, qu'on disait être, il y a à peine vingt ans, la future classe dominante, se réduira à quelques dizaines de milliers d'individus [...]
D'où l'angoisse collective : ces machines qui produisent pour nous ne vont-elles pas aussi penser à notre place ? Le langage contemporain est un bon miroir de ces frayeurs, qui en abuse : « technologie cognitive », « intelligence artificielle », « machines cohérentes et logiques », « androïdes », etc.
Et voilà notre homme du XXe siècle aussi peureux et nu devant l'ordinateur que son trisaïeul devant la machine à vapeur.
Qui peut dire aujourd'hui ce que sera la société de demain ? Ceci est une autre affaire, et pas seulement celle des prophètes. A la lecture de l'histoire, ce qu'on peut affirmer sans être visionnaire c'est que cette société-là ne viendra pas sans douleur, pas plus que la Renaissance n'avait pu faire l'économie des guerres de Religion et la France moderne celle de la Révolution de 1789. A nous d'être lucides et vigilants pour que l'inévitable conflit crée l'avenir sans autres victimes que l'ignorance et la peur [...]

par Jean-Claude Vernier, in *Guide des technologies de l'information* (Autrement, 1984).

Le bond technologique

Ordinateurs de 5e génération...

Le Japon gagne !



Le marché aux puces de silicium de Tokyo.

En 1982, les Japonais ont lancé un ambitieux programme destiné à mettre au point des systèmes informatiques de cinquième génération. Les commentaires sceptiques n'ont pas manqué ! Et pourtant [...]
A la fin de la première étape de trois années, l'Institut (japonais) pour la technique des ordinateurs de nouvelle génération (Icot) a atteint les objectifs qu'il s'était assignés. Tout porte à croire qu'en 1988 il aura réalisé une machine pré-industrielle et qu'en 1991 un ordinateur industriel intégré sur silicium sera opérationnel.
Immenses sont les applications de ce nouveau type de machine qui manipule des connaissances et non plus des données numériques, effectue des raisonnements logiques (si... alors ; et... ou) et non des opérations arithmétiques : de la traduction automatique à la reconnaissance de parole ou d'images ; de la CAO aux robots intelligents ; aux systèmes d'aide à la décision pour l'industrie, le management, l'économie ; à l'enseignement à la carte ; et à la surveillance active des malades !
Ainsi, les « systèmes de traitement d'informations et connaissances », ou Kips *(Knowledge information processing systems)*, appellation plus explicite qu'« ordinateur de cinquième génération », vont cesser d'être des mythes [...]

L'art d'attirer les chercheurs occidentaux

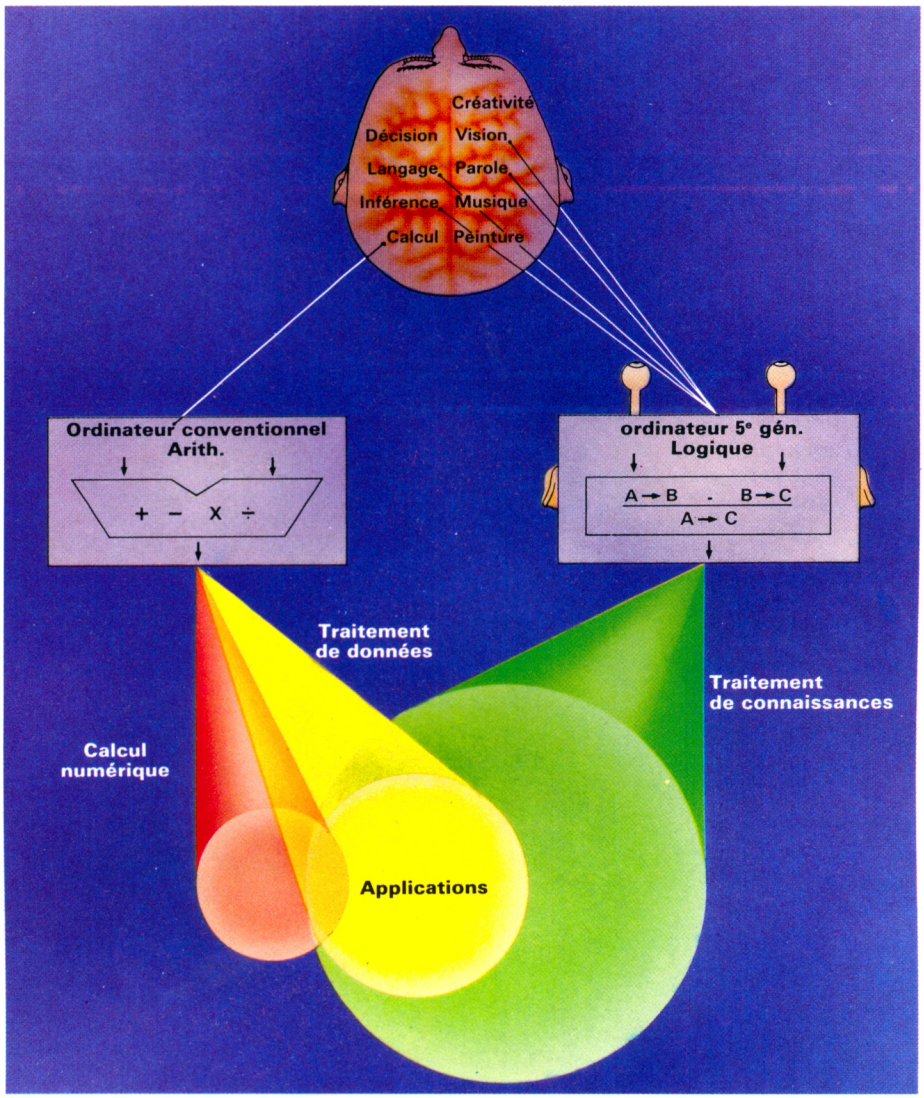
Le Japon – et c'est là un secret de sa réussite – a su capter l'état de l'art du monde entier, en associant informellement à ses travaux les meilleurs chercheurs du monde, une douzaine de personnes rigoureusement détectées, sélectionnées, comme Shapiro en Israël ou Colmerauer de Marseille, le père de Prolog [...]
Avec l'Icot, les Japonais accomplissent moins un travail de chercheurs que d'ingénieurs, d'assembliers concevant un concept, un système global, coordonnant ensuite les compétences où qu'elles soient pour le réaliser concrètement.
La course aux Kips est menée en attaquant quatre séries de problèmes : réaliser des sous-systèmes d'inférence rapides ; construire des bases de connaissances et non plus de données classiques ; créer des interfaces « intelligentes », flexibles, interactives permettant un dialogue homme-machine par la voix, l'écriture, le dessin, l'image ; et mettre au point un système essentiel assurant des fonctions de haut niveau.
Les Japonais ont adopté le langage français Prolog parce qu'il convient particulièrement bien à la description du mécanisme du raisonnement humain, avec ses déductions que les informaticiens préfèrent appeler inférences. Prolog est devenu le langage machine.
Un processus capable de traiter des clauses « si... alors » a été réalisé : PSI, une machine monoposte fonctionne à la vitesse de 30 000 inférences par seconde ou lips (*logical inference* par seconde).
Or un lips équivaut à 100 ou 1 000 instructions par seconde [...]
Ainsi, cette relativement petite machine, encore expérimentale et sans parallélisme, égale ou dépasse déjà les performances de très gros ordinateurs universels : Vax 780 de DEC ne réalise « que » 1 500 lips, comme le Symbolics 3600.
L'IBM 3033 atteint 27 000 lips, le DEC 2060 est à 43 000 lips, grâce à sa construction très spécialisée.

100 millions d'inférences par seconde

Pour aller au-delà du stade du processeur actuel, qui est séquentiel, il faut pouvoir introduire des fonctions « et » et « ou », ce qui implique une architecture parallèle.
Actuellement, la faisabilité d'un assemblage en parallèle des processeurs est démontrée.
L'ambition de l'Icot est d'atteindre 100 millions d'inférences par seconde, et d'intégrer la machine sur une puce réalisée en **VLSI.**
L'autre réalisation importante sur le plan des matériels se dénomme Delta. Il s'agit d'une machine capable d'emmagasiner des descriptions de connaissances.
Avec la machine à inférences, elle constitue le cœur matériel du futur système. Cette machine-base de connaissances (KBM, pour *Knowledge Base Machine*) est capable de réduire les redondances, de restaurer ou de mettre à jour elle-même les connaissances. Elle dispose d'une véritable expertise sur le fonctionnement des systèmes experts : sa base de connaissances est centrée sur la résolution de problèmes et non pas, comme les bases de connaissances habituelles des systèmes experts existants, sur un domaine d'application (géologie, médecine...). On sait qu'une part considérable du temps de travail des bases de données actuelles est consommée par leur mise à jour.

Le noyau de l'ordinateur

Troisième axe des travaux de la première étape : la constitution de logiciels de base. Sur le plan logiciel, un « système essentiel » constitue le noyau de l'ordinateur de cinquième génération.
Il correspond, pour le traitement des connaissances, au système d'exploitation de haut niveau d'un calculateur numérique. Il comprend quatre éléments principaux :
- un module de résolution de problèmes, qui est un moteur d'inférences opérant par chaînage avant (déduction), chaînage arrière (induction) et coopération (raisonnement en parallèle et comparaison). Cette dernière méthode reste incontestablement la plus innovatrice ;



L'ordinateur de 5e génération fonctionne selon un processus analogue au cerveau humain.

- un gestionnaire de base de connaissances. Il prendra en charge le stockage des données, l'utilisation de connaissances d'origines diverses (bases de données, capteurs...) et leur acquisition. Un prototype de système de représentation des connaissances sera développé dans la phase en cours pour définir des méthodes de modélisation des connaissances ;
- une interface intelligente permettant le dialogue homme-machine. Un prototype de programme d'analyse syntaxique est en cours d'élaboration, de façon à mettre au point des analyseurs syntaxiques rapides et des algorithmes simplifiés pour la compréhension du langage naturel.
Ces éléments seront complétés par des techniques d'analyse sémantique de base et un modèle de dictionnaire ;
- un module de programmation intelligente qui traduira un problème donné, exprimé dans un formalisme adéquat en un programme opérationnel [...]
Ces différents modules seront entièrement écrits dans un « langage du noyau de cinquième génération », basé sur Prolog [...]
Les travaux impliquent, en amont, un énorme effort en linguistique appliqué à l'anglais et au japonais. Déjà des logiciels sont capables de vérifier la correction syntaxique d'une phrase japonaise, par exemple : l'absence d'un verbe, le non-respect d'une règle grammaticale. Le contrôle sémantique portant sur la signification est en cours de mise au point. Tout ceci aura beaucoup de conséquences : chacun, face à l'ordinateur, pourra s'exprimer à sa façon, sans respecter un énoncé type, avec pour seule contrainte d'être logique [...]
C'est un immense défi culturel que les Japonais ont relevé avec succès face aux États-Unis. Il est significatif qu'ils considèrent comme une contrainte, presque une humiliation, de devoir programmer en anglais.

par Xavier Dalloz,
avec A.-Y. Portnoff et E. Seyden,
in *Sciences et Techniques,* n° 11.

L'ordinateur personnel en 1990

Après seulement dix ans d'existence, le marché de l'ordinateur personnel a déjà dépassé celui des ordinateurs universels. Ils représentent aujourd'hui plus de 85 % du total de tous les ordinateurs en service dans le monde, et il est évident que les années 80 vont être la décennie de l'ordinateur personnel.
La vague de l'ordinateur personnel – vue parfois comme un raz-de-marée – se répand sur le marché en s'étendant dans quatre secteurs : le secteur du foyer où l'on parle d'ordinateur familial ou domestique ; le secteur de la formation, qu'il s'agisse d'EAO ou d'initiation à la micro-informatique ; le secteur scientifique et technique ; et le secteur de l'usage commercial et de la gestion. C'est ce dernier qui nous intéresse ici, bien que les grandes tendances que nous allons développer soient aussi valables pour les autres.
Toutes les études de marché le confirment, le marché de l'ordinateur à usage commercial et de gestion est immense. Les prévisions les plus pessimistes des livraisons de ce type d'ordinateur annoncent un marché de 15 millions d'unités en 1990 contre 3 millions en 1984. En 1990, il y aurait 50 millions d'ordinateurs personnels dans le monde.
On peut se demander ce qui rend aussi optimiste les spécialistes.

Les origines du phénomène

Le succès de l'ordinateur personnel a deux origines ; l'une économique et l'autre technologique.
L'origine économique est liée à la transformation de la société. Nous assistons à une tertiarisation de la société où l'information est devenue l'industrie primaire, l'industrie qui fournit à l'économie sa ressource essentielle à la place de l'énergie.
Les comparaisons internationales montrent que la population active qui traite de l'information est en croissance rapide et régulière dans le monde entier
Cette tertiarisation de la société conduit à des investissements de plus en plus importants pour rationaliser la production, l'utilisation, la distribution... de l'information. Parmi ces investissements, l'informatique, et plus particulièrement l'ordinateur personnel, occupent une part de plus en plus significative.
L'évolution technologique des dix dernières années a eu évidemment un impact considérable sur la physionomie de l'ordinateur personnel. Cet impact a non seulement permis d'augmenter sa puissance et son prix mais a surtout permis de développer des logiciels de plus en plus faciles à utiliser.
Il y a dix ans, une mémoire centrale de 512 K octets associée à une mémoire auxiliaire de 10 M octets était la caractéristique de base d'un gros ordinateur, aujourd'hui c'est celle d'un ordinateur personnel.

Le futur immédiat

En extrapolant à partir de l'évolution constatée et de l'état de l'art actuel, on peut dresser les caractéristiques principales d'un ordinateur personnel en 1990 :
- 1 à 16 Mega octets de mémoire centrale ;
- 20 à 200 Mega octets de mémoire auxiliaire accessible ;
- 0,5 à 2 millions d'instructions par seconde ;
- deux disquettes 3 1/2 pouces de 4 Mega octets et/ou un disque de 5 1/4 pouces de 100 Mega octets ;
- un disque optique de 600 Mega octets ;
- résolution graphique de 600 × 800 avec 4 millions de couleurs avec possibilité de 3D, de rotation, de zoom... ;
- possibilités d'interfaçage sur réseaux locaux à large bande ;
- entrée et sortie vocale ;
- un modem de 2 400 bauds ;
- possibilités étendues de partage de ressources avec d'autres systèmes ;
- utilisation d'imprimantes lasers, à jet d'encre et à transfert thermique de charge ;
- large utilisation des techniques de l'intelligence artificielle.

Le sens du progrès

Ces progrès technologiques réguliers au niveau des processeurs ne peuvent que se poursuivre au cours des prochaines années, mais c'est surtout au niveau de l'interface homme-machine que les progrès vont être les plus sensibles : utilisation des techniques de traitement de la parole, de traitement de l'image, de compréhension du langage naturel.
Parmi ces technologies, on peut rassembler en sept grandes rubriques celles qui auront un impact considérable d'ici 1990 sur les ordinateurs personnels :
- les circuits intégrés
- les mémoires auxiliaires
- le logiciel
- les technologies d'affichage
- les technologies de communication
- les technologies d'impression
- les technologies de saisie.

Les circuits intégrés
Cette rapidité de croissance est la conséquence directe des progrès réalisés en matière d'intégration sur le silicium que l'on peut schématiser de la façon suivante. Depuis 1970, le degré d'intégration est multiplié par 10 tous les cinq ans et le prix de l'unité mémoire (le bit) baisse régulièrement de 25 % à 30 % par an en moyenne. En 1970, on commercialisait des mémoires de 1 K bit, en 1983 on est passé à 256 K bits. On atteindra probablement 1 M bit en 1987 et 10 M bits en 1991. Cette tendance se prolongera encore au cours des 10 prochaines années et les spécialistes estiment qu'il sera possible de fabriquer des mémoires de 256 M bits.
Ces possibilités d'intégration ont permis de fabriquer des microprocesseurs de plus en plus performants : 8 bits en 1974 ; 16 bits en 1980 ; 32 bits en 1983.

Les mémoires auxiliaires
Le développement des mémoires auxiliaires a aussi été très rapide. Parmi les différents supports, ce sont les disquettes et les disques durs qui ont évolué le plus rapidement.
Les lecteurs de disquettes existent actuellement en trois formats : 8 pouces, 5 1/4 pouces et moins de 4 pouces. Ce dernier format, qui occupait une part de marché négligeable en 1983, va s'imposer sur le marché mondial avant 1990 et à cette époque on commercialisera des disquettes de moins de 4 pouces capables d'enregistrer de 1 à 4 Méga octets, le lecteur étant vendu à environ 300 dollars. En revanche, le format 8 pouces va disparaître petit à petit. De la même façon, les unités de disque fixe, de format

moins de 4 pouces, vont remplacer les disques 5 1/4 pouces et 8 pouces sur les ordinateurs personnels. Leurs performances vont aussi augmenter très vite. On atteindra probablement des capacités de 40 à 100 Mega octets pour une unité de disque dur de moins de 4 pouces. Parmi les nouveaux supports, il faut souligner l'importance des disques optiques numériques pour des applications du type archivage.

Le logiciel
L'ordinateur personnel constitue le domaine où la demande des utilisateurs se montre la plus pressante en faveur d'une véritable mutation du logiciel.
Si, actuellement, l'utilisation optimale d'un ordinateur personnel requière encore un talent d'ingénieur ou, au minimum, une formation scientifique, cette situation ne doit pas se prolonger dans l'avenir et
il est acquis que les gains de productivité sont d'abord à attendre de l'innovation en matière de logiciel. Ces innovations vont venir essentiellement de l'évolution des systèmes d'exploitation et de l'introduction des concepts de l'intelligence artificielle dans le logiciel.
Un grand progrès pour l'utilisateur : ces logiciels pourront être utilisés avec un minimum de documentation et sans connaissances d'informatique. Il suffira de savoir poser correctement son problème.

Les technologies d'affichage
Le tube à rayon cathodique est largement utilisé en informatique comme écran d'affichage du fait de sa relative simplicité, de son coût réduit et de sa facilité d'interfaçage. Au cours des cinq prochaines années, le tube à rayon cathodique va continuer à s'imposer pour toutes les applications nécessitant de la couleur, avec des performances nettement améliorées. En revanche, pour les autres applications, l'écran plat va rapidement s'imposer par ses avantages d'économie de poids, d'encombrement et de consommation d'énergie.

Les technologies de communication
La communication entre ordinateurs va aussi connaître d'importants progrès et plus particulièrement dans le domaine des modems (utilisation généralisée) et des réseaux locaux. Ces réseaux vont permettre de relier de nombreux ordinateurs personnels, avec la possibilité de partager de nombreuses ressources informatiques (imprimantes, ordinateur central, etc.) et la possibilité de courrier électronique interne ou d'avoir accès à des réseaux extérieurs : réseaux téléphoniques, satellites, etc.



Les technologies d'impression
Un autre domaine qui va subir des transformations technologiques importantes est celui des imprimantes.
L'utilisation croissante d'applications graphiques va nécessiter l'utilisation de technologies non-impact. Parmi celles-ci, trois vont connaître un grand succès : le jet d'encre, le transfert thermique et le laser.

Les technologie de saisie
Les technologies de saisie existant aujourd'hui sont encore très rudimentaires. De nombreux progrès sont à attendre d'ici 1990 grâce à l'utilisation de la reconnaissance de la parole, de « souris intelligentes », de lecture optique (et plus généralement de la vision) et des écrans tactiles. Tous ces périphériques deviendront, avant 1990, des outils aussi indispensables qu'un clavier.

Xavier Dalloz.

Les limites



Des industriels et universitaires japonais ont proposé au MITI (ministère de l'Industrie japonais) un plan d'action pour fabriquer en grande série, en l'an 2000, des puces de 100 M bits (400 fois plus qu'aujourd'hui). Mieux encore ! En utilisant les technologies actuelles mais en les combinant, en les optimisant et en en réduisant les coûts, on peut parvenir à des niveaux d'intégration 10 fois supérieurs (1 gigabit, soit plus de cent millions de caractères).
Les théoriciens commencent même à examiner des solutions qui leur permettraient de gagner encore un facteur 100 ! Rêve ou prévision ? Impossible de le dire aujourd'hui. On sait seulement que :
« Quand les bornes sont franchies, il n'y a plus de limites... »
Qu'est-ce que cela peut signifier pour les utilisateurs de micro-ordinateurs ? D'abord qu'ils seront de moins en moins limités par la taille des programmes et des fichiers. A titre d'exemple, un livre de poche sur circuit intégré est envisageable vers 1990 (s'il y a un marché), une petite bibliothèque vers l'an 2000, peut-être une informathèque en 2010-2020.
Côté microprocesseur, la tendance va également continuer, mais avec des changements structurels importants (on parlait de multiplications par seconde avant 1960, d'instructions par seconde dans les années 1970 ; on tend aujourd'hui vers les transactions par seconde ou les raisonnements par seconde).
Une partie de ces extensions de mémoire et de performances servira à augmenter directement l'efficacité des micro-ordinateurs (et de la bureautique, des ordinateurs universels, etc.).
Une autre sera utilisée à rendre plus conviviale l'utilisation ; utilisation croissante du texte, de la parole (cela commence enfin), de l'image (bientôt), mais aussi facilité d'emploi (souris, icônes, logiciels conviviaux, langage « naturel »).
Utopies ?... Non, parce que les utilisateurs en ont besoin et que les constructeurs ont tout intérêt à les satisfaire s'ils veulent livrer des millions puis des dizaines de millions de micro-ordinateurs.
Pour en finir, cependant, sur les futurs de la technologie, il faut aussi parler des écrans, des disques, des communications [...]
L'informatique devra aussi aller dans cette voie en continuant à utiliser son génie propre (traitement de la voix, des images : sait-on que la voix nécessite 64 000 bits par seconde sur réseau téléphonique, alors que son contenu informationnel est inférieur à 100 bits par seconde) !
Conclusion : les experts vous promettent un avenir excitant, fourmillant d'efforts, de défis, mais aussi de satisfactions. Alors un conseil aux utilisateurs éventuels sous peine d'être dépassés : « vivez si m'en croyez, n'attendez à demain... »

Claude Paré.

L'ordinateur au service de la santé

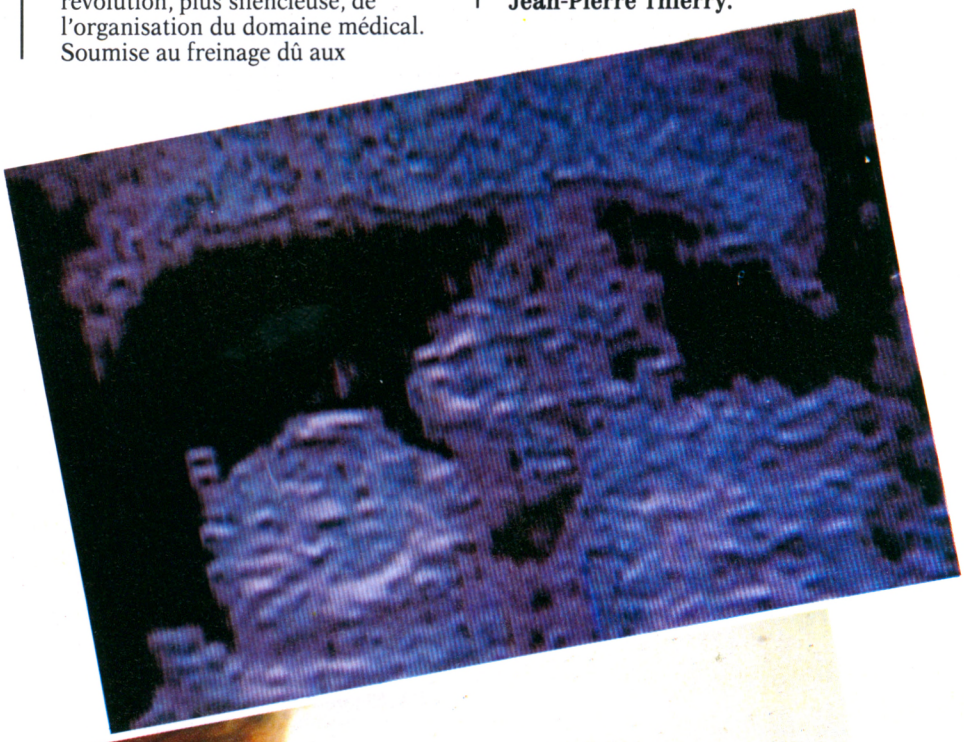
L'ordinateur d'aujourd'hui n'accepte que des données précises qui peuvent lui être fournies en très grand nombre mais qui doivent toutes être susceptibles d'un traitement selon des processus tout aussi rigoureux et infaillibles qu'incapables de se reconsidérer eux-mêmes.
La médecine, elle, est confrontée à des données encore souvent approximatives – dont la qualité et la quantité sont indéfinies – qu'elle traite selon des processus logiques incomplets, aux contours flous, mais pouvant se générer les uns les autres.
On imagine donc aisément le fossé qui reste à combler entre ces deux sciences, dont la deuxième, encore inexacte, est pourtant d'une efficacité toujours non concurrençable par la première, exacte, elle, entre toutes.
Est-ce à dire que la rencontre est désespérée ?
Certes non, la médecine a déjà informatisé son administration, demandé au calculateur de tracer des courbes statistiques, confié ses bibliothèques aux banques de données, stocké les dossiers médicaux sur disques et disquettes.
Elle a aussi demandé aux programmes de faire des diagnostics, mais seulement dans des disciplines dont la précision des données est suffisante et dont la logique menant au diagnostic s'adapte au processus algorithmique ; par exemple l'hématologie.
Mais elle bute devant les exigences de l'informatique toutes les fois que les données manquent de précision, qualitative ou quantitative, et que les rapports qu'elles entretiennent manquent de logique et de constance. Pourtant, cette insuffisance médicale est en train d'être surmontée grâce à l'informatique elle-même qui commence à traiter les signaux complexes.
Ainsi l'informatique, en permettant de rendre de plus en plus précises et lisibles les données de la biologie, enrichit la connaissance médicale, mais crée aussi, par là-même, les conditions de l'informatisation de plus en plus large du diagnostic médical lui-même.
Si l'informatique a contribué et contribuera encore aux progrès de la médecine, est-il exclu que la médecine puisse à son tour faire progresser l'informatique ?

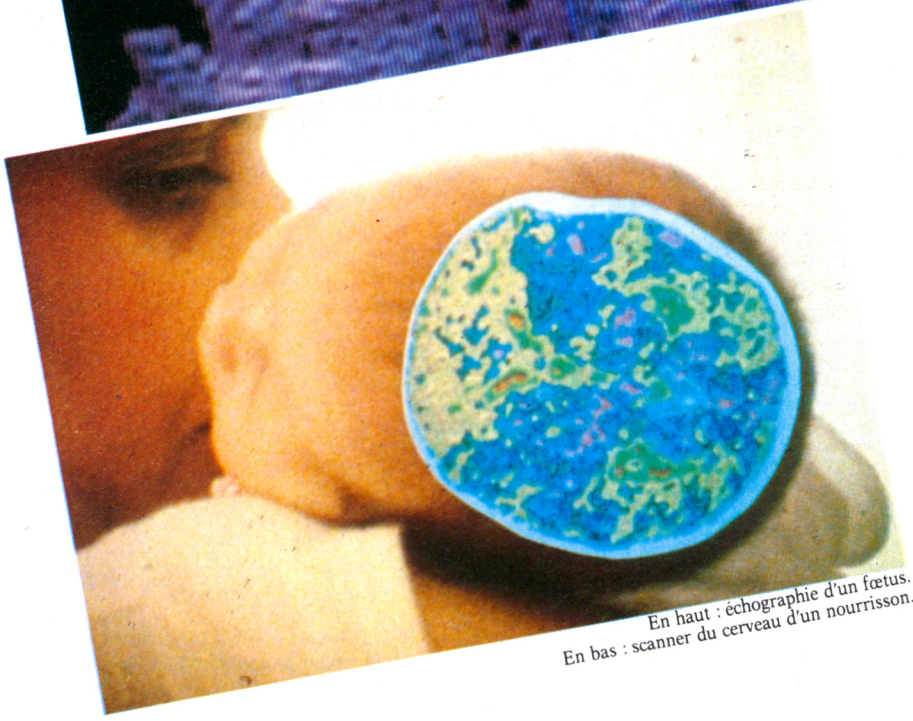
Claude Francheschi.

Médecine et informatique

L'informatique occupe une place de plus en plus importante dans l'ensemble du secteur santé : qu'il s'agisse du traitement des signaux que le corps humain émet (dans des conditions naturelles ou provoquées) ou bien qu'il s'agisse des procédés de gestion des établissements de soins ou même des cabinets, elle a profondément transformé une grande partie des outils mis à la disposition du médecin.
En imagerie médicale, elle a tout d'abord permis le développement de la médecine nucléaire *(scintigraphie)* avant de produire une très importante révolution technique avec le *scanographe (scanner),* les ultrasons *(échographie)* et, plus récemment, avec la résonance magnétique.
On envisage également une croissance importante des équipements produisant « l'imagerie numérique », laquelle circulera sur des réseaux d'imagerie, grâce à de puissants ordinateurs utilisant les plus récentes techniques de stockage.
Des évolutions comparables peuvent être envisagées dans le domaine de la surveillance des patients. Le *monitorage* de l'électrocardiogramme ou de l'électroencéphalogramme devient possible à domicile ou sur les lieux de travail. La connexion de *boîtes noires,* portées par les sujets à risque, à des centres informatiques de calcul et de traitement des informations physiologiques devrait également apporter de nouveaux progrès.
La modification des schémas thérapeutiques classiques devrait également bénéficier de la mise au point de pompes médicamenteuses implantées ou portées par le patient. Celles-ci, comme les *pacemakers* les plus récents, adapteront automatiquement leur activité en fonction d'un paramètre physiologique spécifique surveillé constamment.
Des **boucles de rétroaction** du même type seront aussi, de plus en plus souvent, intégrées dans les circuits électroniques de prothèses devenues « intelligentes ».
Le domaine des prothèses dans son ensemble devrait d'ailleurs bénéficier de l'apport de ces toutes nouvelles techniques ; en mariant l'imagerie médicale, la reconstruction tridimensionnelle des organes visualisés et les méthodes de fabrication, l'informatique va faire naître une nouvelle industrie du « sur mesure » de la prothèse dentaire ou orthopédique.
A côté de ce progrès médical, fulgurant dans ses conquêtes, mais qui pose souvent le problème d'un coût que les sociétés industrialisées ont de plus en plus de mal à supporter, une informatique plus classique, plus près des outils de gestion, apparaît comme l'un des éléments fondamentaux d'une autre révolution, plus silencieuse, de l'organisation du domaine médical.
Soumise au freinage dû aux dépenses et aux impératifs de gestion, la médecine, et plus globalement le système de distribution des soins, est à la recherche d'une nouvelle rationalité : évaluation accrue et plus précise du rapport qualité des soins/coûts de leur production.
Sans faire ressembler les établissements ou les cabinets à des entreprises, il devient impératif de développer de nouveaux moyens de gestion.
Les nombreuses difficultés rencontrées dans cette tâche proviennent entre autres de la richesse extraordinaire de l'activité médicale, de la complexité d'un vocabulaire spécialisé et, bien entendu, des dimensions éthiques tout à fait particulières de l'activité médicale.

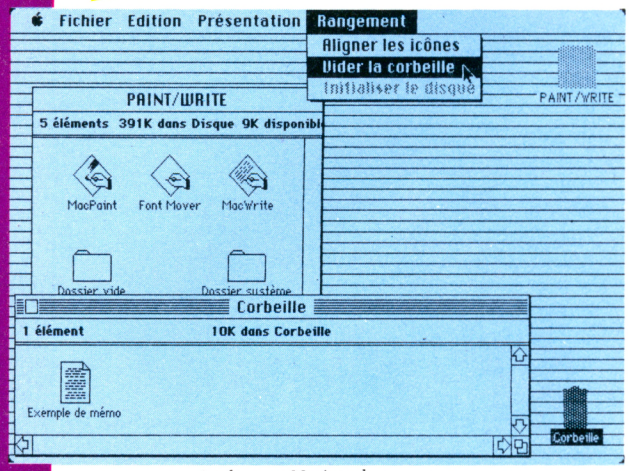
Jean-Pierre Thierry.





En haut : échographie d'un fœtus.
En bas : scanner du cerveau d'un nourrisson.

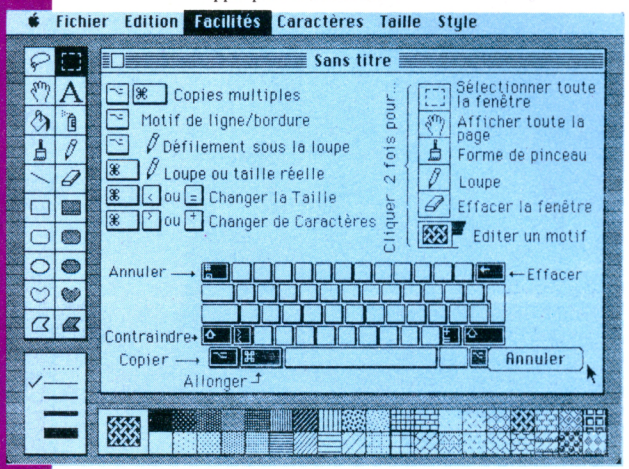
Les langages icôniques



Apple pour Macintosh.

Le *Petit Larousse* donne du mot « icône » la définition suivante : « Image du Christ, de la Vierge et des saints dans les églises d'Orient de tradition byzantine ».
On pourrait donc s'attendre à ce que les langages icôniques soient des langages réservés aux traitements théologiques. Il n'en est rien. En réalité, le choix de ce terme fait plutôt référence à son étymologie grecque : *eikonion,* « petite image » ; il sert à décrire des langages dans lesquels l'utilisateur dialogue avec l'ordinateur par l'intermédiaire de symboles graphiques.
A l'origine, ce type de langage a été développé autour des applications spécifiquement graphiques : CAO ou Arts graphiques, mais son utilisation tend à se généraliser ; par exemple, pour tout ce qui est gestion des fichiers sur le Macintosh ou le Lisa d'Apple.

Apple pour Macintosh.



La raison principale de cette généralisation réside dans la grande facilité d'utilisation des langages construits sur ce principe.
Pour lancer un programme d'édition graphique, par exemple, n'est-il pas plus agréable de placer un curseur sur un petit symbole représentant une main en train de peindre sur du papier que de taper au clavier une commande du type :

>A :GRAPHEDIT B :DESS.PIC ?

La manipulation d'un langage icônique ne se fait pas par l'intermédiaire du clavier.
L'utilisateur doit disposer d'une interface spécialisée qui lui permet de déplacer un curseur sur l'écran et de choisir ainsi l'une des icônes proposées. Cette interface est le plus généralement une tablette de saisie dont le stylet servira également à dessiner. Mais ce peut aussi être la fameuse souris d'Apple ou encore le crayon optique du MO5 ou tout système original permettant de déplacer un curseur : manche à balai, *track ball,* molettes ou touches marquées de flèches du clavier.
L'instrument de saisie, quel qu'il soit, est également doté d'un bouton permettant de valider le choix (l'ordinateur ne prend en compte le choix effectué par l'emplacement du curseur que lorsqu'on appuie sur ce bouton). Sur le crayon du TO 7 ou du MO5, ce bouton est situé à l'avant du crayon et il est manœuvré par la pression de celui-ci sur l'écran. Sur la souris, on trouve, selon les cas, un ou plusieurs boutons dont les rôles sont définis selon le langage. Sur la souris dès Apple, un seul bouton permet de passer des commandes différentes selon la manière dont il est utilisé : un simple « clic » permet de sélectionner l'icône sur laquelle se trouve le curseur à cet instant ; en maintenant le bouton enfoncé pendant que l'on déplace la souris, on peut déplacer des icônes ; en « double-cliquant » une icône, on peut l'ouvrir pour voir ce qu'elle contient.

Un exemple sur MO5 : Pictor

Il existe sur le MO5 un célèbre exemple de langage icônique : PICTOR. Il s'agit d'une palette graphique à l'aide de laquelle on peut dessiner sur l'écran de télévision. Dans Pictor, on travaille presque exclusivement à l'aide du crayon optique. On utilise uniquement le clavier pour les opérations qui font nécessairement intervenir du texte : pour écrire une légende dans une portion du dessin ou bien pour donner des noms aux fichiers correspondant aux dessins afin de les sauver ou de les lire sur les cassettes ou sur les disquettes.
On pointe, à l'aide du crayon, le symbole correspondant à la fonction que l'on désire activer dans le menu de Pictor : crayon, gomme, générateur de cercles ou de rectangles, ainsi que diverses aides au dessin : remplissage de zones, agrandissement ou réduction, déplacements ou duplication d'éléments du dessin. Certaines fonctions donnent accès à un sous-menu permettant, par exemple, de choisir la couleur du tracé ou l'importance des changements d'échelle.

La souris de Macintosh

Les langages icôniques réalisés pour le Macintosh d'Apple ont été conçus de manière qu'il soit possible à l'utilisateur de travailler sans jamais avoir besoin de recourir à un quelconque manuel de référence. On peut prendre en main un « Mac », et commencer à travailler avec, en étant simplement informé de la manière dont on peut « ouvrir » un élément présent sur le « bureau » (c'est-à-dire sur l'écran). Pour cela, il suffit simplement de placer la souris dessus et de « double-cliquer ». Plus tard, quand on a déjà bien pris la machine en main, on découvrira dans les manuels quelques raffinements permettant de gagner du temps, d'avoir accès à de nouvelles possibilités ou de travailler plus confortablement.
Ce type d'approche, encore très nouvelle, permet d'imaginer un proche avenir dans lequel il sera possible d'utiliser les ordinateurs sans formation technique préalable, aussi naturellement que l'on se sert d'une radio ou de n'importe quel autre appareil électro-ménager.

Jean-Baptiste Touchard.

Les puces ont-elles une âme ?

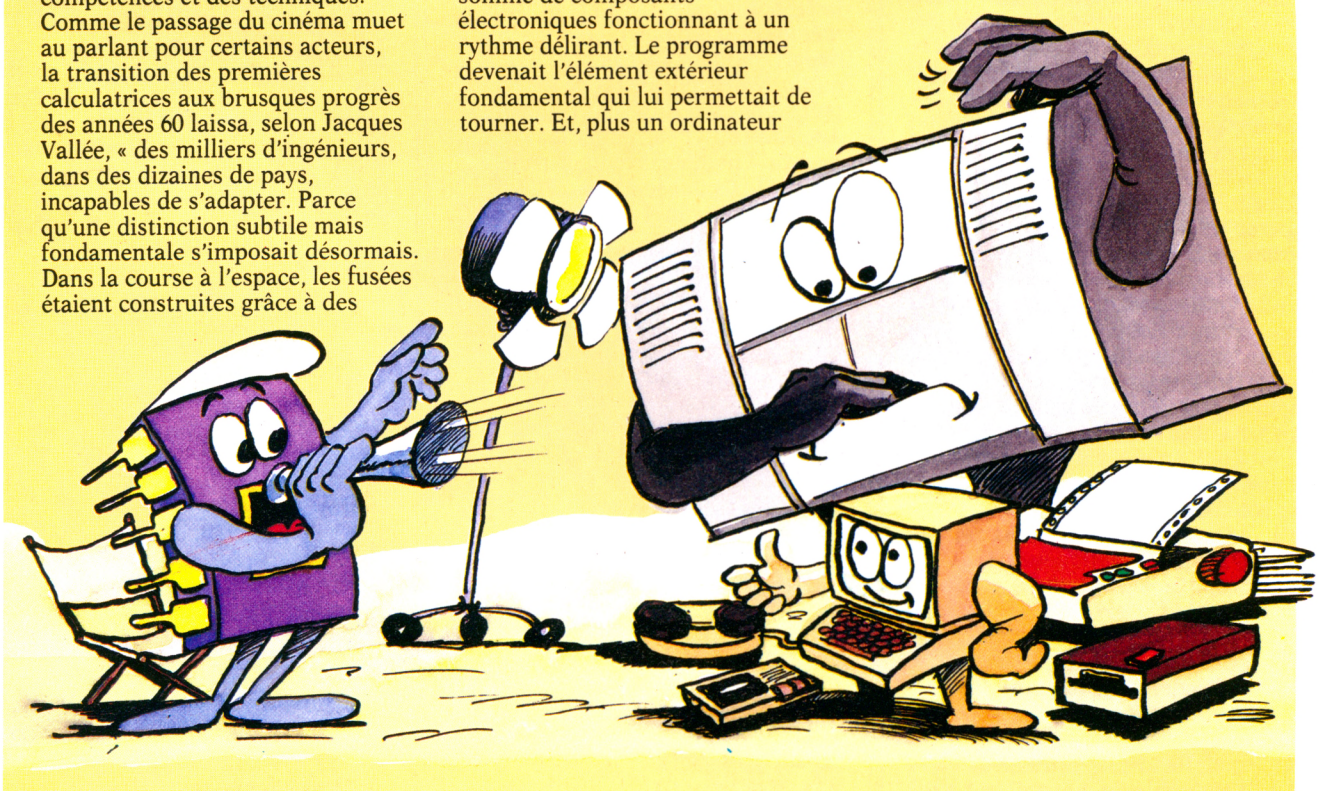
Si les nouvelles technologies de l'information accroissent de façon prodigieuse les possibilités de traitement, de transport et de diffusion des données, elles apparaissent pour le moment singulièrement dépourvues de contenu... informationnel ! On peut désormais faire tenir sur une pastille de silicium 1 000 fois plus d'« information » qu'il y a vingt ans. Et alors ? Quelle information ? Émise par qui, vers qui, et pour quoi faire ?
Dans un premier temps, l'affectation de ces nouveaux moyens aux activités des entreprises a sans doute répondu à des besoins spécifiques et relativement précis en termes d'efficacité de gestion de données de plus en plus nombreuses et complexes, et de rapidité de décision. Mais il est loin d'en être de même de leur extension à l'ensemble des secteurs du mode de vie. C'est un peu comme si, au siècle des Lumières, on avait mis en place un merveilleux système d'autoroutes pour y faire circuler des carrosses et des chaises à porteurs. Quand le magnétoscope est utilisé à mettre en conserve les impérissables chefs-d'œuvre d'« Au théâtre ce soir », ou l'informatique domestique à transformer en une suite d'impulsions binaires les règles antédiluviennes de la bataille navale, le changement n'est pas évident [...]
En un sens, l'« information » apparaît actuellement comme la grande absente de cette révolution technique. Et il ne s'agit pas ici du seul retard, généralement admis, des logiciels par rapport aux matériels, des programmes par rapport à la « quincaillerie ».
Le problème déborde ce simple décalage technique, il devient social et culturel : c'est celui des besoins, des contenus et des usages nouveaux qui se cherchent encore et vont se développer progressivement, selon une dynamique spécifique, très différente de celle de l'offre technique.
C'est de ces contenus largement extra-techniques que dépendra l'impact des nouvelles technologies sur les conditions et l'organisation de la vie quotidienne.

in *La société digitale – Les nouvelles technologies au futur quotidien,* par P.-A. Mercier, F. Plassard et V. Scardigli (Le Seuil, 1984).

La Puce et les Géants

En 1963, les circuits intégrés ne représentaient encore que 10 % du total des circuits électroniques fabriqués aux U.S.A. [...]
La formidable accélération imposée par l'apparition des circuits intégrés rendit obsolètes bien des compétences et des techniques. Comme le passage du cinéma muet au parlant pour certains acteurs, la transition des premières calculatrices aux brusques progrès des années 60 laissa, selon Jacques Vallée, « des milliers d'ingénieurs, dans des dizaines de pays, incapables de s'adapter. Parce qu'une distinction subtile mais fondamentale s'imposait désormais. Dans la course à l'espace, les fusées étaient construites grâce à des instruments ; mais elles ne volaient que grâce au « software », ces programmes d'instructions codés et insérés dans le cœur des ordinateurs à travers des langages standardisés ». Désormais, un ordinateur représentait plus qu'une somme de composants électroniques fonctionnant à un rythme délirant. Le programme devenait l'élément extérieur fondamental qui lui permettait de tourner. Et, plus un ordinateur devenait complexe, plus le travail d'écriture de ces programmes se révélait délicat.

in *La Puce et les Géants,* par Éric Laurent (Librairie Arthème Fayard, 1983).



L'impact social

Gérer une période de transition difficile

Les pays industrialisés vivent une période de transition difficile, car se posent à eux des problèmes dont la solution implique la mise en œuvre à très court terme de moyens considérables alors que le rééquilibrage de l'ensemble de l'économie s'opère sur une période longue. Le développement des activités nouvelles, net dans le secteur tertiaire, n'assure pas un relais suffisant dans l'immédiat.
La France, et notamment les régions où sont implantées les industries traditionnelles, sont confrontées à ce phénomène, qui soulève en tout premier lieu des questions humaines et sociales particulièrement graves.
Bien que les difficultés actuelles proviennent des changements intervenus sur le plan économique et non de l'introduction de l'informatique, deux propositions peuvent être faites :
– pour le présent, il convient de mettre en œuvre des dispositions spécifiques qui supposent un effort collectif important. Certaines d'entre elles font l'objet d'un plan gouvernemental de restructuration industrielle mais elles doivent être définies et appliquées en concertation avec l'ensemble des partenaires sociaux ;
– pour l'avenir, il faut noter que la lenteur relative avec laquelle s'est opérée en France la diffusion des technologies informatiques dans l'industrie, loin d'être un facteur d'adaptation progressive, entraîne, au contraire, l'obligation de procéder à des ajustements brutaux et mal préparés qui sont dommageables sur le plan social mais aussi sur le plan économique.
Il est donc essentiel d'examiner d'une façon concertée les évolutions en cours avant qu'elles n'aboutissent à des situations qui peuvent être dramatiques et de mettre en place les éléments d'une gestion prévisionnelle.
Il faut rappeler – les prévisions qui sont généralement faites et les constats concernant les entreprises et les branches le montrent – qu'il serait imprudent de penser que nous maintiendrons les effectifs dans l'ensemble du secteur industriel. Il faudrait, pour ce faire, augmenter la production dans des proportions peu réalistes en fonction des évolutions présentes et cela supposerait des gains de productivité qui ne paraissent pas à notre portée.
Cependant le développement de l'informatisation doit permettre de retrouver une plus forte croissance, d'assurer une meilleure sauvegarde de l'emploi industriel et de faciliter l'accroissement de l'emploi dans les services.
Il convient de rappeler aussi le phénomène observé concernant l'élévation des qualifications qui tient à la fois à l'augmentation en valeur absolue des personnels qualifiés et aux pertes d'emploi qui touchent ou menacent d'abord les salariés n'ayant pas une qualification suffisante.
Ceci montre bien la nécessité de renforcer la formation et de prendre conscience, comme l'a déjà indiqué le Conseil Économique et Social, que la robotique sera un facteur déterminant de la mobilité de fonction.

in *Informatique et Emploi*, séances du Conseil Économique et Social des 28 et 29 février 1984.

Les nouveaux métèques

Les puces envahissent notre quotidien, les technologies nouvelles se conjuguent au présent, et si révolution il y a, c'est bien celle de l'information.
L'ordinateur devient la prothèse indispensable, l'auxiliaire de vie, le catalyseur du temps et de l'espace, la bibliothèque et le réservoir de la mémoire du monde. L'homme depuis toujours, rêve et crée les outils démultiplicateurs de sa puissance ; rappelez-vous Guillaume Apollinaire : « Pour imiter la marche, l'homme inventa la roue, qui n'est pas une jambe »... Puis il y eut la longue vue et le microscope et aussi le télégraphe et le téléphone... Alors, aujourd'hui, ne pourrait-on écrire : « Pour imiter l'intelligence, l'homme inventa l'ordinateur, qui n'est pas un cerveau » ?
Tout ce qui concerne l'ordinateur, c'est-à-dire, le traitement automatique de l'information, symbolise aujourd'hui ces technologies dites nouvelles ;
et derrière l'ordinateur, le monde des réseaux, infinis, démultipliés et démultipliables, monde invisible aux yeux, comme l'est souvent l'essentiel. Ordinateurs, cerveaux humains et réseaux de télécommunications seront intégrés de façon toujours plus étroite. Mais, de quelle façon se fera cette





intégration ? Qui maîtrisera l'information – l'information, « ce plus qui fait la différence », selon Bateson ? Comment éviter que ne s'écrive dans le réel le *1984* de George Orwell ? Tel est, nul ne peut en douter, le véritable enjeu actuel. Car, à la vérité, rien n'est encore joué... il faut le dire : il y a du jeu dans cet enjeu !
Il s'agit maintenant d'animer cette gangue électronique, de lui conférer la souplesse, la variété de sons, qui lui donneront la vie souhaitée. Il s'agit de maîtriser au mieux cette mémoire universelle qui se constitue, d'acquérir ce nouveau langage, de savoir créer et gérer les nouveaux supports d'information à l'importance si stratégique dans l'organisation de la société.
En un mot, il faut connaître, oui, con-naître, *naître* littéralement *avec* ces technologies.
N'est-ce pas ce que les Américains expriment en parlant des « B.C. », pour désigner ceux qui sont nés *before computer*, « avant l'avènement de l'ordinateur », ceux qui, pourrait-on dire, sont nés « non-branchés », « débranchés ».
Il faut, sans nul doute, accepter et vouloir cette nouvelle connaissance : notre culture *est* et *sera* informatique ; et si lire, écrire, compter font partie maintenant de notre environnement culturel, souvenons-nous de ceux – et de celles – qui n'eurent pas accès à la révolution de Gutenberg et durent en subir longuement et lourdement les conséquences.
Aujourd'hui tout va vite, très vite. Les ordinateurs qui, il y a peu, occupaient une pièce, peuvent tenir dans le creux d'une main ; grâce à eux les paralysés commencent à marcher, les aveugles à voir.
Et ce monde qui émerge serait dominé par un esprit de logique et un seul ? Ce pouvoir serait concentré entre les seules mains de quelques personnes ? Peut-on imaginer la vie de celles et de ceux qui ne sauront utiliser les nouveaux outils de communication, faire des recherches documentaires dans une banque de données, interroger tel ou tel journal télématique, voire l'annuaire électronique, utiliser les logiciels appropriés à des fins personnelles ou professionnelles ?
Si jamais a existé le risque d'un monde dual, c'est bien aujourd'hui, entre ceux qui sauront et ceux qui ne sauront pas.
Les femmes particulièrement ne doivent ni être exclues de ce mouvement ni s'en exclure elles-mêmes, sous les prétextes les plus variés – n'entend-on pas dire couramment : « Ce n'est pas pour moi » – ; bien souvent, ce refus s'exprime par le silence, par un retrait passif. Et cela, à l'heure où commencent à coexister les technologies haut de gamme des domaines professionnels et les technologies grand public, qui vont imprégner notre réalité quotidienne. Et cela, alors que le foyer est envahi par les outils les plus perfectionnés.
Ces technologies sont dites nouvelles parce qu'elles utilisent un langage, qui a bien été créé pour permettre le dialogue avec la machine, outil culturel, qui n'est pas neutre : il servira celui qui saura s'en servir.
Difficile ? Regardez les enfants... Avez-vous vu ces nouveaux logiciels pour bébés de deux ans ? Mais oui... Devant l'ordinateur, les petits garçons écartent, dit-on, les petites filles...
Peut-être, mais ce n'est pas une fatalité... Rappelez-vous la pionnière, Ada Lovelace, l'amie de Charles Babbage, qui, la première, sut innover en matière de programme informatique.
Les femmes doivent, au sens littéral du mot, changer de résidence, aborder ce rivage technologique et, « métèques » de cette nouvelle culture, y apporter les nécessaires lignes de rupture et cette créativité qui leur est propre.
Voilà pourquoi nous ne devons plus ignorer cette réalité qui est la nôtre, nous ne pouvons plus refuser la marche d'approche d'un continent à mathématique sous-jacente ; il nous faut désormais appréhender cette techno-culture qui sera nôtre...

Françoise Bernard
(prix Jean Zay 1982).

Informatique et tiers monde



Un bureau informatisé au Cameroun.

L'informatisation du tiers monde n'est plus du domaine de l'utopie ni du futur prévisible : elle est désormais une réalité. Le nombre d'ordinateurs installés s'accroît régulièrement d'année en année et ce phénomène s'accentue encore depuis l'explosion de la micro-informatique.
Cependant cette réalité suscite beaucoup d'interrogations – l'informatique est-elle un espoir ou un danger pour le tiers monde ? De fait, on lui reproche de créer un renforcement de la dépendance économique des pays en développement par rapport aux pays industrialisés, d'être inadaptée aux besoins des pays du tiers monde et de représenter un nouveau danger de domination culturelle. Ces dangers sont réels, mais il faut dire qu'en revanche l'informatique peut aider, comme ailleurs, à ne pas gaspiller les ressources humaines et naturelles et à mieux les utiliser ; or, dans le tiers monde, ce dernier aspect est fondamental.
Il importe donc de prendre une position suffisamment nuancée, ni rejet, ni consommation passive.

Le tiers monde : une mosaïque

Aujourd'hui, 6 ordinateurs sur 100 sont installés dans les pays du tiers monde. Mais, près de 60 % d'entre eux le sont en Amérique latine et un peu moins de 30 % en Asie.
En outre, en Amérique du Sud, le Brésil totalise à lui seul la moitié des ordinateurs installés. On voit donc que, si dans certains pays – notamment en Afrique – l'informatique est pratiquement inexistante, dans d'autres régions elle constitue un aspect important du développement. C'est pourquoi il ne faut pas voir le tiers monde comme un tout homogène, mais comprendre qu'il existe de grandes disparités dans le niveau de développement, tant économique que social et culturel.
Jusqu'à l'apparition des micro-ordinateurs, les pays en développement devaient faire face à de sérieux problèmes de coûts et de maintenance. L'implantation d'unités informatiques était donc limitée à des gros centres de calcul, lourds et très centralisés, qui servaient essentiellement dans l'administration, les banques et les grandes entreprises. Mais, cette conception est aujourd'hui remise en cause par le développement spectaculaire de la micro-électronique et, avec elle, de la micro-informatique.
En effet, la baisse continue des coûts de production des composants, leur miniaturisation de plus en plus poussée, ainsi que le développement de langages de plus en plus évolués, ont conduit à l'apparition de machines maniables, d'un coût relativement faible et qui permettent leur utilisation par des gens n'ayant pas nécessairement une longue formation spécifique. De plus, la micro-informatique permet de rapprocher le traitement de l'information de ses utilisateurs directs, facilitant ainsi une conception plus décentralisée de l'informatique. Encore faut-il souligner que cette répartition des capacités de traitement n'est pas du tout inhérente à ces nouvelles technologies ; lesquelles peuvent tout aussi bien être mises au service d'une conception encore plus centralisatrice. En dernier lieu le choix ne sera pas technique, il sera politique.

La chance de voir se créer une industrie locale

L'irruption de la micro-informatique apparaît aussi comme une chance pour développer un début d'industrie nationale dans certains pays. Dans le tiers monde, comme partout ailleurs, les constructeurs américains d'ordinateurs occupent une position dominante. Cependant, dans le secteur des petits systèmes, les constructeurs européens et japonais prennent une place non marginale et même, certains constructeurs locaux ont pu voir le jour.
Par exemple, le Brésil s'est doté d'une industrie nationale d'ordinateurs et, aujourd'hui, près de la moitié du parc installé est d'origine locale, surtout en ce qui concerne les mini et micro systèmes. De même, en Amérique latine, Cuba a su se doter d'une production nationale (petits ordinateurs, terminaux, etc.), en adoptant une technologie propre.
En Asie, d'autres pays tentent de mettre en œuvre une politique nationale d'informatique. Ainsi, la Chine populaire, l'Inde, la Corée du Sud, Hong-Kong, Singapour, se sont lancés dans la conception et la production de micro-ordinateurs.
En ce qui concerne l'Afrique, on peut citer le cas de l'Algérie, dont les activités dans ce domaine vont bien au-delà du simple assemblage d'équipements.



Livraison d'ordinateurs à Hong-Kong.

Lier l'informatisation aux besoins du développement

Finalement, l'irruption de la micro-informatique accroît les possibilités des pays du tiers monde à exercer leur droit à produire leur propre informatique. Ce droit est en plus une nécessité dans la mesure où des systèmes conçus dans les pays industrialisés et donc adaptés aux besoins et à la réalité de ces derniers, ne le sont pas nécessairement à ceux des pays en développement.
En effet, ces pays ont des besoins et des contraintes spécifiques. Dans la plupart des cas, l'environnement climatique est différent de celui des pays industrialisés ; des problèmes d'alimentation électrique et de qualité des télécommunications se posent ; et enfin – question très importante – la maintenance est loin d'être assurée. D'autre part, dans le domaine des logiciels, les problèmes auxquels ceux-ci doivent répondre sont différents de ceux qui sont posés dans les pays industrialisés.
Il est donc fondamental de définir préalablement les besoins spécifiques, les problèmes que l'on veut résoudre et la manière dont on va le faire, avant de passer à l'informatisation proprement dite.
Dans cette perspective, l'émergence d'une industrie locale de l'informatique dans certains pays du tiers monde n'est pas une illusion destinée à échouer à moyen terme. Parce qu'elle est mieux à même de proposer des produits adaptés aux réalités des pays en développement, cette industrie locale verra sûrement s'ouvrir devant elle de larges perspectives, notamment à travers la création de marchés régionaux et de la coopération avec d'autres pays du Sud.
Finalement, ce scénario offre de larges possibilités de coopération avec des pays industrialisés qui ont en commun le souci de se libérer de l'emprise des constructeurs dominants de l'informatique.

Sergio Vasquez.

Le grand chambardement

Regardez qui décide
Ce joyeux génocide
Qui dirige vraiment
Le grand chambardement

Ciel ce sont les machines
Les machines divines
Qui nous crient en avant
En langue de savant

Que les calculatrices
Sur le feu d'artifice
Alignent leurs zéros
Comme des généraux

Elles ont fait merveille
Bravo pour ces abeilles
Qu'on décore à cette heure
Le grand ordinateur

Guy Béart
(Éditions Espace).

L'éducation du futur

Les ordinateurs, demain, à l'école





L'ordinateur à l'école, au Japon et en France.

Il y avait quelque trois cents ordinateurs dans l'Éducation Nationale en 1969. Il y en a plus de trente mille, dans le seul enseignement initial, quinze ans plus tard, c'est-à-dire aujourd'hui. On en annonce par centaines de milliers pour les années à venir. Il est par conséquent impossible de faire de la prospective quantitative à moyen et long terme.
Voici quelques années, ces ordres de grandeur étaient impensables. Aujourd'hui ils sont réalité. Que sera demain ?

La réponse à cette question est fournie, pour une part, par le nombre d'équipements disponibles dans les établissements. Cela signifie, en effet, que plus de maîtres et plus de jeunes auront l'occasion d'approcher la machine, de se familiariser avec elle. Tous les enfants d'aujourd'hui ne seront pas pour autant plus tard des informaticiens. Mais ils seront presque à coup sûr usagers à un moment ou à un autre de l'ordinateur, et c'est bien que l'école leur donne une leçon sur cette chose moderne. Mais des vocations pourront s'éveiller pour embrasser une carrière où l'on apprendra véritablement l'informatique, discipline assurément complexe et difficile à acquérir si l'on veut en faire un métier.
La seconde partie de la réponse à la question concernant l'informatique à l'école demain se trouve, à mon avis, dans le développement ou la généralisation d'usages que l'on y rencontre déjà. L'ordinateur est déjà instrument de mesure pour l'enseignement de la physique, montreur d'images que l'on anime à volonté pour enseigner les mathématiques ou moniteur pour la manipulation des cartes, en géographie. On verra sans nul doute se développer l'équivalent, pour l'enseignement, de ce que sont les *calcs* à la gestion, ou, plus généralement, les progiciels à un secteur d'activité déterminé. On trouvera ainsi sur une disquette l'ensemble des outils dont un enseignant peut avoir besoin. Et l'évolution des dernières années montre qu'il ne s'agit pas uniquement de ce qu'il est convenu d'appeler des *didacticiels,* c'est-à-dire des logiciels concernant l'enseignement d'une matière. On pourra trouver dans ces « progiciels pédagogiques » des traitements de texte, des gestionnaires de fichiers ou d'emplois du temps, des raccordements à des réseaux ; bref, tout ce qui peut apprendre aux jeunes ce à quoi peut servir effectivement l'informatique dans la vie courante.

Il faut accorder, me semble-t-il, une attention toute particulière à un nouveau genre culturel qui se répand, circule par l'intermédiaire de disquettes repiquées, qui est celui des jeux d'aventure.
L'ordinateur permet, en effet, de lire un texte qui bouge, dans lequel on peut intervenir en résolvant des énigmes, en répondant à des questions, en proposant des choix. De quoi satisfaire, s'ils vivaient encore, Raymond Queneau et Georges Perec, qui ont tant travaillé sur cela. Aujourd'hui c'est l'œuvre de Tolkien qui inspire, et *Donjons et Dragons* sur disquette a un succès qui mérite qu'on s'interroge. *Microb* aussi : c'est un jeu du même type, créé pour les médecins, et qui a un objectif d'apprentissage ; on parcourt le corps humain pour aller détruire les foyers d'infection.
Le jeu circule abondamment, pas seulement chez les médecins, mais aussi chez les jeunes.

Il y a aussi l'intelligence artificielle qui connaît un regain

considérable d'intérêt.
Le fait peut-être le plus déterminant pour l'avenir est que l'on dispose de langages (comme Lisp, Logo et Prolog) et de systèmes experts (MacExpert, Kit IA, par exemple) accessibles à des chercheurs, des enseignants, bref à des utilisateurs non spécialistes de l'informatique proprement dite.
L'objet de l'étude sera de nouveau le raisonnement, la logique, dont l'étude en soi n'a pas pris l'essor que les travaux d'un Lewis Carrol auraient permis d'augurer. Il est d'ailleurs intéressant de constater que, jusqu'à présent, les travaux d'Enseignement Assisté par Ordinateur ont très peu concerné l'enseignement de la logique.

Tous les jeunes ne réagissent pas de la même façon à l'informatique.
Si certains l'adorent, il ne faut pas se cacher que d'autres en ont peur.
Il y a plusieurs raisons à cela et je voudrais ici n'en évoquer qu'une : très souvent, l'abstraction qu'elle représente intimide. Bien des gens sont, en revanche, et cela est significatif, attirés par la robotique, l'automatisation au sens large, la bureautique, etc. : il est plus facile de programmer le mouvement d'un robot, parce qu'on se le représente, que de résoudre des équations.
Il sera donc important dans l'avenir de ne pas oublier que d'autres arts existent, la mécanique notamment.
La mise à jour des connaissances, dans ce domaine en constante évolution, pose des problèmes considérables : celui de la formation des maîtres tout d'abord.
Pourra-t-on se contenter de ne mettre en place que de simples familiarisations, ou bien ne faudra-t-il pas réenvisager, compte tenu du changement d'échelle, des formations spécialisées, pour une partie des enseignants au moins ?

Par ailleurs, les lieux intermédiaires de culture scientifique et technique, les mouvements culturels et pédagogiques, la Cité des Sciences et des Techniques de la Villette, joueront certainement un rôle important en la matière.
Ils constituent sans doute la trame d'un vaste dispositif de communication autour de la science et de la technologie que l'on perçoit encore très mal.

La chose la plus difficile sera, alors peut-être, de donner aux enfants les notions qui leur permettront de comprendre et d'apprécier le changement constant dans ce domaine. En d'autres termes, de leur apprendre à manipuler des notions fondamentales, langages, mémoires, procédures de calcul, etc., qui, heureusement, ne se périment pas aussi vite que les machines qui les illustrent. L'école deviendra alors peut-être un foyer d'invention et d'innovation.

Il est intéressant de constater, de ce point de vue, que la part des crédits de recherche que donne le ministère de l'Industrie pour développer des prototypes va, de façon croissante, dans certaines régions comme la Champagne, à des lycées techniques. Certains d'entre eux, là ou ailleurs, définissent des machines pour l'industrie : le lycée de Lorgues, dans le Var, par exemple.
De quoi redorer le blason de l'école et y donner un sens à la pratique de l'informatique.

Jacques Perriault.

La fièvre du flipper

L'homme s'agite avec frénésie. De la sueur perle sur son front. Son corps se détend puis se tord encore. Son visage est crispé, il semble souffrir, les dents serrées, le regard fixe. Puis, subitement, il se calme, sourit, relève la tête. Le petit cri qu'il pousse est aussi un soupir de soulagement. Ça y est ! Il vient de gagner une partie gratuite sur le flipper du café du coin.
Ailleurs, pendant ce temps, son fils reste silencieux devant un écran. Ses doigts pianotent rapidement sur des touches. Il réfléchit, calcule, manipule une autre touche, pianote encore, regarde l'écran avec attention, puis recommence. Rien ne peut l'arracher à cette machine avec laquelle il communique. Lui aussi, il sourit, se détend, puis, silencieux, s'éloigne. Il vient de détruire l'astronef ennemi ; simplement en jouant pendant quatre minutes avec un jeu électronique, avec le même sérieux et la même aisance qu'en manipulant un micro-ordinateur.
Les flippers, c'est-à-dire les billards électriques, et les jeux électroniques font partie de la même famille, à une génération d'intervalle.
Le billard électrique, né en 1930, doit son succès à la grande dépression économique. Ce jeu nouveau et facile à comprendre a aidé des millions de chômeurs à s'évader du quotidien. Il les a rendus millionnaires... en points. Il les a rendus propriétaires... de parties gratuites un peu plus tard.
Le jeu électronique est lui aussi en prise directe sur une époque qui fait son succès. Il détrône le corps à corps avec une machine au profit de la toute-puissance de l'œil et du cerveau, avec l'assistance du microprocesseur-roi.
Deux jeux, deux époques, deux contextes socio-économiques. Le même succès, dû à l'éternelle quête du délassement, du plaisir et du rêve.
Tout cela pour une simple pièce de monnaie. *Game over. Try again !*

in *Tilt-Psychosociologie du billard électrique,* par Gilbert Rozès.



Informatique et formation

Le grand pari qu'il faudra savoir gagner concerne l'adaptation de l'homme à son cadre de vie. Un aspect prépondérant est lié aux formations *aux* technologies nouvelles *par* les technologies nouvelles. La réduction du stress produit par la conscience de l'ignorance est un impératif social et humain qui peut prendre une dimension économique d'autant plus importante qu'elle concerne des leviers puissants (mais vulnérables) de la société.
Les technologies du traitement de l'information (sous toutes leurs formes) sont concernées. Trois pôles peuvent retenir l'attention.

- Le pôle de la formation initiale et continue, tant du point de vue de la formation générale de base que de la formation professionnelle spécialisée. Depuis les années 1970, la prise de conscience de la nécessité de la formation permanente s'est faite. Presque toujours l'orientation prise a consisté à donner un renforcement technique immédiatement applicable au plan professionnel. Les technologies nouvelles (robotique, productique, bureautique, etc.) nécessitent plus qu'une adaptation. Il s'agit d'une rupture culturelle qui réintroduit la notion de formation de base chez des adultes. En clair, les processus de formation permanente doivent prendre en compte ce type de besoin nouveau.
- Le deuxième pôle est celui du développement généralisé des moyens de communication (messagerie et boîtes aux lettres électroniques), en particulier pour des besoins de formations. Cela concerne les supports d'information les plus riches : transmission d'images sous des formes variées (écrans vidéos, télécopie, etc.). Les techniques (fibres optiques, visio-conférence, etc.) sont pratiquement disponibles. L'organisation des usages reste à faire. Dans une perspective de formation, ce type de moyens doit permettre, à moindre coût, un partage de spécialistes de haut niveau, qui peuvent ainsi redevenir accessibles, l'accès sans risque à des documents vulnérables ou la consultation de banques d'images sur vidéo-disques à partir de tout point du territoire, et enfin la formation à domicile des enfants, des femmes et des adultes en cours de reconversion ou en arrêt temporaire.
- Le troisième pôle concerne la qualité du travail dans la relation pédagogique lors de la formation. Les démarches de pratique active utilisables avec les langages applicatifs nécessitent une qualité et un taux d'encadrement en animateurs relativement élevés et concernent surtout des acquisitions de connaissance de type « savoir-faire ». Les transmissions et vérifications d'acquisition de type « contenu » peuvent se faire avec des dispositifs plus traditionnels nécessitant des rédacteurs de modules d'EAO mais moins exigeants en animation. Ce type de dispositif n'a de chance d'être efficace que si les auteurs (rédacteurs) disposent des moyens et méthodes techniques permettant des dialogues riches (au plan de l'expression comme au plan des contenus) entre le système et l'apprenant. A ce niveau, il apparaît que les techniques de l'intelligence artificielle en général, des systèmes experts en particulier à plus court terme, font des promesses que l'on peut retenir comme intéressantes. Un certain nombre de réalisations ponctuelles ont eu lieu. Le champ d'investigation est immense.

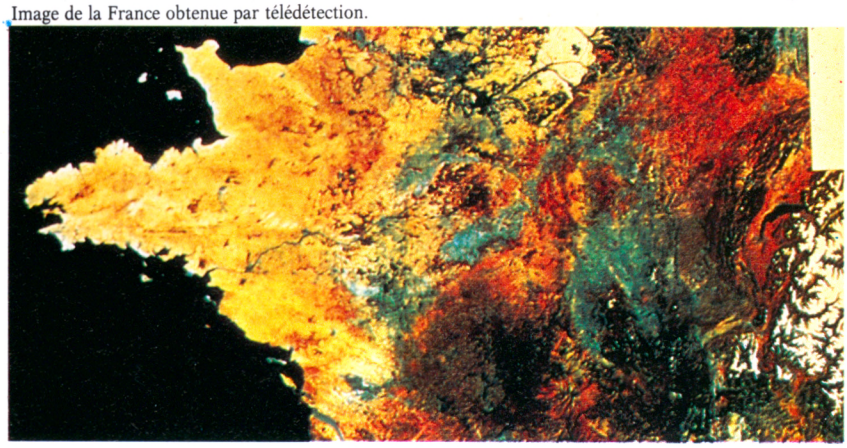
Martial Vivet.

Télédétection

De tous les satellites qui survolent régulièrement nos têtes à quelques centaines de kilomètres d'altitude, il en est dont l'activité d'exploration ne nous laisse pas indifférents : les satellites de télédétection.
Ceux-ci observent la terre en permanence et mesurent le rayonnement émis ou réfléchi par chacun des objets de sa surface. Les informations recueillies sont transmises au sol, traitées et stockées sur bandes magnétiques. Les images numériques qui en résultent peuvent être restituées sur écran ou sur papier photo. Elles sont surtout utilisées pour des traitements sur ordinateur afin d'en tirer des renseignements sur la nature du sol, son occupation, la température, le climat, etc.
Ces données, recueillies sur toute la surface du globe, intéressent les chercheurs en géologie, géographie, économie, agronomie, mais aussi les enseignants de ces disciplines. L'Institut National de Recherche Pédagogique a regroupé certains d'entre eux pour mener une expérience d'introduction de la télédétection dans l'enseignement. Cette expérience intéresse au premier chef les géographes, les naturalistes et les physiciens. L'imagerie numérique étant un domaine de développement croissant de l'informatique, la télédétection est aussi une bonne occasion pour expliquer aux élèves les éléments essentiels du traitement d'images : mesure, numérisation, codage, restitution sur écran ou sur imprimante, transformations (lissage, filtrage), analyse statistique, classification.

François-Marie Blondel.

Image de la France obtenue par télédétection.



X 2000: L'informatique a sa maison

L'Informatique fait partie de notre vie quotidienne. Tous les jours plus familière, elle devient le langage de notre temps : appelée à être comprise et parlée par tous, c'est notre lien concret avec les temps nouveaux, c'est développer notre capacité de communiquer, c'est stimuler notre aptitude naturelle à créer, notre besoin de savoir.

Nouvel élément de notre culture, l'informatique est à votre portée grâce à un réseau dynamique : les Centres X 2000.

Leur vocation : sensibiliser, informer, initier...

Leurs moyens : des animateurs compétents, une gamme étoffée d'ordinateurs et de terminaux informatiques, une foule de programmes et l'accès à toute une palette de banques de données, à une médiathèque complète (livres, revues, cassettes audio-visuelles...) à un réseau télématique mutuel d'information et d'assistance entre les centres.

Vous pouvez ainsi y trouver, par exemple, une première approche concrète de l'informatique en vous initiant à ses techniques et ses usages dans vos loisirs, chez vous, sur votre lieu de travail.

Les Centres X 2000 vous proposent ainsi de multiples prolongements aux émissions télévisées d'initiation informatique : voir et revoir ces émissions, les reprendre point à point avec les animateurs des Centres qui vous apporteront les explications et développements complémentaires souhaités ; vous reprendrez avec eux les éléments de programme étudiés et pourrez vous exercer sur le matériel du Centre...

Vous pouvez en effet aussi plus généralement utiliser sur place tous les équipements du Centre et ses logiciels pour tous vos propres problèmes ou tout simplement satisfaire votre curiosité, vos besoins d'enrichissement intellectuel, culturel ou encore y exercer votre créativité naturelle en produisant vos propres programmes.

Si vous êtes déjà mordu, vous n'en démordrez pas. Si vous ne l'êtes pas encore, vous aurez vite la puce à l'oreille. L'informatique c'est simple, c'est drôle, c'est passionnant et c'est utile. Ça fait tilt.

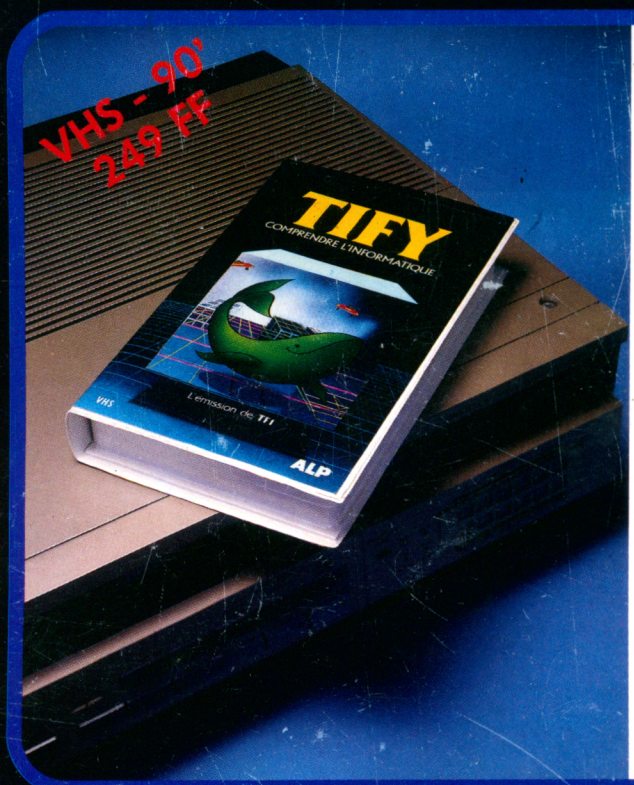
A la joie d'apprendre s'ajoute le plaisir d'inventer. On peut jouer, dessiner, concocter des stratégies, composer de la musique, réfléchir et agir ensemble.

Avec X 2000, les "puces", les éléments de base de l'ordinateur, sont à portée de la main.

Pour tous renseignements : Fondation X 2000 - 13, place des Corolles
Paris La Défense 2 92400 Courbevoie – Tél. (1) 773.64.07

X2000

LCA



LES CASSETTES VIDEO DES EMISSIONS TIFY SONT VENDUES PAR CORRESPONDANCE.

TIFY
L'émission de TF1

Déjà disponibles :

La cassette N° 1 - 90' VHS
- L'OUTIL
- LES MEMOIRES
- LES PROGRAMMES

La cassette N° 2 - 90' VHS
- LES IMAGES
- LES SONS
- LES JEUX

La cassette N° 3 – 90' VHS
- LA BUREAUTIQUE
- LES FICHIERS
- LES RESEAUX

La cassette n° 4 – 90 VHS
- LES ROBOTS
- LES SYSTEMES EXPERTS
- LA PROSPECTIVE

Pour les commander, il vous suffit d'écrire à TF01-TIFY, 83, boulevard du Montparnasse 75006 PARIS et de joindre votre règlement libellé à l'ordre de TF01, soit 249 FF par cassette, plus 30 FF de frais de port.

Toute commande non accompagnée de son règlement ne sera pas honorée.
Compter quatre semaines de délai de livraison.

TF1

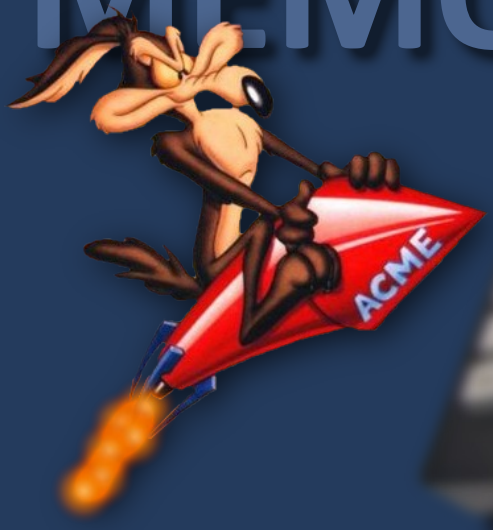
TÉLÉVISION FRANÇAISE 01
PRODUCTEUR EXÉCUTIF DE LA SÉRIE ... S'IL TE PLAÎT, RACONTE-MOI UNE PUCE"
SERVICE VIDÉOTEXTE : (3) 615.91.77 "TV INFO"
83, BOULEVARD DU MONTPARNASSE A PARIS 6e



Document numérisé avec amour par :

AMSTRAD CPC

MÉMOIRE ÉCRITE





https://acpc.me/