

MODÉLISER ET SE REPRÉSENTER LES SYSTÈMES AUTOMATIQUES

Ricardo Romero

Savoir comment fonctionne un système automatique permet de l'utiliser au mieux. Une étude à caractère systémique met en évidence le processeur central des systèmes automatiques : l'ordinateur. Une "adaptation didactique" permet de préciser les bases de l'enseignement décrit, qui est actuellement dispensé dans certaines écoles primaires et au cours de stages de formation continue pour les Collèges, sous l'impulsion de quelques écoles normales.

On montre que, sur le plan didactique, à chaque niveau d'enseignement correspond une série d'activités permettant l'élaboration de modèles pertinents de systèmes automatiques. Dans le primaire et le premier cycle du secondaire, l'utilisation de systèmes robotisés permet la mise en évidence de mémoires et de circuits d'entrée-sortie. L'étude des circuits intégrés et de leur fonctionnement facilite la compréhension des microprocesseurs. Des réalisations matérielles servent de support aux divers modèles de circuits utilisés.

La technologie actuelle fait de plus en plus appel à des systèmes automatiques. Ceux-ci utilisent des circuits électroniques intégrés. On aboutit ainsi à des machines que l'on ne peut comprendre par simple observation, ou en utilisant des concepts élémentaires. Faut-il pour autant laisser la compréhension de ces machines aux seuls spécialistes ? Peut-on faire acquérir à chacun un savoir sur ce sujet, savoir ayant un réel caractère opératoire ?

A partir d'une étude des systèmes automatiques nous montrons que moyennant une pédagogie appropriée, chacun peut se forger des modèles qui lui permettront de mieux comprendre et maîtriser des systèmes.

1. RECHERCHE DES NOTIONS A ENSEIGNER

Introduire une culture scientifique et technique dans un enseignement non professionnel pose au moins le problème de son utilité : à quoi cela sert-il ? Ne peut-on utiliser la technique sans en connaître tous les arcanes ? Les développements récents en ce domaine montrent qu'il est difficile de se comporter en simple consommateur sans éclairage (que l'on pense à l'utilisation prolifique du nucléaire, aux énergies renouvelables, par exemple), et qu'il est plus que souhaitable de posséder quelques éléments de culture technique pour pouvoir exercer ses droits de citoyen. Et cet aspect, bien que souvent tu, devait être mis

en avant par les responsables des programmes, qui ne peuvent ignorer la situation plus que préoccupante de l'enseignement, surtout élémentaire, à cet égard. Mais, peut-on répliquer, que peuvent de jeunes enfants comprendre à la technique ? De même que s'introduit une différence entre ceux qui manient le français avec facilité et les autres, de même s'introduit une différence entre ceux qui savent utiliser l'informatique et les autres, or les enfants ne sont pas les derniers demandeurs ! Sans chercher à convaincre d'enseigner quelque chose de l'informatique, mon intention est de pointer le savoir qui peut être enseigné, en relation avec ce qui se fait dans la réalité sociale, en regardant en particulier du côté des automatismes. Mais commençons par forger un "modèle" de l'automatisme, pour essayer d'en dégager les éléments d'un modèle à proposer aux apprenants.

1.1. Le problème à résoudre

une adaptation
du "savoir savant"
pour en faire un
objet
d'enseignement
est nécessaire

Que faut-il "savoir" pour comprendre le fonctionnement des systèmes automatiques tels qu'ordinateurs, robots, réseaux d'ordinateurs ? Telle est la question que l'on doit résoudre pour organiser un enseignement de l'informatique dans la perspective annoncée plus haut. C'est donc aux concepts et aux modèles rendant intelligible l'informatique que nous nous attacherons ici. Plus particulièrement, c'est la partie matérielle des systèmes informatiques plutôt que l'aspect logiciel qui retiendra notre attention.

1.2. Une certaine forme d'adaptation didactique

Bien que cette "adaptation didactique" s'inspire de la "transposition didactique" de Chevallard, nous entendons simplement regarder l'adaptation d'un savoir de niveau baccalauréat de technicien au niveau du primaire et du premier cycle du secondaire. Le savoir savant qui contribuerait à résoudre notre problème répond à une problématique précise :

- la construction d'ordinateurs,
- l'amélioration de l'adéquation des machines au marché,
- le gain de vitesse et de puissance, etc....

Dans le domaine didactique, on se propose justement de faire acquérir par les apprenants, que ce soit les élèves de CM 2, les instituteurs en formation initiale ou continue, ou des enseignants du premier cycle du secondaire, les éléments rendant compréhensible la problématique précédente. On exposera donc ici les notions techniques sur le plan qualitatif. Nous préférons les synthèses aux descriptions détaillées qui intéresseraient surtout les spécialistes. Ainsi nous privilégierons des modèles dont l'intérêt est surtout didactique.

Notre idée dans les pages qui suivent est de fournir des éléments qui soient compréhensibles par le plus grand nombre.

1.3. Le choix d'éléments pertinents

Afin de déterminer les éléments qui doivent entrer dans notre description des systèmes informatiques, diverses méthodes sont possibles.

en s'inspirant de la systématique on détermine les éléments du savoir à enseigner

La première consisterait à rechercher un peu au hasard ces divers éléments puis à tester leur pertinence lors de la réalisation de divers montages. Ce que nous avons fait. Cette méthode n'est guère généralisable. Nous avons également utilisé la méthode de description préconisée par Le Moigne, dans "La théorie du système général" et, qui, elle est généralisable. C'est donc cette dernière que nous exposerons. Le Moigne signale que toute description doit s'organiser autour de trois pôles :

- le pôle génétique qui replace le système dans une perspective historique.
- le pôle fonctionnel qui permet de prendre en compte l'aspect finalisé (ou téléologique) du système.
- le pôle ontologique qui prend en compte la constitution du système.

Mais comme le signale Le Moigne, toute description est forcément incomplète, ne serait-ce qu'à cause du non achèvement de la Science. Cela n'est pas contradictoire avec une volonté d'objectivité, c'est plutôt reconnaître que toute description privilégie un aspect des choses et qu'il vaut mieux en être conscient. La description ontologique est donc finalisée et subjective. Nous avons indiqué quel était notre projet.

1.4. L'aspect fonctionnel des systèmes automatiques

l'aspect fonctionnel fait apparaître le rôle primordial de l'ordinateur

La description des systèmes automatiques à travers ce pôle va favoriser la mise en évidence de leurs éléments essentiels.

Si l'on considère que l'automatisme a trouvé des raisons de son développement dans le domaine des productions industrielles, il n'est pas illégitime de s'en faire une idée à l'intérieur de ce cadre, idée que l'on peut synthétiser dans le tableau ci-après (figure 1).

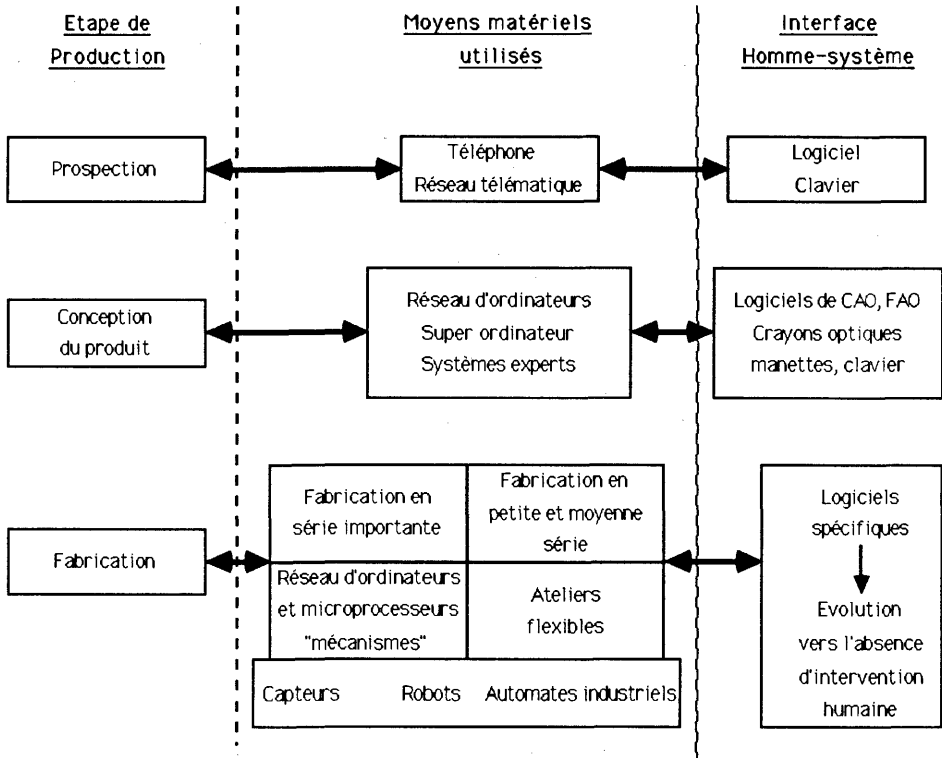


Figure 1 : Situation générale des systèmes automatiques dans un processus de fabrication.

Remarquons que l'automatisme n'intervient pas uniquement au niveau fabrication (gestion de mécanismes), mais également au niveau conception sous forme d'utilisation d'ordinateurs. Une part importante du modèle que nous devons forger sera constitué par des notions sur l'ordinateur, puisqu'il va se trouver au centre du modèle et qu'il sera la cause la plus importante de blocage chez les apprenants. Et ce n'est pas l'architecture de l'un d'entre eux qu'il faudra mettre en avant, compte tenu de la très grande variété des exemples⁽¹⁾, mais bien les éléments de base de l'espèce, dont la présence est nécessaire à la gestion des mécanismes.

(1) Certaines séries sont modulables au point que chaque utilisateur peut construire, en fonction de ses besoins, son unité personnelle (c'est le cas de la série 3090 d'IBM).

Nous n'ignorons pas bien entendu que tous les automatismes ne sont pas fondés sur l'utilisation de l'ordinateur. De simples circuits intégrés font encore très bien l'affaire. De même il est possible de réaliser des automatismes à l'aide de systèmes pneumatiques. Mais il est assez évident que la tendance est à l'utilisation de microprocesseurs, voire de microcontrôleurs qui sont de petits ordinateurs placés dans un même boîtier. C'est donc les principes régissant les ordinateurs qui seront exposés ici.

1.5. L'aspect génétique

Il semble que ce soit pour faire une référence à l'histoire des techniques que nous ayons introduit ce paragraphe. En fait, il n'est rien. La méthode de Le Moigne attire l'attention sur les problèmes suivants :

- à partir de quel moment peut-on dire que les principes mis en œuvre dans nos ordinateurs sont apparus ?

- quel est l'environnement Scientifique, Technique, Social qui a rendu possible l'opérationnalité de ces principes ?

Répondre à la première de ces interrogations revient à identifier les concepts liés à l'ordinateur qui ont survécu après "sélection naturelle". Nous voyons que nous sommes là en train de repérer les éléments de la description ontologique. On évite par cette méthode de commencer la genèse de l'ordinateur par celle du boullier chinois qui n'a finalement qu'un très lointain rapport avec lui.

La réponse à la deuxième interrogation aura une utilité dans le cadre de la mise au point d'une stratégie d'enseignement. En effet, elle permet de situer les notions que nous nous proposons d'exposer à l'intérieur d'un champ conceptuel qui leur donne une signification.

Après ce justificatif à notre méthode, voyons les résultats. Le "marqueur" qui nous servira à déterminer la naissance de l'ordinateur sera le moment où il a profondément modifié la société. On peut situer ce moment aux environs des années soixante dix. En effet, pour la première fois, on utilise des microprocesseurs. Ceux-ci sont en fait des ordinateurs à faible capacité de mémoire. Ce qui permet, entre autres, l'utilisation facile des microordinateurs et leur faible consommation électrique.

Cela suppose l'utilisation de **circuits intégrés**. L'utilisation de circuits intégrés est en quelque sorte une révolution dans la façon de réaliser des circuits de petite puissance.

Avant l'utilisation de ces circuits, l'électricien devait pour réaliser une **fonction** donnée assembler des composants (dits composants discrets) dont aucun n'avait été prévu pour réaliser la fonction en question. Avec l'utilisation des circuits intégrés, on peut commander au fabriquant le circuit effectuant la fonction désirée. En quelque sorte le problème de la construction des circuits devient un problème d'analyse des diverses

l'aspect
génétique
permet de
dégager les
caractéristiques
de l'ordinateur
actuel

la reprogrammabilité de l'ordinateur sans modification importante de la structure matérielle de l'ordinateur est une caractéristique essentielle de celui-ci

fonctions à réaliser. Le montage de circuits de faible puissance est alors considérablement simplifié.

L'avantage décisif du microordinateur est sa souplesse d'utilisation. C'est sans doute la première fois que l'on peut modifier ce que fait une machine sans modifier profondément sa structure matérielle. Ce qui était le cas des ordinateurs à programme câblé. Il s'agit là d'une véritable rupture technologique dont on se souviendra lors de la mise au point de la stratégie d'enseignement.

La dernière notion qui nous semble fondamentale est celle de **programmabilité** ou plutôt de **reprogrammabilité** de la machine. Il y a là deux notions :

- celle de programme enregistré qui fait allusion aux machines dites de Von Neumann,
- et bien entendu, celle de possibilité matérielle d'enregistrement et de modification d'un programme sans modification apparente notable. Nous retrouvons ici les circuits intégrés ou simplement le **transistor**.

A côté de ces notions qui ont en quelque sorte fait le succès de l'ordinateur, se trouvent des champs de connaissances plus anciens tels que celui de l'algèbre de Boole. Mais aussi l'émergence de l'informatique a mis en évidence les notions d'information et de traitement de l'information comme cela a déjà été signalé par ailleurs ⁽²⁾.

1.6. Le pôle ontologique

le pôle ontologique permet de définir entre autre des structures décrivant l'ordinateur

Dans ce paragraphe, afin de faciliter la compréhension, nous adoptons un mode d'exploitation linéaire. L'idée centrale est la suivante : les notions dégagées précédemment suffisent à comprendre de façon globale le fonctionnement des systèmes automatiques. A ces notions, il faut ajouter la suivante : il existe une structure, que nous décrirons par la suite (nous l'appelons structure 1), à laquelle on peut rapporter la plupart des systèmes automatiques. Il suffit donc de savoir utiliser cette structure et de l'adapter pour en faire une "grille de lecture" des systèmes automatiques.

Au cours de ces pages, nous construirons un certain nombre de **structures** (basées sur la structure précédente) qui nous permettront de décrire les divers systèmes informatiques.

- Recherche d'une description de l'ordinateur : l'environnement logico-mathématique

Le codage des informations dans un ordinateur se fait au moyen de deux niveaux de tension (0 et 5 volts) en général. Cela explique le fait (ou provient du fait ?) que la mathématique utilisée pour concevoir les ordinateurs est basée sur l'algèbre de Boole. Celle-ci attribue à chaque proposition des valeurs logi-

(2) Voir l'article de J. Toussaint dans ce numéro d'ASTER

un ordinateur est un agencement (d'un très grand nombre) de portes logiques

ques (0 ou 1, ou bien Vrai ou Faux). Ces valeurs sont manipulées à l'aide d'opérations (comme ET ou OU), et l'on démontre que toutes ces opérations sont des combinaisons de la seule NON-ET (NAND pour les anglicistes) : à l'extrême, on peut avancer que la réalisation d'un ordinateur consiste à agencer convenablement des fonctions NON-ET, qui se retrouve en tous cas dans nombre de montages simples d'électronique. De telles associations permettent la création de circuits additionneurs, comparateurs, négateurs... et des mémoires, qui suffisent pour la résolution de presque tous les problèmes de calcul. Tous ces circuits possèdent des entrées (on envoie des signaux électriques sur ces entrées), et des sorties (on recueille d'autres signaux, traités en sortie).

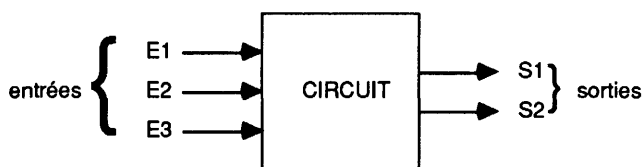


Figure 2

deux groupes généraux de circuits : combinatoire et séquentiel

D'une façon générale, il existe deux grands groupes de circuits :

- les circuits combinatoires, que l'on obtient en reliant divers circuits élémentaires (ET,OU), mais sans jamais relier une entrée d'un circuit à la sortie qu'elle commande, tel l'exemple ci-dessous :

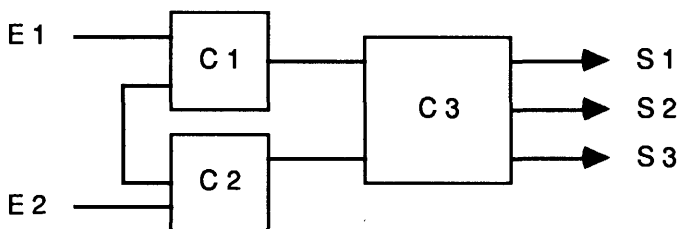


Figure 3 : Circuit combinatoire

- les circuits séquentiels que l'on obtient, au contraire, en reliant certaines entrées aux sorties qu'elles commandent :

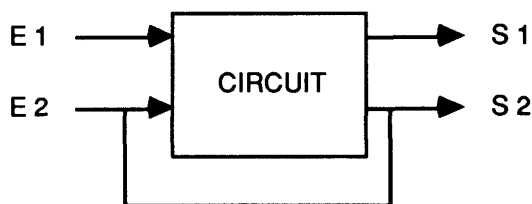


Figure 4 : Circuit séquentiel

L'état électrique des circuits résultants dépend alors non seulement de l'état des entrées mais aussi de l'état des sorties, en quelque sorte ces circuits "se souviennent" de ce qui leur est arrivé avant !

Les circuits combinatoires servent à réaliser des additionneurs, comparateurs, etc. , les circuits séquentiels servant à la réalisation de mémoires (d'ordinateurs). ⁽³⁾ Nous avons là les "briques" qui fondent la science de l'informatique, donc les premiers éléments de notre modèle :

Circuits logiques
Circuits séquentiels et combinatoires
Associations de circuits NAND

Ces "briques", par leur association vont former divers modèles d'automates.

- Les automates

La notion d'automate a une signification intuitive, qu'il n'est pas besoin de préciser ici, et sur le plan théorique on distingue toute une faune de ces êtres : une hiérarchie en a été proposée par Chomsky. Nous ne parlerons que des deux qui sont à la base de l'ordinateur, le fini déterministe, et le fini déterministe à mémoire.

a) L'automate fini déterministe

Un bon exemple de tel automate est fourni par le programmeur de machine à laver. Dans certains cas c'est un simple circuit électronique avec des entrées sur lesquelles sont branchés des interrupteurs, et des sorties qui commandent des moteurs. Supposons que cette machine possède deux programmes que l'on fait exécuter en agissant sur les interrupteurs I_1 et I_2 : le programme mis en marche par I_1 comporte un prélavage, un lavage et un séchage, celui mis en marche par I_2 , un séchage seulement. Notre programmeur "reconnaît" certaines situations (Si = situation) :

$Si_1 = \{ I_1 \text{ ouvert ; } I_2 \text{ fermé } \},$
 $Si_2 = \{ I_1 \text{ fermé ; } I_2 \text{ ouvert } \},$
 $Si_3 = \{ I_1 \text{ ouvert ; } I_2 \text{ ouvert } \}.$

la machine à
laver, exemple
d'automate fini
déterministe...

(3) Voir à ce sujet la série d'études parues dans *Microsystèmes* en 1985.

Dans chacune de ces situations il sait comment agir. Par contre il ne "reconnait" pas

$Si_4 = \{ I_1 \text{ fermé} ; I_2 \text{ fermé} \}$,

car il ne "saurait" comment agir (deux programmes demandés en même temps). Si_1 , Si_2 , Si_3 sont les éléments du langage reconnu par l'automate. La reconnaissance de certains éléments de son langage par l'automate, disposés à son entrée, produit sur ses sorties des effets tels la mise en marche des moteurs. Un tel automate est donc un traducteur de langage codé électriquement. Les sorties de cet automate (programmeur) commandent un nombre fini (c'est à dire non infini) d'actions (prélavage, lavage, séchage,...) : à chaque élément de son langage correspond une série d'états bien précis ; c'est pourquoi il est qualifié de déterministe. Pratiquement, l'automate fini déterministe est un circuit séquentiel dont certaines parties sont très simples, et qui se comporte comme un "traducteur" de langage.

b) Automate à mémoire

Si l'on cherche à décoder un "langage électrique" plus compliqué, le système précédent va vite devenir d'une complexité incontrôlable. La solution consiste alors à utiliser des mémoires, analogues électroniques des dispositifs à relais qui encombraient des armoires entières au temps du câblage. Une bonne image peut en être donnée par ce que les techniciens appellent une matrice de diodes, et que schématiquement on peut représenter par la figure 5 :

une matrice de diodes schématise un automate à mémoire

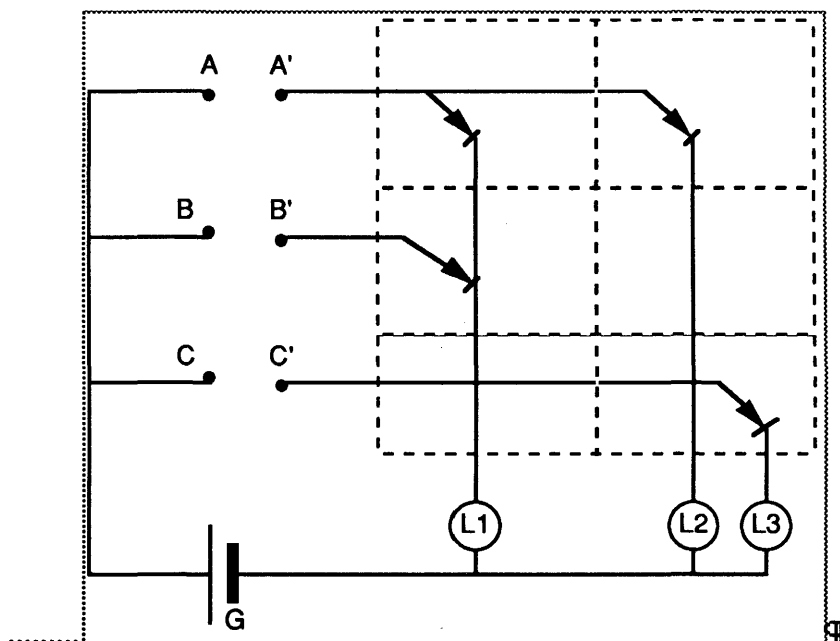


Figure 5 : matrice de diodes

la lecture du schéma est la lecture d'un programme

Si l'on relie successivement A à A', puis B à B', puis C à C', L1 et L2 vont s'allumer, puis L1, puis L3 : comme dans le cas de l'automate précédent, nous réalisons séquentiellement un certain nombre d'actions. En adjoignant au dispositif ci-dessus un compteur programmable, les connexions se réaliseront automatiquement. Certains programmeurs de machines à laver (pour poursuivre l'analogie) sont ainsi organisés autour de matrices de diodes de ce type... mais avec plusieurs milliers de lignes au lieu des trois du schéma, et huit colonnes, chaque ligne étant repérée par un nombre qualifié d'adresse ; chacune de ces lignes est, comme ci-dessus, connectée ou non par une diode à une colonne. Les connexions AA', BB', CC',... sont assurées par un circuit, appelé compteur-décodeur qui, à un signal reçu en entrée (au niveau de l'interrupteur I1 par exemple), connecte successivement les lignes en sortie (L1 puis L2, puis L3,...etc) à chaque impulsion de l'horloge. On obtient ainsi, sur chaque colonne, les différents signaux codés par les diodes de la matrice : on exécute un programme, contenu dans la matrice, la mémoire morte du dispositif. Ce sont là les éléments fondamentaux d'un système informatique.

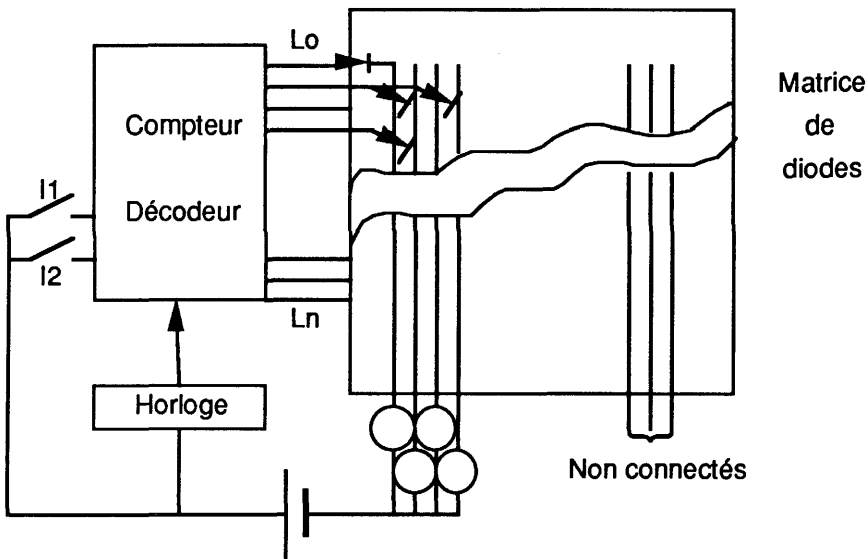


Figure 6

Sur la base d'un tel schéma, on pourra réaliser des mémoires "effaçables" ⁽⁴⁾ et réinscriptibles : elles servent à fabriquer des "registres" et des mémoires vives, où un utilisateur peut écrire son propre programme, mais l'utilisation dans ce cas ressemble à celles des mémoires mortes.

(4) Les éléments de telles mémoires peuvent être simulés à l'aide de bascules, formées de deux portes NAND.

Les éléments de notre modèle commencent à se préciser :

Automate fini déterministe = décodeur de langage,
Mémoire morte = programme codé,
Mémoire vive = programme codé ou registre de travail
d'un ordinateur.

c) Une association de l'automate fini et de l'automate à mémoire : l'ordinateur actuel

Les ordinateurs que nous connaissons aujourd'hui sont conçus comme des machines de Von Neuman, et répondent au schéma suivant, tel que le présentent B. Meyer et C. Baudouin⁽⁵⁾ (les éléments de communication avec l'extérieur sont rajoutés par nous) :

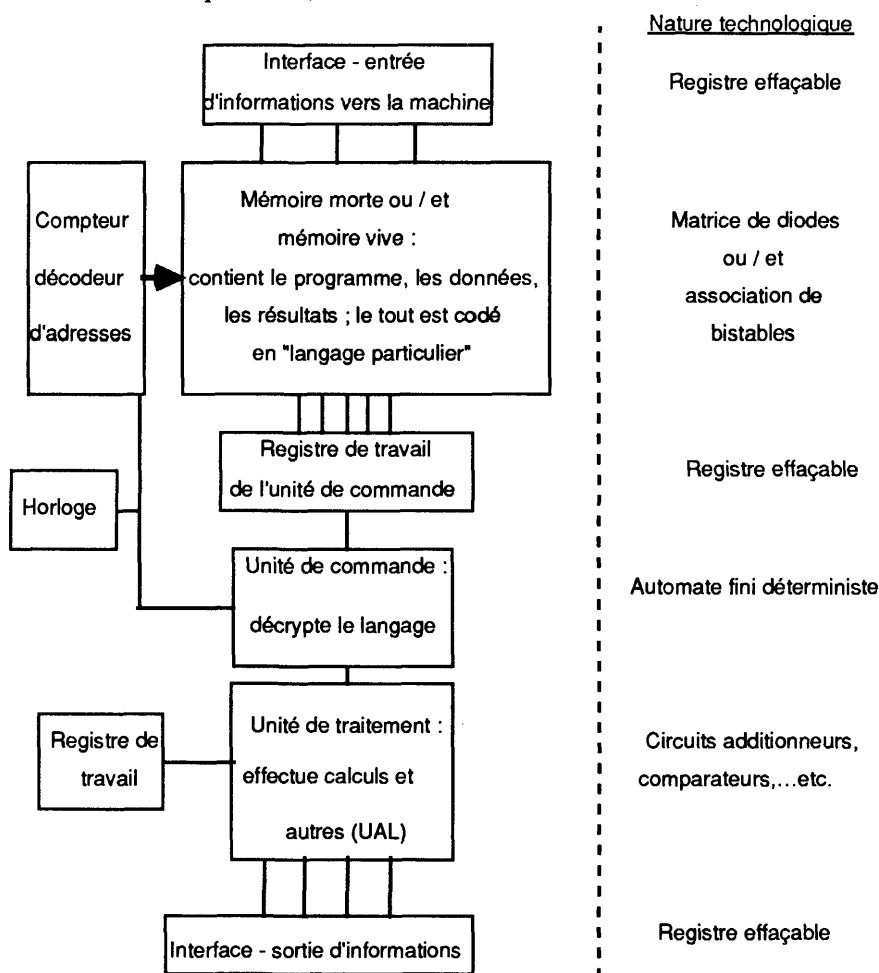


Figure 7 : Diverses parties de l'ordinateur et fonctions assurées.

(5) B. MEYER et C. BAUDOUIN . *Méthodes de Programmation* .
Collection de la Direction des Etudes et Recherches . EDF . Paris.

l'ordinateur,
automate fini à
mémoire

Dans cet ensemble, la mémoire morte (et / ou vive) contient la suite des "codages électriques" (diodes ou bascules) qui constituent les éléments du langage que reconnaît l'unité de commande (automate fini déterministe). Les sorties de ce dernier commandent une série de circuits (additionneurs, comparateurs,...) qui effectuent les opérations. L'ensemble de ces circuits constituent l'unité de traitement ou UAL (unité arithmétique et logique). Les diverses connections nécessaires aux travaux de la mémoire sont effectuées par le compteur-décodeur d'adresses. Des registres particuliers appelés interfaces (ou buffers) permettent de relier le système avec d'autres appareils. Si cette description de l'architecture d'un ordinateur n'est pas unique, on retrouve dans toutes les notions de mémoire, d'unité de commande (donc d'automate fini), d'unité de traitement (aux fonctions arithmétiques et logiques) et d'interface. Ce sont les éléments incontournables de tout modèle.

- Utilisation de ce modèle pour la compréhension de systèmes industriels

Le modèle qui vient d'être progressivement élaboré ne peut être valide que s'il peut s'appliquer à une description conforme de systèmes réels : regardons pour cela trois types de systèmes.

a) Automate programmable, construit autour d'une mémoire morte

du côté industriel,
on trouve des
automates
programmables,

Un tel automate⁽⁶⁾ est constitué d'une carte mémoire programme (mémoire morte), à laquelle s'ajoute une carte unité de traitement, et des cartes entrées-sorties : ce sont les interfaces. Notre schéma semble correct, si ce n'est que l'automate industriel doit commander des moteurs et vérins utilisant des courants bien plus importants que notre ordinateur : il faut donc rendre compatibles les deux types de courants (on dit "adapter"), et c'est le rôle d'interfaces de puissance. L'ajout de capteurs, informant l'ordinateur des événements extérieurs complète le schéma :

(6) Nous prendrons comme référence l'exemple de l'automate SMC 101, de la société Mécanique de Castres, tel qu'il est décrit dans sa notice.

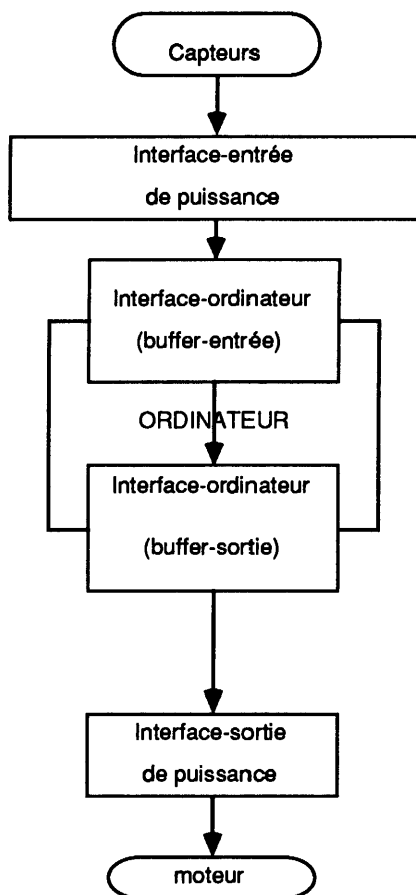


Figure 8

b) Automate programmable organisé autour d'un microprocesseur

Beaucoup d'automates réels sont de ce type, et il suffit d'analyser le microprocesseur lui-même. Nous ne prendrons pas un cas précis, mais tous les exemples cités dans la littérature spécialisée permettent de reconnaître une unité de contrôle, une unité arithmétique et logique, une mémoire, une horloge, un décodeur d'adresse et des "tampons" qui sont les interfaces précédentes. Les "bus" sont les connections reliant les éléments entre eux : un microprocesseur n'est autre qu'un ordinateur miniaturisé à l'extrême (dans les limites actuelles) sur une "puce" de silicium, auquel on a ajouté une mémoire externe. Notre représentation du système automatique, dans ce second exemple comme dans le premier, est toujours valide.

ou des systèmes
automatiques
reliant des
ordinateurs...

c) Les systèmes automatiques à intelligence répartie

Ce vocable un peu barbare désigne des systèmes où plusieurs ordinateurs sont interconnectés. Le modèle décrit permet encore d'appréhender ces systèmes, en soulignant que les interfaces d'entrée-sortie sont des éléments de mémoires effaçables (RAM). Le programme qu'exécute l'ordinateur est initialement contenu dans sa mémoire, par conséquent changer le contenu du registre interface-entrée modifie l'exécution en cours et donc le comportement de l'ordinateur : il s'agit d'une rétro-action (feedback) :

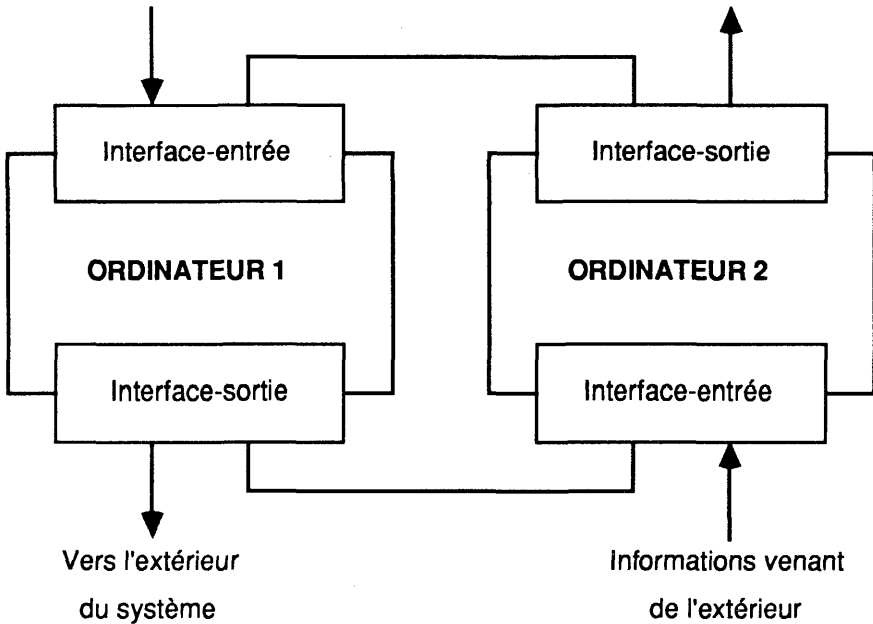


Figure 9

Dans une telle combinaison, l'ordinateur 1 évolue suivant son propre programme mais aussi suivant les informations reçues par son interface d'entrée, c'est à dire l'interface de sortie de l'ordinateur 2 : les deux ordinateurs dialoguent et, vus de l'extérieur, se comportent de fait comme un seul système. Nous avons ici le schéma de base d'un réseau d'ordinateurs qui préfigure les conceptions futures, qualifiées parfois de super-ordinateur ⁽⁷⁾.

(7) C'est du moins la vision présentée dans *La Recherche* dans son numéro de Novembre 1988 (n° 204).

d) Le cas des robots

et surtout des robots

Machines mythiques du vingtième siècle ? Les schémas que nous avons présentés jusqu'ici sont en fait ceux de robots, et Von Newman utilisait ce terme pour qualifier ce qu'aujourd'hui chacun appelle ordinateur. Pour coller à la réalité industrielle, il suffit d'admettre que l'ordinateur central d'une machine peut être constitué d'un réseau ⁽⁸⁾. Toutefois il faut préciser que les "ordres" envoyés par l'ordinateur aux moteurs ne sont pas toujours suivis fidèlement puisque ces moteurs sont généralement des moteurs asservis, se régulant en grande partie eux-mêmes pour s'adapter aux consignes ; les informations transmises à l'ordinateur, d'autre part, doivent être binaires pour pouvoir être exploitées par celui-ci, et l'interface-entrée comporte alors un convertisseur analogique-numérique. Mais à ces précisions près, notre modèle reste toujours valide.

2. MISE AU POINT DÉFINITIVE DU MODÈLE

prendre tout en compte, conduit à un modèle complexe

Un modèle de l'informatique qui chercherait à être complet est, à l'heure actuelle, impossible à énoncer car il devrait prendre en compte la quasi-totalité des connaissances humaines.⁽⁹⁾ Il faut donc nous arrêter à un certain niveau sur lequel sera basé notre enseignement. Ce modèle, organisé autour d'un noyau central, l'ordinateur, comporte un grand nombre d'"atomes" reliés au noyau, à la manière d'un réseau cristallin :

(8) Les ingénieurs, entre eux, font référence à des schémas de ce type comme nous l'a confirmé un ingénieur de la société ACMA.

(9) La notion de langage renvoie à la notion de type de langage, de logique formelle, donc d'axiomatisation des mathématiques. La partie matérielle renvoie à la physique du solide, donc à la mécanique quantique. De même les recherches sur d'éventuels ordinateurs biologiques, renvoient à la biologie. Les notions d'interface homme - machine renvoient à la psychologie et à l'ergonomie (cf page suivante).

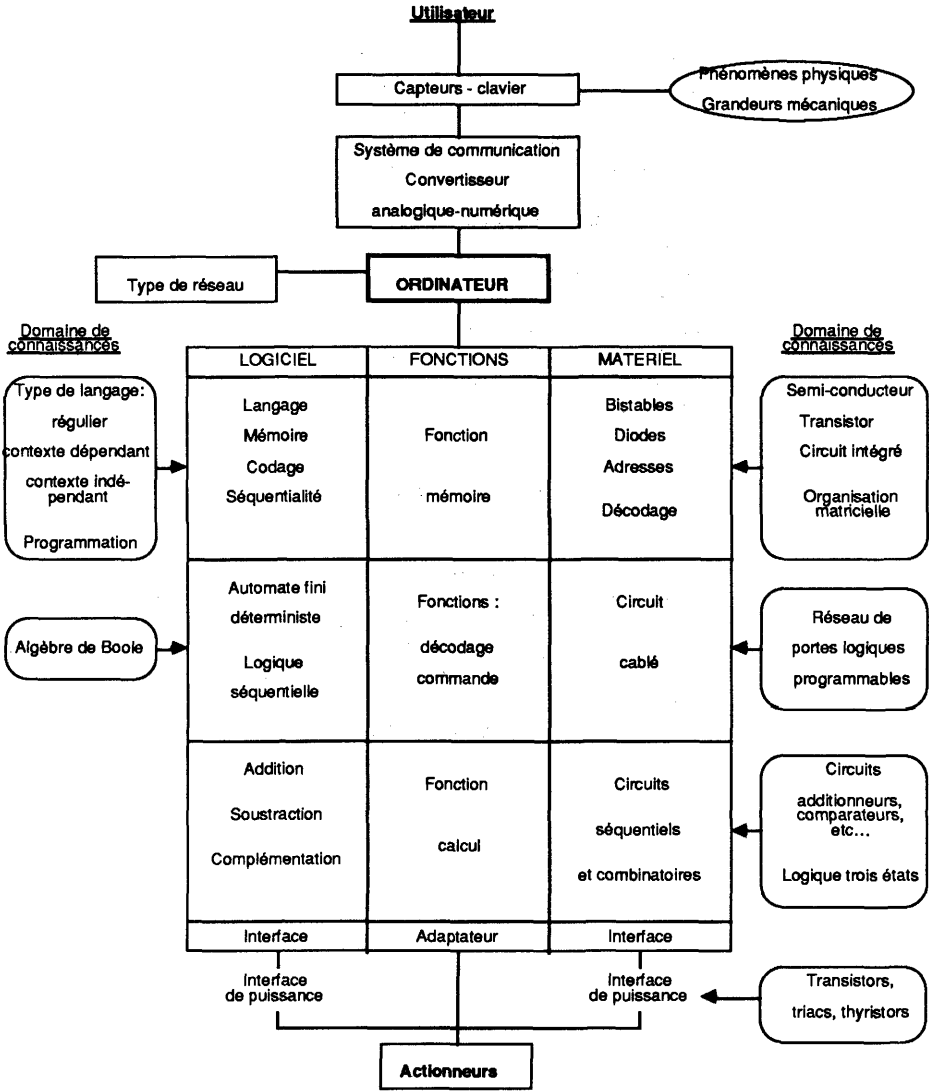


Figure 10

Ce modèle, tel qu'on peut le lire sur ce schéma, est organisé suivant plusieurs axes :

- un axe vertical, de l'utilisateur vers les actionneurs qui se sépare au niveau de l'ordinateur en deux axes parallèles, l'un côté logiciels, l'autre côté matériel, dont la rencontre contribue à la réalisation d'une fonction, indiquée entre les deux,

- un axe horizontal droite-gauche précisant, pour chaque fonction les connaissances d'ordre physique mises en jeu,
- un axe horizontal gauche-droite indiquant l'intervention des connaissances d'ordre mathématique.

La structure en réseau de ce schéma concrétise la complexité du savoir informatique, et montre que la connaissance de ce domaine ne peut se réduire à la simple connaissance de la "structure" de l'ordinateur, mais doit aller de pair avec des connaissances des domaines des mathématiques et de la physique. En d'autres termes, la représentation de l'informatique que doit avoir l'enseignant ne peut être une simple image, mais être constituée par un ensemble de représentations interconnectées.

3. EXEMPLES DE SITUATIONS DANS LESQUELLES PEUVENT SE FORMER DES REPRÉSENTATIONS SUR LES MACHINES AUTOMATIQUES

3.1. Remarque préliminaire

l'utilisation d'une
approche
cartésienne ou
systémique
dépend du
niveau de
formulation utilisé

On aura remarqué que nous avons adopté dans l'exposé de la structure de l'ordinateur une démarche de type cartésien.

Nous sommes partis d'éléments "simples" que nous avons combinés. On retrouvera ce type d'opération dans les applications didactiques. A une telle démarche on pourrait opposer une démarche de type systémique qui chercherait à établir un modèle de l'ordinateur à partir de ses interactions avec le milieu. L'approche systémique se justifie dans le cas de systèmes très complexes dont le comportement **global** n'est pas déductible du comportement de ses composants. Par exemple, l'évolution d'une ville n'est pas humainement déductible du comportement de chacun de ses habitants pris séparément. Tel n'est pas le cas de l'ordinateur. En effet, l'ordinateur est un objet rationnellement conçu dont les "rouages" sont parfaitement connus des spécialistes.

Une approche de type cartésien est donc légitime et même indispensable dans le cursus de découverte de l'informatique. Nous utiliserons toutefois une démarche systémique, lorsqu'elle correspondra à un niveau de formulation adapté à un certain niveau d'enseignement. Par exemple, au CM 2, nous considérerons l'ordinateur comme une boîte noire programmable. Ce que nous avons recherché est une adéquation entre le type de formulation et d'analyse et le niveau d'enseignement. Nous allons maintenant relater la manière dont nous avons essayé de faire partager les notions précédentes à nos apprenants et les leçons que nous en tirons.

3.2. Éléments du dispositif de formation et analyses

Nous avons eu l'occasion au cours de ces dernières années de tester la transmissibilité de ces modèles dans diverses circonstances : en classe de CM 2 dans un cours sur les structures des machines informatiques, dans le cadre de stages de formation continue d'instituteurs et au cours d'un stage de formation destiné plus particulièrement aux enseignants de collège.

3.3. La programmabilité de l'ordinateur - l'information, aspects matériels

Il semblerait que ce soit la partie la plus facile. En fait, comme on va la voir, cette particularité spécifique à l'ordinateur a du mal à se détacher des représentations issues des autres machines.

Ce qui se produit au niveau du CM 2 nous semble particulièrement significatif des obstacles que l'on peut rencontrer.

Dans un premier temps, nous avons essayé de voir quelles sont les représentations des enfants concernant les machines automatiques. A propos des robots et autres systèmes complexes, il est apparu assez vite que les enfants se réfugiaient dans le verbalisme :

- *C'est un moteur qui fait avancer le bras (du robot).*
- *Il (le moteur) le fait aller dans un sens puis dans l'autre.*

Manifestement, le programme était inscrit dans le moteur ; pour la plupart des enfants, cette explication était suffisante. L'analyse des systèmes plus simples (feu tricolore par exemple) a fait apparaître, comme on pouvait s'y attendre, des solutions de type mécanique, l'ensemble des systèmes étant géré par des interrupteurs compliqués de type strictement mécanique. Seule la commande de type "boucle ouverte" était évoquée. Autre observation importante : les enfants ont raisonné en terme de composants juxtaposés et non pas en terme de fonction à remplir.

On voit que l'on est ici dans le cas de représentations dont certaines sont **tout à fait correctes**, mais qui se révéleront insuffisantes pour agir dans un champ de connaissances technologiques donné. En effet on trouvait il y a encore peu de temps des systèmes automatiques commandés par des interrupteurs mécaniques (par exemple les programmeurs de machines à laver). Se représenter un système de commande comme un système mécanique n'est donc pas "faux" a priori. Toutefois il convient d'envisager les solutions de type électronique. **Il ne s'agit donc pas de détruire ces représentations ou même de les faire évoluer, mais de les faire coexister avec d'autres, qui seront plus opératoires dans le champ de l'automatisme.**

C'est le problème de la multiplicité des réponses possibles à un même problème. Ce qui est nouveau dans le cas de l'ordinateur, c'est qu'il appartient à un champ technique radicalement différent de celui de la mécanique. On ne peut passer de l'un à l'autre par perfectionnement, il faut assumer une rupture.

l'impossibilité de se représenter l'aspect matériel de l'ordinateur constitue un frein pour l'utilisation de celui-ci

Pour résoudre ce problème, nous avons fait travailler nos élèves sur des ordinateurs munis d'interfaces. De tels travaux ont été abondamment exposés par ailleurs, nous n'y reviendrons pas. Donnons simplement nos propres observations : dans les premiers problèmes abordés, nous n'avons pas utilisé de capteurs. Les résultats ont été très positifs. Il semblait donc que cette notion de programmabilité ou de reprogrammabilité ne présentât pas de difficulté. En fait, les enfants imaginaient l'ordinateur comme un super interrupteur électronique à retardement.

L'introduction de capteurs a posé de nombreux problèmes. Les causes en sont multiples : la notion de capteur n'était pas perçue. Et lorsqu'elle l'était, c'était sous forme d'interrupteur. Mais alors où allait le courant ? Est-ce lui qui faisait tourner le moteur ? Les enfants ne pouvaient se dégager du modèle circulatoire du courant électrique déjà entrevu en classe, qui est tout à fait adapté dans certains cas mais totalement inadéquat ici. Nous voyons de nouveau, ici, la nécessité d'assurer une rupture.

Mais la raison qui nous semble la plus importante, c'est que la plupart des enfants n'avaient aucune analogie à fournir pour comprendre ce qui se passait. Qu'une série complexe d'actions puisse être déclenchée par la simple interruption d'un faisceau lumineux, voilà qui ne semble pas avoir de référent dans la vie courante. Qui plus est, que l'on puisse modifier cette suite d'actions en tapant sur le clavier était source de confusion. Ce qui manquait, c'était la notion même d'information et de machine **matérielle** capable de traiter l'information. La notion d'information ne pourra se dégager que si l'enfant est amené à analyser des situations où cette notion est réellement opérante. Encore, à notre avis, cette notion n'interviendra que lorsque l'on aura reconnu qu'un certain nombre de phénomènes disparates peuvent être rassemblés sous ce même vocable d'information.

La notion de programme ne pose pas en elle-même tellement de problèmes, sans doute à cause de son caractère anthropomorphique. Par contre, ce qui est incompréhensible pour beaucoup, c'est que cette chose abstraite puisse gouverner une machine. Ceci est particulièrement sensible chez les enfants qui chercheront à décrire par des images ou des analogies ce qu'ils observent. Mais, comme nous l'avons vu, les représentations qu'ils possèdent sont inadéquates, et s'avèrent bloquantes lors de la conception même d'automatismes.

Il fallait donc trouver une stratégie où la notion d'information puisse se manifester sans être nommée et où la programmation du système automatique "interviendrait comme un fait premier". Expliquons ce terme. Lorsque les enfants utilisent un interrupteur, ils ont comme seul référent les manipulations qu'ils ont faites sur des circuits électriques. C'est en quelque sorte l'ensemble de ces expériences (modifiées, assimilées) qui constitue la "notion" d'interrupteur. De même, nous pensons que l'action de programmer une machine matérielle (un automatisme) devrait aussi dans un premier temps avoir comme seul référent un certain nombre de manipulations effectuées.

il est nécessaire
de créer
un cadre
épistémologique
particulier pour
que l'enfant
puisse se
créer des
représentations
adéquates

Il fallait donc créer une stratégie dans laquelle l'enfant en effectuant des manipulations, en résolvant des problèmes dans un cadre précis, pourrait se forger des représentations adaptées au domaine de l'automatisme électronique.

Dans le cadre de l'apprentissage de l'utilisation de l'informatique, nous avons pu glisser le dispositif suivant : nous avons décidé de présenter l'ordinateur sans faire la moindre allusion à d'autres machines. Nous n'avons même pas voulu faire d'analogies ni créer d'images explicatives. En quelque sorte, nous avons voulu créer une rupture. Cette notion de rupture ne nous est évidemment pas propre, entre autre, une idée analogue se rencontre chez G. Vergnaud commentant Vygotski (in Enfance 1-2/89) : *"Le modèle adaptatif de la connaissance de Piaget, qui repose principalement sur l'accommodation des schèmes d'action à des classes nouvelles de situations en vue de les assimiler, véhicule souvent l'idée d'une accommodation-assimilation par petits pas. Mais il n'y a pas de nécessité à cela : on peut aussi bien considérer que l'adaptation consiste à abandonner des schèmes antérieurs et des conceptions antérieures pour en adopter de nouveaux, là (aussi) très souvent avec l'aide d'autrui."* Et plus loin : *"...je pourrais donner des exemples de ruptures dans la manière dont les enfants développent la notion de nombre..."*. Ce que nous ajouterons par rapport à ce qui précède, c'est que dans notre cas, il s'agit plutôt de "mettre provisoirement de côté" dans certains cas des représentations qui sont inadéquates pour traiter la situation considérée. C'est d'ailleurs là, d'après Bachelard, une des caractéristiques de l'esprit scientifique.

Ce que nous espérons, c'est que l'enfant agissant dans un cadre bien défini pourra produire ses propres représentations spécifiques au champ technique considéré.

Le dispositif que nous avons utilisé est le suivant :

- nous avons donné des procédures très strictes d'utilisation de l'ordinateur, séparant nettement les moments de programmation des moments d'exécution ;
- nous nous sommes astreints à ne faire exister dans l'ordinateur qu'un seul programme à la fois.

La notion de programme-dans-la-machine a été mieux acquise que lorsque notre objectif était de faire apparaître les possibilités d'association de divers programmes (un des intérêts de LOGO). Les capteurs ont été introduits à partir d'exemples mettant en évidence la notion d'entrée active ou inactive⁽¹¹⁾. Bref, nous avons fait un détour par l'opérateur strict. L'approche proposée par l'enseignant est là, de type nettement systémique. Après plusieurs problèmes de ce type, les enfants ont procédé à une analyse fonctionnelle de l'ensemble mettant en évidence

(10) On appelle système fonctionnant en boucle ouverte un système qui fonctionne sans capteurs.

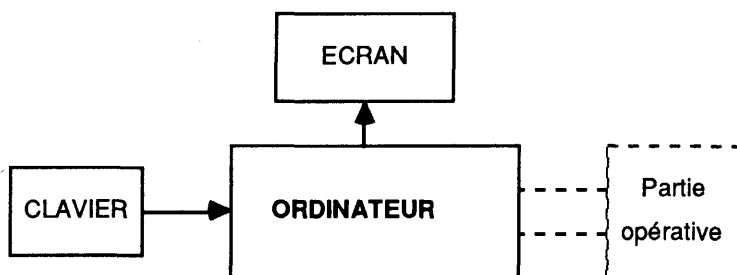
(11) Une entrée est dite active lorsqu'elle fournit une information à l'ordinateur indiquant un changement dans le milieu extérieur.

le rôle de la partie opérative et de la partie commande reprogrammable. Ainsi cette notion de fonction a pu être précisée.

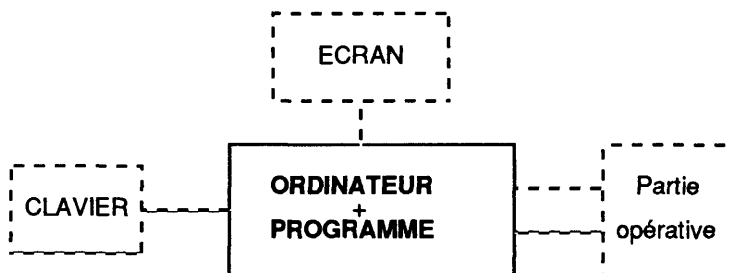
La même stratégie utilisant un autre matériel nous a permis également de faire accéder les enfants à cette notion de machine reprogrammable et de capteurs.

Bien entendu, cette stratégie doit évoluer peu à peu vers une utilisation plus complète de l'ordinateur.

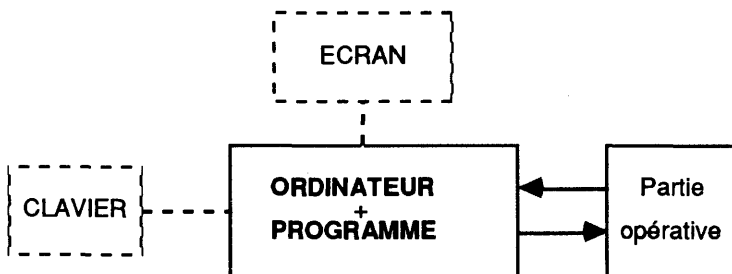
Finalement, la représentation des enfants devrait être homomorphe de la suivante :



1 : Ordinateur en cours de programmation



2 : Ordinateur programmé



3 : Système automatique en fonctionnement.

Figure 11

Bien entendu cette stratégie n'est pas la seule possible. Elle a toutefois le mérite de permettre à l'apprenant de gérer la rupture technique constituée par l'apparition de l'ordinateur. On pourra reprocher à cette approche d'être trop particulière au milieu scolaire. En fait, nous partageons totalement l'avis de N. Balacheff et J.M. Laborde (Introduction à Preuves et réfutations de I. Lakatos) "*notre tâche est de concevoir les conditions d'une véritable épistémologie artificielle, à savoir un rapport épistémologique provoqué et contrôlé par l'enseignant pour l'acquisition d'un savoir (mathématique) authentifiable*".

3.4. La structure de l'ordinateur

Le problème de la structure de l'ordinateur s'est posé surtout en formations initiale et continue d'instituteurs.

le fait de pouvoir
utiliser une
structure
performante
décrivant
l'ordinateur est
indispensable à
l'enseignant en
informatique

Nous pouvons dire que les blocages à ce niveau étaient pour certains de nos stagiaires plus importants que pour les enfants. A une peur tout à fait classique de tout ce qui est technique ou scientifique, s'ajoutait le sentiment qu'ils n'arriveraient pas à **comprendre**. Alors que nos enfants de CM 2 avaient conscience d'être en début de formation, nos formés avaient eux le sentiment de se trouver en fin de formation. Ils avaient donc l'exigence d'acquérir un savoir assez complet sur la question. Ainsi donc l'aspect purement opératoire (et provisoire) développé au niveau du CM 2 se révélait insuffisant maintenant. Nous avons tout d'abord essayé de décrire la circulation de l'information dans un microordinateur. Cela ne satisfaisait pas nos apprenants qui disaient : "*Oui, mais comment cela se passe-t-il réellement ?*".

En fait, là encore, c'était l'aspect matériel qui posait problème. Il n'y avait pas de représentation adéquate dans leur système de référence pour rendre compte du phénomène informatique. Nous faisons maintenant ici une synthèse de ce qui a été vécu par divers groupes au cours de diverses années. L'aspect linéaire de l'exposé ne reflète évidemment pas ce qui se produit dans des actions de formation, il prétend simplement en montrer les temps forts.

Des séances ont été consacrées à la mise à jour de ce qui faisait obstacle pour les apprenants. Les points suivants sont apparus au cours de discussions souvent informelles :

- Comment le programme est-il inscrit dans l'ordinateur ?
- Comment s'exécute-t-il ?
- Qu'est-ce qu'une mémoire ?
- Qu'est-ce exactement qu'un microprocesseur ?

Répondre à ces questions de façon exhaustive est bien entendu impossible et inutile dans le cadre de cette formation. Il fallait plutôt s'attaquer aux points de blocage qui faisaient obstacle à l'utilisation de l'automatisme. Nous faisons ici l'hypothèse qu'il n'est pas nécessaire d'avoir une connaissance complète d'un domaine conceptuel donné pour pouvoir agir (faire des recherches ou des réalisations) sur certains aspects de ce domaine. Bien entendu, plus on aura de connaissances mieux cela vaudra, du moins en général.

Ce qui est important, c'est de comprendre les idées-force qui "sous-tendent" ce domaine conceptuel. A partir de ce moment, on est "entré" dans ce domaine. Deux directions de travail parallèles sont apparues. Il fallait "exhiber" la structure de l'ordinateur, faire saisir la notion de fonction et celle de circuit intégré.

En ce qui concerne la structure de l'ordinateur, après bien des tâtonnements, nous avons abouti au dispositif suivant : nous avons animé plusieurs maquettes (feux rouges) identiques à l'aide de dispositifs informatiques différents :

des montages
simples
permettent de
mettre en
évidence
certaines
structures

- un microordinateur complet muni d'une interface,
- un microordinateur fonctionnant sans son moniteur mais muni d'une interface,
- un système constitué par un oscillateur, un compteur et une mémoire morte, que nous avons au préalable programmée,
- un système qui matérialisait la structure,
- un système minimal constitué d'un microprocesseur 6809, d'une mémoire morte, et d'un adaptateur d'interface (PIA).

La comparaison de ces divers dispositifs a permis de dégager la notion de mémorisation d'un programme dans une structure matérielle (cf. la partie consacrée à l'aspect ontologique de l'ordinateur). En particulier, la notion de mémoire morte a été passablement éclaircie. Une partie du rôle de l'interface a été précisée. Des questions ont été posées concernant la structure de l'ordinateur.

Pour certains stagiaires, les représentations qu'ils ont pu ainsi se créer ont permis un certain nombre de déblocages. Ainsi sont apparues des représentations sur l'organisation de la mémoire de l'ordinateur. Cela a considérablement favorisé l'utilisation, par exemple, de l'éditeur LOGO, ou d'un lecteur de disquettes ou du Nano-réseau.

La notion d'adresse d'une information a été dégagée, ce qui est fondamental pour la compréhension et l'utilisation des automatismes ainsi que pour la compréhension des manuels techniques et de vulgarisation.

Mais restaient plusieurs points importants à résoudre :

- la question des mémoires effaçables,
- la question de la réalisation d'opérations arithmétiques (additions, soustractions) ou logiques (comparaisons, implications).

Il est apparu assez vite qu'une stratégie efficace serait de savoir additionner, comparer, etc... avec des circuits. D'où la nécessaire étude des circuits intégrés.

3.5. Les circuits intégrés

L'utilisation de circuits intégrés répond à une double fonction :

- elle permet de créer les éléments de référence à une technique de l'électronique actuelle et authentique,
- elle permet de mettre en évidence la notion même d'intégration, cette notion qui, nous l'avons vu est à la base de la révolution du microordinateur.

Il est à remarquer que le domaine conceptuel qui entoure les circuits intégrés est différent de celui dans lequel se trouvent les

la mise en évidence du fonctionnement des circuits intégrés permet d'accéder à l'électronique moderne

circuits de type "chaîne de conducteur". La notion fondamentale n'est plus celle de continuité entre les dipôles (ou les quadripôles). La notion est celle de réseau, de liaison entre entrées et sorties. De même, le courant électrique, n'est pas, de façon essentielle, défini par ses effets, ce qui revient à le définir par son intensité, mais plutôt à travers la notion de tension. A une électricité de la circulation (intensité), on substitue une électricité du potentiel (tension).

De ce qui précède, on tire des enseignements sur le plan de la didactique. Deux stratégies sont possibles :

- une stratégie de la continuité, allant des circuits en "boucle" aux circuits intégrés.
- une stratégie dans laquelle on mettra plutôt en évidence la notion d'entrée et de sortie. Le circuit intégré étant comparé à une machine, avec alimentation et commande.

Nous avons utilisé les deux stratégies. Là encore, ce qui s'est révélé le plus payant a été d'établir une rupture nette entre les deux types de circuits et ceci tant en ce qui concerne l'enseignement au niveau des enfants de CM 2 que celui des adultes en formations initiale ou continue. Au cours de cette étude des circuits intégrés, nous avons mis l'accent sur la notion de mémorisation en utilisant, soit des inverseurs, soit des portes NAND. Cela n'a pas présenté de difficulté avec les enfants. Toutefois, au niveau CM 2, la difficulté a été pour les enfants de raisonner en termes de fonction. Les adultes ont pu constater que des problèmes habituellement résolus au moyen d'ordinateurs pouvaient être résolus au moyen de simples circuits intégrés. La notion de polyvalence de l'ordinateur a donc été ainsi mise en évidence. L'utilisation de la structure 1, la notion de bistable, (voir 1.6), permet d'accéder à la notion de mémoire vive.

Après cette série d'études, certains de nos formés se sont estimés satisfaits. En effet, ils pouvaient "évoquer" des images de la structure électronique lorsque se présentait une difficulté. Pour d'autres, ils nous a été demandé d'expliquer de façon plus précise la structure du microprocesseur. Cela a été possible grâce à l'utilisation de deux structures de type 1. A la fin de ce cycle d'enseignement le modèle utilisé par les stagiaires était le suivant :

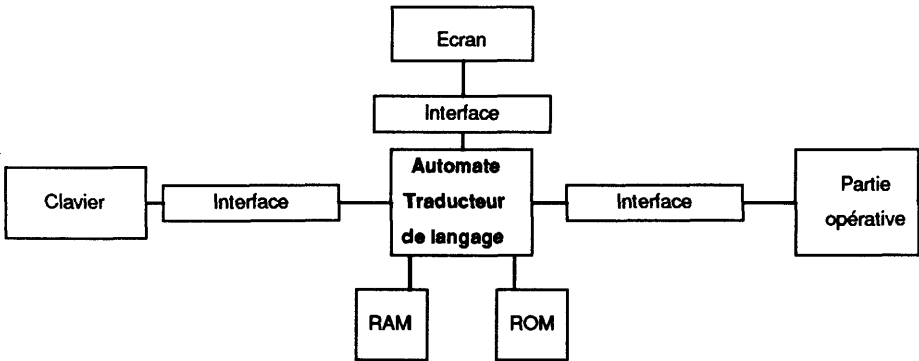


Figure 12

3.6. De la représentation à la réalisation

le passage à la réalisation d'un système informatique minimum permet de confirmer la validité des notions précédemment dégagées

Les notions qui ont été présentées plus haut ont pour but de permettre une meilleure compréhension des systèmes automatiques. Mais pour tester leur validité, il faut voir si elles sont suffisantes pour réaliser effectivement des systèmes informatiques. Dans le cadre de la préparation d'un stage nous avons été amenés à réaliser un système minimum à usage pédagogique. Ce système est constitué par un microprocesseur, une mémoire morte et / ou une mémoire vive. La mémoire de l'ordinateur était chargée à partir d'un programme compilé dans un "vieux" T07. Le logiciel correspondant étant inscrit par C. Caignaert. Le transfert de programme entre les deux machines est assuré par deux PIA et un contrôleur de communication d'imprimante. Je peux affirmer que les notions précédemment énoncées sont suffisantes pour comprendre ces montages (12). En particulier, la programmation des mémoires mortes se fait facilement au moyen d'un T07 et du logiciel signalé ci-dessus.

Lors de la présentation aux stagiaires, dont la plupart avaient une bonne culture informatique, nous leur avons fourni un plan du système. Nous avons constaté que la plupart avaient des difficultés pour se représenter exactement le fonctionnement des mémoires, la programmation des mémoires mortes, etc... Le recours aux notions dégagées à l'occasion de l'étude des circuits intégrés pour franchir ces obstacles a été efficace. Là encore, la notion d'intégration et celle de fonction ont permis aux stagiaires de se former des représentations opératoires suffisantes. Nous avons constaté lors de discussions effectuées un an après ce stage que certains stagiaires avaient poursuivi leur propre formation à partir des notions dégagées lors du stage et maîtrisaient assez bien les réalisations à base de microprocesseurs. Il est à remarquer qu'aux notions précédemment dégagées sont venus s'ajouter des notions, plus techniques (telles que celles de BUS, de logique "trois états..."). Mais nous quittons maintenant le domaine que nous nous étions fixé pour entrer dans celui de la technique professionnelle.

EN GUISE DE CONCLUSION

L'enseignement précédent a eu des fortunes diverses. Après l'enthousiasme suscité par de telles activités on a pu voir les difficultés matérielles modérer cet enthousiasme. Toutefois, il est possible d'affirmer que pour la plupart des stagiaires, ces notions sont compréhensibles. Au niveau de l'enseignement primaire, si l'on dispose d'un matériel approprié, et si la formation des instituteurs est suffisante, les enfants sont tout à fait capables de gérer certains systèmes automatiques. Le problème est donc celui des moyens et de la formation. L'intérêt d'enseigner ces notions assez tôt, réside dans le fait que, quelles que soient les spécialisations ultérieures, les

apprenants se trouveront confrontés à des systèmes automatiques. Même ceux qui aborderont des carrières "littéraires" se trouveront face à ces systèmes automatiques. Pour s'en convaincre, il suffit de penser aux bouleversements qu'entraîne l'utilisation de l'informatique dans l'édition et le journalisme. Or, il est bien évident que l'adaptation se fera d'autant mieux que des représentations pertinentes et **suffisamment générales** auront eu le temps de s'ancrer dans le système de représentations de l'individu. D'autre part, nous avons vu que l'étude des systèmes informatiques permet d'accéder à un certain nombre de notions telle que celle de fonction, d'information. Si l'on considère le premier cycle du secondaire, l'utilisation de microprocesseurs et de circuits intégrés devrait permettre la réalisation de montages ayant un référent exact dans l'industrie, ce qui n'est pas toujours le cas dans beaucoup des montages proposés. Le problème le plus important est que les enseignants soient convaincus que les enfants sont tout à fait à même de saisir ces notions. Dans ce cadre, il y a la possibilité de donner un contenu actuel à l'enseignement. On pourrait ainsi échapper à l'erreur souvent faite dans l'enseignement de l'électricité, où l'on voit des activités accessibles aux enfants de CP, proposées à des enfants de sixième, qui s'ennuient alors prodigieusement.... et en conçoivent un désintérêt total pour les Sciences et les Techniques.

Ricardo ROMERO
Ecole Normale du Nord,
Lille

BIBLIOGRAPHIE

- BISHOP P. *Advanced Computing Sciences*. Londres. Pan Book Ltd. 1987
- CORDONNIER V. *Circuits logiques*. Lille.Laboratoire de calcul de l'Université. 1985
- DAM G.H.K. *Microprocesseur matériel*. Paris. Publitrionic. 1983
- GILMORE C. *Introduction aux microprocesseurs*. Londres. Mac Graw Hill. 1982
- GOE A. *Computer studies*. Londres. Pan Book Ltd. 1987
- HANAOKEN J. *Structure des ordinateurs*.Londres. Mac Graw Hill. 1985