

ASSOCIER RAISONNABLEMENT INFORMATIQUE ET DIDACTIQUE, PAR L'ÉTUDE DES AUTOMATISMES

Jacques Toussaint

Informatique et enseignement sont deux termes que l'on cherche de plus en plus à associer. La didactique produit des outils pour analyser, comprendre et faciliter l'enseignement. L'association de l'informatique et de la didactique doit donc être réalisable. En choisissant d'aborder l'informatique par l'étude des automatismes, on répond au libellé de certains programmes, plus particulièrement des classes de fin d'École élémentaire, ainsi que des Collèges, dans le cadre de la Technologie. Mais pour apprendre quot et comment aux élèves ? C'est en regardant de près et en analysant les éléments du contrat que l'association entre informatique et didactique pourra être justifiée. Le domaine des automatismes s'avère privilégié pour une telle analyse, quitte à rendre nécessaire un changement de point de vue des champs disciplinaires classiques.

Trop souvent confiné à des études de mises au point matérielles, visant à de "belles utilisations didactiques" de l'ordinateur, la recherche sur l'enseignement de l'informatique en a, à présent, montré la faisabilité. Après les phases innovantes, il semble qu'il soit temps de s'interroger sur l'intégration de ce nouveau domaine d'enseignement, à la lumière des notions que la didactique a pu mettre en avant ces dernières années comme celles de trames conceptuelles, de représentations des apprenants et leur prise en compte, d'objectif-obstacle ou de contrat didactique.

Toute analyse didactique doit s'appuyer, en les analysant, sur les contenus de l'enseignement. Ils proviennent d'une part des programmes officiels, et nous regarderons comment on peut proposer une cohérence pour un domaine qui n'est pas une discipline au sens académique du terme. Ces contenus sont également issus d'un savoir savant qui s'élabore dans les laboratoires de recherche et les centres industriels. La transposition de ces savoirs est étudiée dans l'article de R. Roméro et nous nous y référerons pour proposer un agencement adapté à l'enseignement, que nous limiterons aux niveaux de l'école et du collège.

La question de fond qui ne peut pas ne pas être posée est celle du statut expérimental de l'informatique. Sans chercher à y répondre explicitement, notre contribution voudrait montrer qu'en pouvant appliquer à l'informatique (sous l'aspect étude des automatismes) tous les éléments caractéristiques de la didactique des sciences, on a là, ce qui n'est pas nouveau, un domaine typiquement scientifique. Mais qu'aussi les situations proposées ont un caractère expérimental, peut-être pas au sens

classique de la démarche qui vise à faire émerger des lois, mais au sens où son étude conduit à l'accumulation des éléments constitutifs de concepts centraux. La preuve n'est pas flagrante, dira-t-on, mais notre "monstration" cherche seulement à donner un sens (qui n'est sûrement pas le seul) à l'utilisation de l'informatique dans les sciences et techniques expérimentales. C'est du moins l'enseignement que nous tirons de l'étude des automatismes, telles qu'elles figurent dans les programmes de fin d'Ecole élémentaire et de Technologie au Collège, auxquels nous nous référerons.

1. DEUX CONCEPTS EN JEU : INFORMATION ET FONCTION

l'ordinateur est vu
comme un
système

Depuis quelques années, l'informatique est le support d'un enseignement à différents niveaux du système éducatif, et il s'agit d'abord d'explicitier les concepts et objectifs mis en jeu. Précisons d'emblée que pour nous (aux niveaux des écoles et des collèges), il ne peut s'agir ni d'un enseignement à caractère dogmatique dans lequel les élèves n'auraient qu'un rôle de récepteur, ni d'un enseignement à finalités professionnelles, chargé de former de futurs techniciens en informatique. Prendre un tel point de vue signifie pour nous qu'on écarte une approche rationalisante de l'objet, qui conduirait à un découpage par éléments d'étude, donc à un fractionnement de l'apprentissage ; au contraire, une prise en compte de la totalité de l'objet pour une analyse progressive va conduire à une approche en terme de système de l'ordinateur et de l'informatique. Mais pour être validée, une telle approche, si elle est justifiée au sens technique, doit montrer une cohérence dans la progression tant en ce qui concerne les contenus que la méthode.

1.1. Une approche globalisante dans un cadre systémique

En n'empruntant à l'approche systémique que son cadre général puisque l'objet de l'étude, la machine, est un objet dont le moins que l'on puisse dire est qu'il est finalisé (ce qui est à l'opposé d'un objet que l'on analyse en terme de système), deux concepts s'imposent : ceux d'information (puisque l'informatique est le "traitement automatique de l'information") et de fonction (puisque l'objet a une réalité technique). Ces deux concepts très généraux, et dont il ne s'agit bien sûr pas de recouvrir tout le champ d'application à l'Ecole et au Collège, n'ont fait leur apparition dans l'enseignement que récemment. Il est vrai que l'émergence historique du concept d'information a été longtemps retardée par un positivisme latent et il a fallu attendre le milieu du vingtième siècle (Shannon en 1948) ⁽¹⁾ pour lui voir prendre

(1) C.E. SHANNON, W. WEAVER, *The mathematical theory of communication*, Urbana, University of Illinois Press, 1949

corps. Les développements de l'électronique et de l'informatique d'une part, de la génétique d'autre part ont révélé son caractère profondément scientifique, sans parler du domaine de la sémantique et de l'aspect social de la communication.

Le concept de fonction au sens technique du terme (mais n'est-ce pas vrai au sens biologique également ?), bien que connu et employé depuis fort longtemps, n'a aussi été introduit timidement dans l'enseignement général que récemment, les "Humanités classiques" refusant le Technique ! Mais l'étude des systèmes techniques, la technologie, et le recours aux "technologies nouvelles de l'enseignement" ont à présent droit de cité. Bien sûr, a-t-on presque envie de dire, l'ordinateur n'est pas utile pour enseigner ce que l'on veut enseigner, mais travailler sur les concepts d'information et de fonction permet aux élèves de comprendre ce qu'est l'ordinateur.

une approche
non classique
dans
l'enseignement

D'un point de vue global, un système est traversé par trois flux, un flux de matière, un flux d'énergie et un flux d'information, qu'il a pour fonction de transformer dans leurs formes, voire dans leurs natures. Présentés sous cette forme vulgarisatrice par E. Morin ⁽²⁾ et J. de Rosnay ⁽³⁾ les éléments de l'analyse systémique avaient déjà permis quelques progrès à la pensée scientifique, même si ses conditions d'application, détachées de tout contexte rationnel, cherchaient justement à faire apparaître une certaine rationalité par la construction de modèles, que ce soit à propos d'études des systèmes thermodynamiques hors d'équilibre ou de systèmes biologiques. Cette approche des phénomènes de la nature a même pu être qualifiée par quelques uns de "nouvelle révolution scientifique", en ce sens qu'elle apportait une rupture dans les raisonnements au même titre que les apports de Copernic, de Newton, de Darwin et d'Einstein ⁽⁴⁾. Sans vouloir aborder des domaines hors de nos propos, il faut reconnaître la puissance potentielle d'une telle description pour la compréhension progressive d'objets complexes comme un ordinateur. C'est dans les échanges qui se produisent avec l'environnement que la notion d'information apparaît dès l'abord de l'appareil : il reçoit des ordres (par l'intermédiaire du clavier) et les transforme (au niveau de l'écran) ; en diversifiant les périphériques, les ordres peuvent revêtir plusieurs formes pour donner des actions de diverses natures, faisant émerger la notion plus générale d'entrées et de sorties et ultérieurement de rétro-action (les ordres en retour qui conduisent à un comportement différent de la machine). La construction de ce concept d'entrée-sortie se

(2) Edgar MORIN, *La méthode* : 1. La nature de la nature, Paris, Seuil, 1977

(3) Joël de ROSNAY, *Le Macroscopie*, Paris, Seuil, 1975

(4) Roger CAVAILLES, Un nouveau paradigme pour une science nouvelle, *Philosophie XI*, Actes du colloque Colins de Ham, Université de Toulouse - Le Mirail. 1985.

l'information est
inchangée entre
deux systèmes

fera au cours de la mise en œuvre d'un grand nombre de situations variées, et est une première approche du concept global d'information (par ses échanges), suivant un schéma du type de la figure 1 :

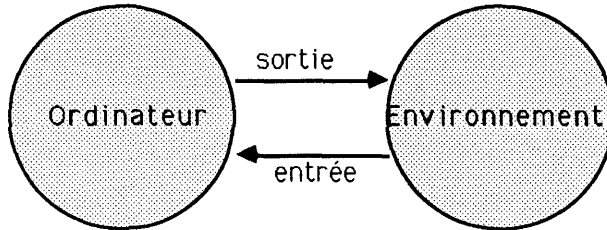


Figure 1

La nécessité du codage et du décodage de l'information échangée apparaît rapidement, ainsi que le besoin de les situer à un endroit précis de la chaîne, les interfaces (dont le langage, utilisé pour donner les ordres, est un exemple). Les extrémités de la chaîne de transmission ont également besoin d'être rapidement identifiées : ce sont les effecteurs (ou actionneurs) et les capteurs. On arrive ainsi à un premier niveau de formulation du concept qui, exprimé par les élèves, doit être assez proche de la définition simple qu'en donne J. de Rosnay : "L'information est le contenu d'un message qui déclenche une action". D'autres concepts doivent être pris en compte pour arriver à un tel niveau, et en particulier celui d'énergie (comment expliquer le fonctionnement des actionneurs ?), et l'on retrouve ici l'imbrication en réseaux des concepts en construction, sous forme de trames conceptuelles.

Du côté du concept de fonction on peut distinguer, comme le fait L. Alémani⁽⁵⁾, deux aspects qui recouvrent les domaines de réponses aux deux questions que l'on se pose face à un objet technique et que l'on aborde avec les enfants dès l'école élémentaire : "À quoi ça sert ?" et "Comment ça marche ?". Le champ de réponses à la première question recouvre ce qu'on peut qualifier de fonction d'usage, et que L. Géminard appelle fonction technique globale ou fonction instrumentale⁽⁶⁾. Il s'agit, en cherchant à répondre à une telle question, de découvrir la finalité de l'objet, ce pour quoi il a été construit ("voulu et conçu par l'homme" dit Géminard), et pour cela on doit prendre en compte toutes les interrelations établies entre la machine ou l'ordinateur et son environnement extérieur, quitte à neutraliser un certain nombre d'actions non désirées. On a là une approche globale de l'objet, considéré comme un système

le double aspect
de la fonction
technique

- (5) Lucien ALEMANI, Initiation technologique à l'école élémentaire, *Revue Française de pédagogie*, n° 74, Paris, INRP, 1986.
(6) Lucien GEMINARD, *Logique et technologie*, Paris, Dunod, 1970.

obscur (on ne s'interroge pas sur son intérieur), en liaison avec l'extérieur. On s'interroge sur les applications de l'objet et sur son rôle social. Aléman a montré que dans ce cas, la fonction de l'objet est caractérisée par des verbes d'action qui, dans le cas de l'ordinateur peuvent être : traiter des données, faire fonctionner des modèles (numériques ou graphiques), transmettre des messages, produire des objets identiques à un prototype, écrire des textes, etc... C'est par cette approche qu'il est nécessaire auprès des enfants de faire référence aux pratiques sociales en cours.

fonction
instrumentale et
fonction
organique

Répondre à la seconde question, c'est porter son regard sur l'"intérieur" de la machine ⁽⁷⁾, s'interroger sur les relations qui existent entre deux ou plusieurs organes. L'objet technique est ici vu comme le moyen de réaliser un objectif, sa fonction technique ou organique est la relation qu'il établit entre les données du problème et les résultats attendus, comme la définit Y. Deforge ⁽⁸⁾. Les éléments de la fonction sous cet aspect sont les différents phénomènes physiques mis en jeu, que l'on cherche à mettre en correspondance par une approche analytique (la séparation des divers organes) et causale (la relation d'un organe avec l'autre). Cette approche "classique" fait partie de la panoplie du physicien lorsqu'il découvre les réponses aux problèmes posés par l'analyse des contraintes. D'une certaine façon on procède ainsi à la reconstruction (par la pensée) de l'objet par une démarche de schématisation et de modélisation : c'est ce qui se passe lorsque l'on décrit l'ordinateur en termes d'unité centrale et de périphériques (écran, clavier, imprimante, modem, actionneurs, effecteurs, etc...), qu'on parle de codage binaire de l'information (avec ou sans référence aux circuits), qu'on cherche à activer ampoules ou moteurs. Sous cet angle d'approche de la fonction technique on fait référence à des pratiques culturelles : scientifiques, en mettant l'accent sur une démarche privilégiée de notre société, encore marquée par le cartésianisme (découpage logique, reconstruction, modélisation), et technique en faisant participer les enfants à l'évolution des objets comme réponses successives à un même problème (et contribue à ce que Deforge appelle la génétique de l'objet), qui fait par exemple passer de l'électronique avec tubes aux transistors, puis du transistor aux circuits intégrés, par un processus de miniaturisation mais aussi de complexification. Ces deux concepts d'information et de fonction, même si répétons-le ils ne sont pas suffisants, permettent en se croisant de recouvrir l'ensemble du champ de l'informatique abordable aux niveaux où nous les considérons. Ce croisement peut se symboliser en faisant se recouper les deux axes figurant les deux concepts, chaque axe ayant deux pôles: codage et échange pour l'information, usage et technique pour la fonction, suivant la figure 2.

deux concepts
croisés pour
constituer quatre
pôles

(7) Ce serait d'ailleurs l'intérieur du système Homme-Machine qu'il faudrait plutôt évoquer ici.

(8) Yves DEFORGE, *L'éducation technologique*, Paris, Casterman, Collection E3, 1970.

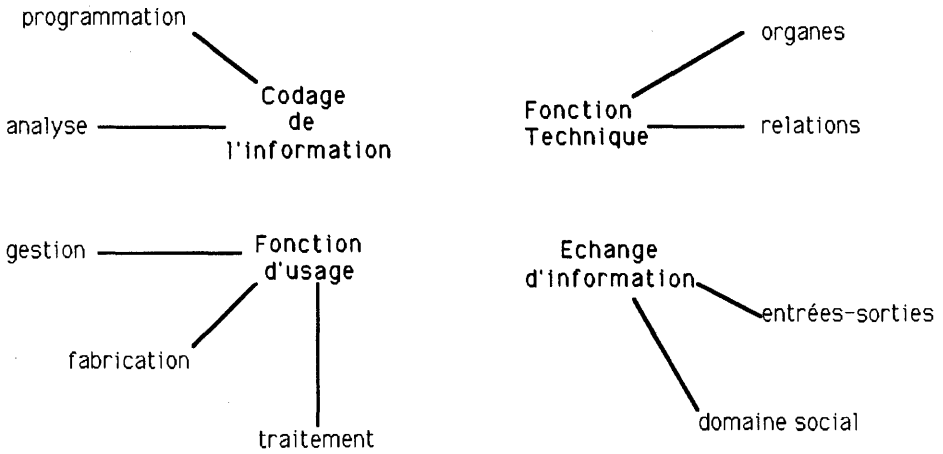


Figure 2 : croisement des deux concepts

Lorsqu'on interroge un public d'apprenants "néophytes" en leur demandant d'associer spontanément à informatique les mots qui leur viennent à l'esprit, le rangement de leurs propositions peut aisément se répartir en quatre groupes de termes qui rappellent les pôles du tableau présenté par ailleurs (adapté du tableau "informatique" de Thélyce) ⁽⁹⁾ :

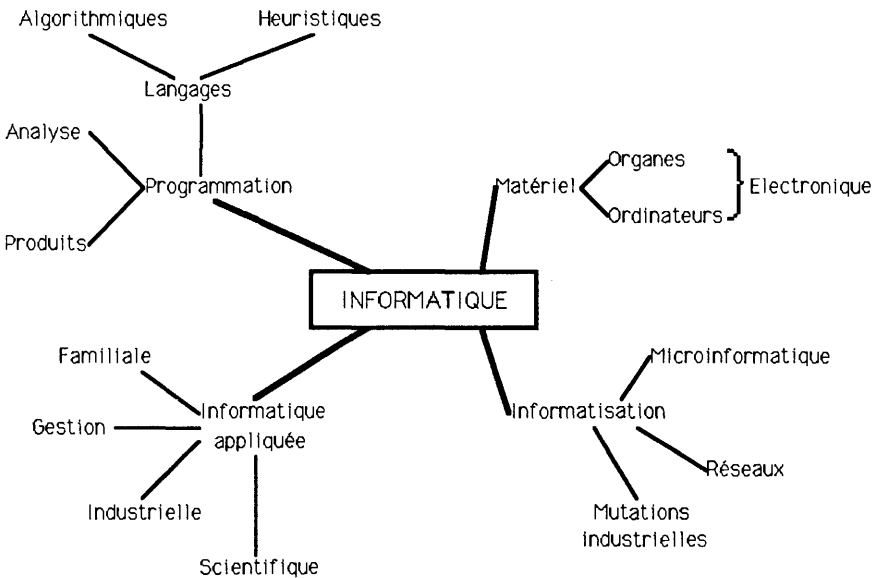


Figure 3

(9) Thélyce, index thématique pour les lycéens, Grenoble. CRDP. 1986

Pour eux (échantillon d'une centaine d'élèves-instituteurs en formation initiale), l'informatique c'est :

quatre questions
des apprenants

- programmer (traiter des données, utiliser des langages plus ou moins déconcertants, s'entraîner à la logique, à l'algorithmique, avoir des démarches plus ou moins obscures...),
- appliquer (utiliser des logiciels, remplacer avantageusement des stocks de papiers, gérer des données nombreuses, avoir une utilisation quotidienne...),
- s'interroger sur le matériel (savoir s'en servir, mettre en mémoire, appréhender un matériel "moderne", simplifier le complexe...),
- prendre conscience d'évolutions (automatisation de tâches pénibles, spécialisation des désirs, simplification de la vie, de nouvelles techniques de travail, d'autres modes de communication,...).

Ces quatre pôles qui émergent du classement des expressions spontanées de "novices" ont plus qu'une parenté topologique avec ceux qui sont apparus lors de l'analyse précédente. On peut presque parler de cohérence entre les concepts en jeu et les domaines d'application de l'informatique, tels qu'ils figurent dans les représentations initiales d'apprenants. Cette constatation montre l'utilité de cette analyse préalable et du recueil de ces expressions, pour s'appuyer dessus, pour les faire évoluer au cours des activités d'apprentissage.

1.2. Les référents utilisés

une approche ni
rationalisante ni
instrumentaliste

Identifier deux concepts est un premier pas dans la proposition d'activités pédagogiques, mais dans quel cadre peut-on avancer qu'ils seront tous les deux en œuvre, et que les apprentissages des élèves porteront effectivement sur eux ? En nous centrant aux niveaux de l'école élémentaire et du collège, nous avons déjà écarté une approche rationalisante découpant l'étude en éléments : les différents organes et leurs rôles intrinsèques, leurs mises en relations hiérarchisées et chronologiques pour construire un système pour lequel, sachant comment il est constitué, on saura ce qu'on peut lui demander. Une telle approche trouve probablement sa justification dans un enseignement de type professionnel. Nous écartons également une approche fréquemment rencontrée dans laquelle l'ordinateur est un instrument au service de la logique et dont le rôle essentiel est d'être support de programmation. Une approche de cette sorte est, elle aussi certainement justifiée mais par rapport à des objectifs qui ne font qu'emprunter au domaine de l'informatique. Sur le schéma précédent, il est clair que l'une ou l'autre de ces deux approches ne s'adresse qu'à l'un des pôles du champ considéré. Elles font donc référence à des champs voisins, mais qui ne sont pas celui de l'informatique dans l'acception que nous lui donnons.

Sans avancer que ce soit le seul possible, il nous semble que l'étude des automatismes permet par sa diversité de rencontrer

des situations de mise en œuvre des deux concepts, chacun sous son double aspect. On peut en effet reprendre l'analyse qui a été faite du modèle à transposer et qui a été schématisé dans l'article de R. Roméro (ce numéro). Au prix de quelques modifications topologiques, ce modèle peut prendre la forme de la figure suivante (figure 4). Sous cette forme, le parallélisme avec notre schéma ressort assez clairement, et l'on voit apparaître des relations (figurées en pointillés) entre les deux concepts, qui se rencontreront au cours des situations d'apprentissage.

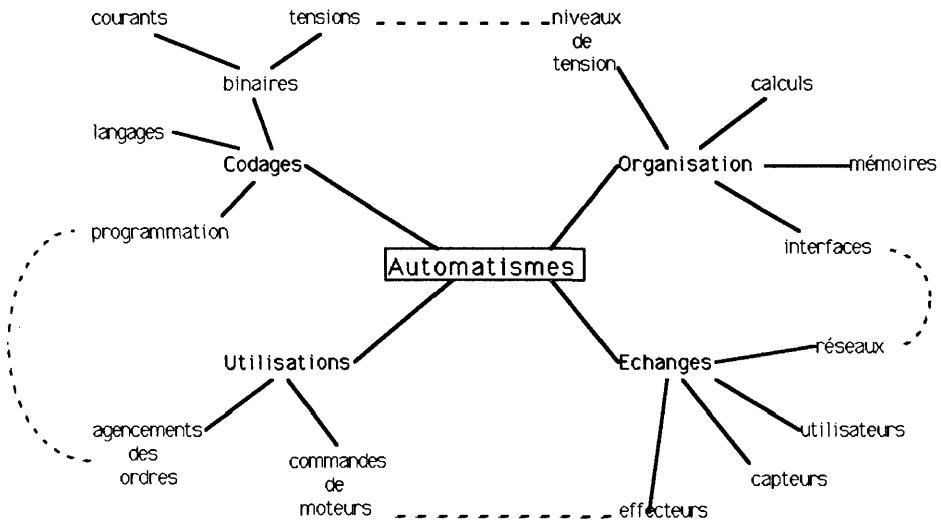


Figure 4 : schématisation des automatismes

décontextualiser la réalité, pour construire un modèle de référence

Dans le cadre scolaire où nous nous plaçons, ces situations doivent s'appuyer sur les réalités sociales et industrielles bien qu'elles ne puissent les reproduire : il y a nécessairement une décontextualisation des pratiques réelles car on ne peut, au niveau de l'école élémentaire ou du collège, proposer d'activités sur des machines industrielles, pas plus que les langages utilisés ne peuvent être ceux mis au point pour les applications les plus récentes. En prenant en compte une structuration telle qu'elle apparaît sur un schéma comme celui ci-dessus, on recontextualisera les différentes notions pour proposer des situations où les problèmes que les élèves auront à résoudre leur feront aborder ces divers points en fonction des objectifs fixés. Une telle recontextualisation va donc conduire à représenter l'ordinateur comme un centre de gestion envoyant (sorties) et recevant (entrées) des ordres aux niveaux des effecteurs et des capteurs (figure 5) :

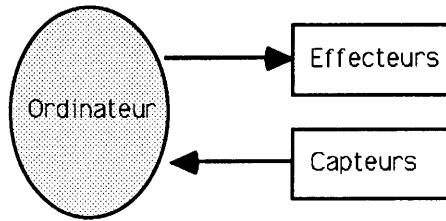


Figure 5

Au fur et à mesure du déroulement des activités, ce schéma va se complexifier et vont apparaître au sein de l'ordinateur la différenciation entre mémoire, unité de calcul, interface, mais aussi les notions de programme (fréquemment mis en mémoire vive), de langage (résidant souvent en mémoire morte), d'agencement des ordres pour jouer sur l'état d'une lampe ou d'un moteur à courant continu, effecteurs particuliers que l'on mettra en œuvre pour leurs caractères binaires, en fonction des états de capteurs "tout ou rien", en se limitant à une étude des automatismes électriques. En ajoutant ces éléments de précision peu à peu découverts au cours des activités, le schéma représentatif de l'ordinateur va prendre un aspect bien proche de la grille d'analyse évoquée ci-dessus, l'ordinateur y jouant le rôle d'un automate particulier :

qui va se complexifier

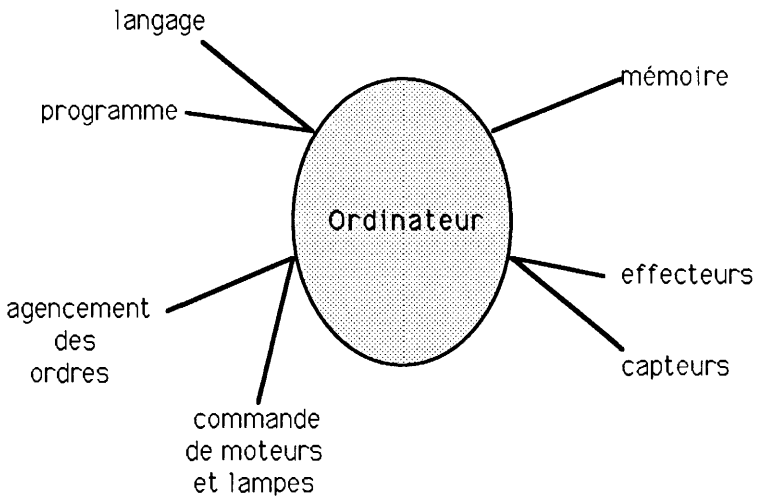


Figure 6

Entre la grille précédente (figure 4) construite par transposition des savoirs de référence, et ce dernier schéma (figure 6) représentant l'organisation des éléments qu'il est possible de découvrir au cours des diverses activités, il y a donc cohérence. Mais cette cohérence ne restera que théorique si les activités proposées aux élèves ne permettent pas, par contrainte institutionnelle, une structuration progressive dans ce sens.

1.3. La recherche d'une cohérence dans les programmes

des programmes
peu
contraignants

Parfois dénoncée comme trop contraignante, souvent utilisée comme paravent pour une défense contre toute innovation, l'existence de programmes, tout en étant nécessaire ne serait-ce que par souci démocratique n'a que rarement la rigidité que beaucoup lui assignent. Si la précision est utile lorsqu'il s'agit de contenus, la démarche est presque toujours laissée à l'initiative des maîtres ou professeurs et l'écriture des programmes est un exercice qui met en jeu à la fois la prise en compte de l'état momentané des savoirs et les capacités d'apprentissage des élèves, même si la pondération entre les deux varie suivant les niveaux. Dans le cas du domaine de l'informatique, il est vrai, plusieurs disciplines participent à son enseignement ; mais peut-être par la nouveauté du sujet et donc le manque de "certitudes" à son égard, les propositions des programmes ne montrent pas de grandes contraintes, sauf peut-être celle d'horaires. Sans regarder du côté des disciplines utilisatrices, qui considèrent par conséquent qu'une grande partie des concepts qui nous intéressent est élaborée chez les élèves, portons notre attention vers celles que l'on peut considérer comme "maîtresses d'œuvre", les sciences et techniques. A l'école élémentaire, leur pratique est dévolue à un même enseignant et la distinction entre sciences et techniques a rarement lieu d'être : le libellé des programmes ne le fait d'ailleurs pas. Au niveau des collèges par contre cette distinction est faite et, pour des raisons qui tiennent un peu à l'histoire des sciences, à un désir d'encyclopédisme sous-jacent, et beaucoup à un souci de classification (pour ne pas dire de sélection) des élèves, les programmes de sciences physiques calquent d'assez près une démarche cartésienne. L'ordinateur, outil de laboratoire, existe mais l'on revient alors aux disciplines utilisatrices, même si l'on trouve dans ces programmes de Collège plusieurs situations que nous avons évoquées (apprentissage des portes logiques, niveaux de tension, caractéristiques d'effecteurs...). Dans le cas de la technologie au collège, les programmes ne font apparaître qu'au second plan les contenus, centrant leurs propos sur la démarche, et sans se référer aux niveaux (si ce n'est par cycle : cycle d'observation et cycle d'orientation) : l'informatique est une notion transversale, c'est à dire qu'elle doit être abordée dans des activités relevant de chacun des trois domaines qui génèrent la technologie, mécanique, électronique et gestion. Bien que cette situation

l'informatique,
outil transversal

soit favorable à une approche de l'informatique par les automatismes, une formation des professeurs très axée sur les contenus (les trois domaines ci-dessus), ne permet d'avoir à l'heure actuelle qu'un nombre trop restreint d'exemples d'innovation pour pouvoir avancer des propositions. Nous nous appuierons donc sur les programmes de l'école élémentaire pour montrer la faisabilité de l'approche proposée (en étant persuadés de sa transférabilité au niveau des collèges), programmes dont nous avons déjà dit la concision en termes de notions : reste à construire une démarche étayée sur des situations où l'on rencontre ces notions, et mettant en œuvre les concepts d'information et de fonction.

Dans un précédent article d'Aster, J.-L. Canal ⁽¹⁰⁾ a fort bien montré qu'en proposant aux enfants (de cours moyen : 9 à 11 ans) des situations avec des composants de base de l'électronique (diodes, transistors) ou des électromécanismes (relais et moteurs), ces enfants pouvaient réaliser des opérations de modélisation. Dans ces activités, les concepts d'information et de fonction sont centraux, dans le sens d'échanges d'information et de fonction technique (organique) :

- échange d'informations entre un circuit émetteur et un circuit récepteur, changement de forme entre une action mécanique (sur l'interrupteur) et action lumineuse (allumage de la diode ou de la lampe), rôles précis des capteurs et des effecteurs...
- fonction organique de la structure que l'on analyse et que l'on cherche à reproduire sous forme de maquette, dans le cas du relais électromagnétique, ou du transistor vu comme interface entre deux circuits, caractérisés par leurs niveaux de tension...

des activités
simples pour
aborder l'étude
des automatismes

Ces activités abordent une grande partie du champ des automatismes et ce, sans faire appel à un ordinateur. Est-il d'ailleurs nécessaire de recourir à un ordinateur pour allumer et éteindre une lampe, faire tourner et arrêter un moteur ? Mais elles n'abordent pas les aspects codage de l'information et références sociales (usage) de la fonction, ce dernier étant il est vrai inutile à une démarche de modélisation. En poursuivant la démarche de J.-L. Canal, en introduisant des problèmes liés aux codages des informations utilisées, on introduira chez les enfants les notions de programme et donc de langage pour les formuler (en en choisissant un qui soit adapté à la fois à leurs capacités et aux structures logiques que l'on veut pointer, pourquoi pas Logo ?). Le souci de faire référence aux objets existants, qu'on ira donc observer, et le maniement de l'analogie dans la réalisation de maquettes conduiront les enfants au nécessaire agencement des ordres (sous la forme d'organigrammes simples qui pourront ultérieurement évoluer vers le grafset).

(10) Jean-Loup CANAL, "De l'interrupteur au relais électromagnétique, du relais électromagnétique au transistor", *ASTER n° 7 Modèles et modélisation*, Paris, INRP, 1988.

Même s'il ne se révèle pas fondamental pour ces suites d'activités ⁽¹¹⁾, l'ordinateur s'avère bien utile pour accéder au codage de l'information et au pilotage d'une maquette dès qu'elle comporte un nombre même réduit d'actionneurs.

Sans être de type impositif, et encore moins dogmatique, mais cependant rassurante pour les maîtres, cette démarche reste proche de la progression des objectifs définis par un enseignant qui veut "conduire" ses élèves à la notion d'automatisme, tout en abordant tous les aspects.

Un autre exemple de démarche, plus heuristique (plus technologique ?) consiste à proposer d'emblée aux élèves la construction d'une maquette, dont on définira d'abord le cahier des charges. On trouve des exemples de projets de ce type, mis au point par des formateurs, dans plusieurs ouvrages ⁽¹²⁾, mais leur abord nécessite l'entremise d'une action de formation (c'est leur objectif) pour être totalement transférables par un maître rassuré dans sa classe. Dans une telle approche, ce sont les enfants (ou groupes d'enfants) qui, à mesure de l'état d'avancement de leur projet vont être confrontés à des obstacles de même nature que ceux qui peuvent être prévus dans une construction de séquences, qu'ils énonceront et qu'alors le maître aidera à franchir au cours d'une étape dérivée de leur réalisation. Assurément plus ardue à gérer qu'une progression bien établie, par suite de la diversité des activités des élèves, une telle démarche pédagogique requiert pour le maître un outil lui indiquant l'architecture des concepts en jeu, qu'il va rencontrer parmi ceux que nous avons déjà analysés.

En pratiquant l'une ou l'autre de ces deux approches, on rencontre toutes les notions constitutives des deux concepts, avec la certitude de la progression dans le premier cas, l'obligation liée à la complexité de tout objet réel dans le second. On applique ou on réinvestit les acquis précédents dans la première méthode : le moteur étudié peut faire monter ou descendre la barrière d'un passage à niveau, qu'on a équilibrée, comme celle qui se trouve à la sortie du bourg. Elle entre en action lorsqu'un train se présente, pour être fermée trente secondes avant son passage, tandis qu'une lampe rouge (ou une diode électroluminescente) clignote pour avertir les automobilistes..., et il a fallu agencer chronologiquement toutes ces actions.

suivant deux
démarches
possibles

(11) Les automates industriels n'utilisent pas toute la structure complexe d'un ordinateur et il est possible, à des fins pédagogiques de construire des maquettes de tels automates avec quelques éléments, microprocesseur, mémoire et horloge. Néanmoins des activités de ce type réalisées avec le matériel en poste dans les établissements, très souvent de la gamme Thomson, et si souvent décriés, leur donne une excellente raison d'être et, qui sait, une seconde jeunesse !

(12) Voir par exemple : Ricardo ROMERO, *Je construis des robots*, Paris, Retz, 1986, Joël LEBEAUME et Jacques TOUSSAINT, *Expériences d'électronique et de robotique au CM*, SUFMM, Université d'Orléans, Orléans, 1986, Patrice VENTURINI, *Éléments pour l'introduction de réalisations "robotiques" à l'école*, Ecole Normale, Toulouse, 1985.

On les découvre comme réponses aux problèmes posés par la réalisation de plus en plus fine de la maquette dans la seconde méthode : pour construire la maquette de la barrière qu'on a été observer, il faut pouvoir l'actionner dans les deux sens ; est-ce qu'un moteur peut le faire, ne le fait-il pas trop vite ? Peut-on le commander à distance, et comment détecter le passage du train ? Est-ce que simultanément on peut faire clignoter un signal rouge, avec une lampe ou un autre objet ?

Cet exemple bien connu n'est évidemment pas le seul possible (personne ne pense à une pédagogie de la barrière de passage à niveau !), mais on constate que par sa réalisation ou son étude on retrouve toutes les notions figurant dans les programmes d'une part (électromécanismes, électronique, robotique), celles de la grille d'analyse d'autre part. Il semble donc bien possible d'établir une cohérence, par l'étude des automatismes, entre les programmes de Sciences et Techniques et les concepts d'information et de fonction qui sont à la base de l'informatique.

1.4. Une description ouverte aux évolutions

Le passé de l'informatique est encore trop récent pour qu'on puisse imaginer une stagnation des savoirs à son égard. Si certaines directions de recherche semblent pleines d'espoirs, si elles ne sont déjà en voie d'application dans les domaines de pointe, il en est au moins deux qui devraient interroger le monde de l'enseignement dans un proche avenir: l'intelligence artificielle, en tant que nouveau mode de dialogue avec les machines, et les réseaux d'ordinateurs, visant à l'accroissement et la diversification des capacités de ces machines.

Si le second domaine présente des conditions d'application en situation d'enseignement encore bien utopistes, l'intelligence artificielle par contre, en acceptant de sortir du cadre trop confiné où elle se cantonne pour le moment ⁽¹³⁾, devrait ouvrir des perspectives nouvelles tant au niveau de la logique (le codage, mais aussi les échanges d'informations) qu'au niveau technique (les systèmes experts pour l'organisation, mais aussi l'agencement arborescent et les commandes conditionnelles). Dans le cadre de cet article il ne s'agit que d'indiquer qu'il y a là un domaine très ouvert (et certainement "rentable") de recherche pédagogique d'une part, mais que d'autre part, sans préjuger de leurs résultats, on peut avancer que notre description restera valide. Si les moteurs d'inférence viennent compléter le côté codage, les systèmes experts s'ajoutent côté organisation aux mémoires telles que nous les connaissons actuellement. Dans le contexte social, les ateliers flexibles constituent un nouveau domaine d'utilisation et l'existence future de super-ordinateurs amènent de nouveaux exemples d'échanges d'informations. Bien que réductrice, comme toute schématisation, cette description montre qu'une fois de plus des apports à l'informatique s'analysent en termes de fonction et d'information.

ouverture à de
futures situations
d'enseignement

(13) Il est par exemple dommage que la version pour appareils Thomson de Prolog ne permette même pas d'adressage pour le pilotage de petits automates dès l'école élémentaire.

2. DU CÔTÉ DE L'APPRENANT : QUELQUES ASPECTS PÉDAGOGIQUES

Dans le domaine de la didactique, regarder du côté de l'apprenant c'est prendre en compte deux relations : d'une part celle qui définit les conditions d'interaction entre l'apprenant et l'enseignant et qui est régie, dans un contexte de savoir donné, par ce que certains auteurs qualifient de contrat didactique, que d'autres plus évasivement définissent comme le domaine de la pédagogie ; d'autre part, la confrontation constructive entre l'apprenant et le savoir à transmettre, qui met en jeu les idées et conceptions préalables du sujet, comme dans tout processus d'apprentissage. Si elle n'est pas, aux niveaux où nous nous plaçons, objet d'enseignement, mais bien support de situations où l'on mettra en œuvre les deux concepts d'information et de fonction, l'informatique doit être l'occasion par son caractère individuel d'une mise en place privilégiée de travaux par projets et donc de définition de contrats entre enseignant et élève. Ces contrats seront d'autant plus efficaces qu'ils seront explicites et partagés. Au cours des situations de résolution de problèmes que rencontreront les enfants dans la progression de ces projets, les apprentissages se forgeront par dépassement d'obstacles sur lesquels buteront les élèves : les observations déjà réalisées dans de nombreuses classes montrent que quelques uns reviennent très fréquemment, et qu'ils peuvent être analysés comme difficultés à la construction d'une pensée scientifique. C'est donc sur eux que les objectifs de l'enseignant doivent se focaliser que ce soit à l'Ecole élémentaire ou au Collège, les savoir-faire proposés prenant appui sur ces obstacles afin d'arriver progressivement à leur dépassement.

2.1. Un travail sur projets

placer les apprenants en situation d'activité

Tous les conseils donnés aux enseignants sous formes de commentaires de programmes ou de compléments aux instructions indiquent, dans le domaine des automatismes, de faire travailler les élèves par projet (que ce soit à l'Ecole élémentaire ou au Collège). S'il est vrai que nous nous plaçons dans une hypothèse d'apprentissages où l'enfant construit son propre savoir, nous ne voulons pas entrer dans les controverses dichotomiques entre partisans de pédagogie de projet et ceux de projet technique. Ce qui, sous son double aspect pédagogique et technique, semble important est de mettre les élèves en situation de réaliser la mise au point d'un système qu'ils avaient projeté. Ce système doit avoir un caractère technologique, et sa réalisation est bien plus un moyen pédagogique qu'une fin en soi : sans avoir de finalité pré-professionnelle, c'est néanmoins toute une démarche qu'il est demandé aux enseignants d'appliquer, en rupture avec des pratiques antérieures soit d'enseignement dogmatique (favorisant l'abstraction), soit de construction de "gadgets" (dont le rôle éducatif était souvent bien mince). Une démarche de ce type peut se schématiser de la

façon suivante (figure 7), qui met l'accent sur son aspect évolutif :

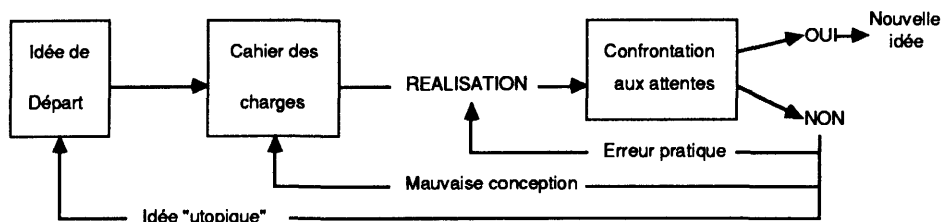


Figure 7 : schématisation de la démarche de projet

dans une
démarche de
projet

Si l'enseignant peut intervenir de façon discriminante lors de la première phase, évitant par ses conseils des projets irréalisables (problèmes matériels ou liés aux niveaux des élèves), introduisant dans le projet des éléments qu'il sait faire obstacle aux élèves, toute la suite sera prise en charge par le groupe d'apprenants, de la définition du "cahier des charges", la recherche des éléments nécessaires (matériels et documentaires), à la réalisation et son analyse. Si cette analyse est conforme aux attentes du groupe (la réponse est alors OUI), une nouvelle idée va relancer le travail dans une direction qui, avec l'aide du maître, va rendre le système plus complexe par l'introduction de nouveaux éléments devant s'intégrer aux précédents, et correspondant à un nouveau problème à résoudre (donc un nouvel obstacle à franchir).

Le domaine des automatismes est riche d'exemples de réalisations de systèmes suivant un tel schéma, ces réalisations étant souvent simples et attrayantes, et ce pour plusieurs raisons :

- la structure de base de ces systèmes est toujours la même :
Capteur -----> Système Logique -----> Actionneur
- les éléments à mettre en œuvre, composants ou modules, sont suffisamment simples à utiliser, soit du fait d'une forte intégration (circuits d'interfaçage, par exemple), soit par leur constitution (ampoules, boutons-poussoirs, interrupteurs à lame souple...);
- la possibilité d'utiliser une programmation simple pour la partie commande, qui met à la portée des élèves, dès le CM, des montages qui auraient demandé sans elle des compétences élevées en électronique.

en liaison avec
des exemples
réels

La confrontation de la réalisation se fera par rapport aux attentes du groupe, bien sûr, puisqu'il faut que le système conçu soit conforme à ce que l'on attendait, mais aussi confrontation avec la réalité sociale, avec les pratiques de la vie courante ou industrielle dont on s'est plus ou moins inspiré : la maquette de feux tricolores du carrefour doit comporter un moment où les deux feux sont rouges pour prévenir le passage

d'un "retardataire fautif" ; le chariot va-et-vient de transbordement, maquette d'un manipulateur de palettes, doit marquer un arrêt en bout de course pour ne pas perturber le chargement d'un nouveau colis par un brusque embrayage du moteur ; la maquette du manège pour enfants doit être munie d'un signal sonore informant les passagers du départ, mais aussi d'un dispositif d'arrêt d'urgence pour prévenir tout incident...

Si les maquettes donnent parfois lieu à critique par leur côté apparemment ludique, leurs réalisations mettent néanmoins en œuvre, à l'échelle des élèves, un très grand nombre de techniques de construction, et présentent au niveau du pilotage les mêmes problèmes qu'un système de taille réelle. Cependant les réalisations possibles dans le contexte scolaire ne sont pas toutes du domaine de la maquette, comme le prouve ce dispositif de comptage des personnes entrant dans une pièce ou dans l'enceinte de la fête de l'école, et qui prévient par un signal sonore de l'atteinte de l'effectif limite, réalisation mise réellement en œuvre par une classe dont le maître rentrait d'un stage de formation continue.

Projet technique, pédagogie du projet ? Ce qui nous semble important dans cette démarche est la nécessaire définition et le respect d'un contrat entre les élèves et l'enseignant. Si dans toute activité d'enseignement ou de formation, qui met en présence des apprenants et un enseignant ou un formateur, un contrat est passé, ne serait-ce qu'au niveau de la transmission du savoir, il apparaît dans ce genre d'activité que les règles de fonctionnement du groupe classe doivent être clairement définies. Dans les situations évoquées, sans donner de rôle secondaire aux savoirs, c'est sur les savoir-faire que l'accent est mis, et c'est sur cet apprentissage de savoir-faire que le contrat doit principalement porter. Cette décentration des objectifs, des savoirs vers les savoir-faire, estompe le pouvoir qu'instaure habituellement un enseignant dans sa classe ; s'il peut se sentir détenteur de certains savoirs, l'acquisition de savoir-faire requiert bien plus de relations aux objets de la part des apprenants, et d'implication personnelle dans les projets. Le contrat doit alors être clairement explicité en ce qui concerne les tâches des élèves ou des formés en stage : mener à son terme la réalisation d'un système automatisé et ce, quel que soit le nombre d'étapes mises en jeu par le groupe. Chaque groupe a ainsi, dans le cadre des contraintes définies, une très large autonomie de progression vers les objectifs affichés. Par rapport aux objectifs notionnels visés dans l'activité, on peut avancer que si dans une classe plusieurs groupes ont répondu et mené à bien, soit parallèlement, soit successivement plusieurs réalisations, on peut aisément faire l'hypothèse que les différentes fonctions communes à tous les systèmes informatiques apparaîtront lorsque chaque groupe présentera aux autres sa réalisation, et qu'on l'analysera en commun.

En le rendant ainsi explicite tant sur les tâches à réaliser que sur les objectifs de ces activités : comprendre le fonctionnement

des activités
centrées sur les
savoir-faire

respectant un
contrat explicite

d'automatismes simples et par là, le principe de fonctionnement de l'ordinateur, et bien qu'il conserve quelques éléments implicites, telles les situations-obstacles que l'enseignant introduira pour permettre la progression des élèves par rapport au schéma du savoir transposé qu'il s'est forgé, ce contrat possède un caractère pédagogique, comme le note A.-M. Drouin ⁽¹⁴⁾. Par cette répartition des apprenants en groupes de travail, dont l'autonomie n'est limitée que par la tâche à réaliser (et peut-être quelques problèmes matériels), le contrat établi n'a plus le caractère essentiellement implicite du "contrat didactique" des séquences centrées sur l'apprentissage d'un savoir.

2.2. Prendre en compte les représentations des apprenants

Il a souvent été noté dans le domaine de la didactique, des sciences en particulier, le rôle fondamental des idées préalables des apprenants dans les processus d'apprentissage. Des raisonnements spontanés aux pré-conceptions, des "mis-conceptions" des anglo-saxons aux représentations, tous les auteurs ont pointé leur nature bloquante par rapport à l'évolution des connaissances, proches de ce que Bachelard qualifie d'obstacle à la pensée scientifique. En tant que domaine scientifique, a fortiori en le regardant sous l'angle des automatismes, l'informatique ne fait pas exception et l'analyse de situations de travail ou de formation permet de faire ressortir quelques obstacles très fréquents et qui, dans les situations variées proposées, se retrouvent sous des formes très semblables. Leur dépassement correspond à un réel progrès des connaissances en informatique, ce qui doit conduire l'enseignant ou le formateur à ne pas les négliger, voire à susciter des occasions pour les faire émerger et créer ainsi les conditions de confrontation.

Les deux premiers obstacles que les apprenants rencontrent, et que nous ne ferons que mentionner ici, s'apparentent à ce que Bachelard qualifie d'expérience première et d'antropomorphisme ⁽¹⁵⁾. La première prise de contact avec un ordinateur et la non-compréhension de son fonctionnement lui font attribuer des propriétés "magiques", merveilleuses voire fascinantes, qui subjuguent bon nombre d'enfants, et dans lesquelles les activités à caractère ludique les maintiennent : même en mettant au point une stratégie algorithmique pour réussir, comme on le voit souvent pratiquer lors de l'exploitation de logiciels de jeux, l'enfant ne progresse pas dans la connaissance de l'ordinateur, celui-ci reste le maître face à l'exécutant. Dépasser cet obstacle, c'est rendre l'apprenant capable de maîtriser les ordres qu'il donne à l'ordinateur qui les

des
représentations
qui font obstacle

(14) Anne-Marie DROUIN, "Sur la notion de contrat didactique", *ASTER n° 1, Apprendre les sciences*, Paris, INRP, 1984.

(15) Gaston BACHELARD, *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin, 1938.

exécute, et correspond donc à un renversement des rôles. Aborder les automatismes dans un but de construction et de fonctionnement permettra ce dépassement, mais en se confrontant à un second obstacle, du domaine de la représentation imaginaire, induite par les termes utilisés : automates et robots sont souvent associés à des formes (et des comportements !) humains ou animaux ; les exemples historiques appuient d'ailleurs en ce sens, et nombre d'éléments de la "culture" extrascolaire des jeunes enfants renforcent cet aspect (des bandes dessinées aux dessins animés par exemple, sans oublier nombre de jouets). Une enquête auprès de plus de mille enfants, réalisée avant une exposition à l'Inventorium de la Cité des Sciences et de l'Industrie de La Villette, confirme cet aspect imaginaire chez de nombreux enfants : pour cinquante à soixante pour cent d'enfants seulement, un robot est une machine faite pour travailler, mais c'est aussi "le copain" des enfants, jouet ou super-homme ⁽¹⁶⁾. La référence à des pratiques sociales et industrielles (par visites de sites, enquêtes, analyses de documents...) doit permettre de lever aisément cet obstacle.

Trois autres obstacles vont s'avérer prégnants et méritent qu'on les regarde précisément d'un point de vue didactique : le "modèle circulatoire" du courant électrique est le premier, celui que nous appellerons "l'obstacle de la minuterie" ensuite, et enfin celui de la "numérisation", ou difficulté à concevoir un problème électrique en termes de niveaux de tension.

- Le modèle circulatoire du courant est, on le sait par de nombreuses études, un modèle qui n'est pas spontané chez nombre d'apprenants, et c'est souvent une tâche ardue que d'arriver à faire construire une représentation alliant un sens précis du courant à la relation de conservation de son intensité dans un circuit simple. Une fois construit, ce modèle applicable aux situations d'électrocinétique, va s'avérer être un obstacle dans les situations d'électronique, où des portions de circuits, bien qu'en contacts apparents les unes avec les autres n'échangent plus de courants. Ce modèle circulatoire, plus ou moins basé sur des analogies matérialisantes (telles l'analogie hydraulique ou le mouvement de "particules"), et qui "substantialise" le courant électrique s'avère opératoire lorsqu'on étudie des circuits électriques où les effets du courant sont les observables privilégiés, qui se traduisent par des phénomènes énergétiques (allumages, mises en mouvement, échauffement...). Et ce modèle circulatoire, qui a fait les beaux jours de l'enseignement classique de l'électricité reste très présent chez les étudiants, voire les enseignants, conduisant à des raisonnements "séquentiels" d'analyse des circuits ⁽¹⁷⁾.

qui matérialisent
l'information,

(16) Brigitte ZANA, "Portraits-Robots", Télésondage, Paris, Inventorium, CSI - La Villette, 1988.

(17) Jean-Louis CLOSSET, "D'où proviennent certaines erreurs rencontrées chez les élèves et étudiants en électrocinétique...?", *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 657, Paris, 1983.

Or dès l'utilisation de composants simples d'électronique, tels les transistors ou les portes logiques, c'est en terme de tension, donc de présence ou non d'information déclenchante que l'analyse doit se conduire.

Peut-être la solution est-elle de ne pas essayer de construire à grand'peine, chez les enfants, un tel modèle circulatoire ; de s'en tenir, au niveau des circuits, à reconnaître la condition de continuité de conducteurs, et d'interpréter l'allumage de l'ampoule ou le fonctionnement du moteur comme l'action déclenchée par la présence d'information au niveau de l'interrupteur. Les rôles du transistor, de la porte logique, de l'interface seront alors simplement des transmetteurs d'information, entre circuits autonomes énergétiquement (en première approximation).

• Le second obstacle important, que l'on rencontre fréquemment chez les apprenants (enfants, adolescents, adultes), nous le qualifierons "d'obstacle de la minuterie" ; il est peut-être moins profondément ancré que le précédent, et donc plus facilement dépassable, mais tout aussi fréquent. Après avoir assez rapidement réussi à communiquer un ordre exécutable à la machine (allumage d'une ampoule, mise en marche d'un moteur...), la tentation est grande d'en donner immédiatement un second pour réaliser une action similaire (allumage d'une seconde ampoule, recul du moteur,...). Or, si le succès a couronné le premier ordre, il n'en est pas de même du second, malgré la stricte duplication des conditions à exécuter : la seconde ampoule s'allume... mais la première reste allumée ; l'ordre de recul du moteur ne produit aucun effet (ou simplement son arrêt). Tout se passe chez l'apprenant comme si l'état du second actionneur (ampoule, relais tampon du moteur) était dépendant de l'état du premier : lorsqu'on active la seconde sortie (on la place alors à un niveau haut de tension) la première devrait, puisqu'on ne s'y intéresse plus, revenir automatiquement à un niveau bas, être désactivée. Or dans les systèmes simples utilisés, les diverses "sorties" (sous-entendu, d'information de l'ordinateur) disponibles sont indépendantes : deux (ou plus) ampoules peuvent être simultanément allumées, les deux relais du système d'inversion de sens du moteur peuvent être simultanément actifs (mais alors le moteur n'est plus alimenté...et ne tourne pas).

La seconde tentative ne répond pas aux attentes de l'apprenant car les conditions initiales ne sont pas identiques à celles de la première tentative. La représentation qui fait obstacle ici est semblable au comportement que l'on a dans une pièce où l'on ne réside pas : *"J'allume la lumière en entrant, et la minuterie s'éteindra quand je serai sorti !"*. La minuterie réalise, pour l'utilisateur, la remise à zéro qu'effectuent nombre de machines industrielles ... parce qu'elles sont commandées pour. Mais sans ordre de remise à zéro, il n'y a aucune chance que le système l'effectue seul : un ordre ne cesse pas au bout d'un certain temps.

Dépasser cet obstacle, c'est être capable d'analyser à tout moment l'état du système que l'on pilote et en particulier

qui relient entre
elles des
informations
indépendantes,

distinguer l'état arrêt-intermédiaire de l'état initial (souvent nécessaire aux références). Il reste bien sûr toujours possible de rendre, par programmation préalable, les diverses sorties dépendantes les unes des autres. Le système devient alors plus complexe dans l'analyse de son fonctionnement, et la notion d'information élémentaire n'est plus accessible. L'objectif de l'apprentissage serait donc évacué...

• Troisième obstacle fréquemment rencontré, c'est la difficulté à raisonner en termes de niveaux discrets ("fixes") de tension, en opposition avec les situations classiques d'électrocinétique où la tension peut apparemment varier de façon continue (la "bonne vieille loi" $U = R.I$). Et pourtant l'environnement fournit de plus en plus d'exemples de dispositifs à affichage numérique (des montres aux divers compteurs), que l'on pourrait penser constituer des pratiques de référence. Cette difficulté se manifeste de deux façons, soit par une recherche systématique de grandeurs continues (l'effet sera plus ou moins grand suivant la valeur de la cause), soit par la conception d'une nécessaire remise à zéro lors de l'arrêt de l'alimentation énergétique (si l'on coupe l'alimentation, tous les composants deviennent inactifs, et l'inactivité est synonyme de zéro).

On reconnaît dans la première forme une application abusive de la causalité linéaire, qui fonctionne souvent bien dans l'étude de phénomènes macroscopiques (électrocinétique, propriétés de la matière, mécanique élémentaire...). Mais c'est cette causalité qui est appliquée lorsque des enfants ou des adultes proposent de réduire la vitesse de rotation d'un moteur trop rapide en diminuant, sans succès, la "force de la pile" (les frottements mécaniques et électromagnétiques deviennent vite prépondérants).

La seconde forme n'est pas très éloignée, au niveau du raisonnement, de l'obstacle précédent et peut s'exprimer par : "*Si j'ai décidé d'arrêter (ou de faire autre chose), la machine doit également s'arrêter et revenir à son état initial*". Or comment comprendre alors le fonctionnement des mémoires mortes, ou plus simplement de tout enregistrement d'information (cassettes sonores, photographies...)? Le niveau d'inactivité, trop souvent qualifié de zéro, n'est pas le même pour tous les phénomènes : tout en étant inactif, un système peut contenir de l'information. C'est aussi cet obstacle qui est à l'origine de l'assimilation du fonctionnement des entrées à celui des sorties, que les apprenants cherchent à utiliser de la même façon. Lorsqu'un capteur est branché sur une "entrée" (sous-entendu, d'information de l'ordinateur), suivant le type de branchement effectué, son niveau passif peut correspondre à l'état actif d'un actionneur qui lui ressemble : le niveau haut de tension. Dans une barrière lumineuse (ou infra-rouge) de détection de passage d'individus ou d'objets par exemple, le capteur-cellule (un photorésistor ou un phototransistor) est constamment éclairé lorsqu'il n'y a pas de passage. L'information détectée par l'ordinateur, et qui correspond à une coupure du faisceau, est le brusque changement de niveau (d'état) lumière-obscurité du capteur. Dans la

ou assimilent état
et contenu

logique des apprenants pourtant, l'ordinateur est interrogé sous la forme : est-ce que la cellule est active (éclairée) et si oui, il y a passage. C'est là encore une difficulté liée à la notion d'état d'un système. Mais si précédemment il s'agissait de repérer pour décrire des changements d'état (aspect dynamique, donc d'échange d'information), c'est ici l'état statique du système qui est en jeu, et l'on touche une signification plus profonde de la notion d'information qui dépasse la définition simple de J. de Rosnay sur laquelle nous nous étions arrêtés pour les niveaux scolaires envisagés.

Le dépassement de cet obstacle n'apparaît pas chose simple : la mise en œuvre d'activités sur les automatismes sera une occasion de fournir des situations où les apprenants y seront confrontés. L'aide du formateur ou de l'enseignant pourra leur permettre de le dépasser, en concevant qu'un système peut être décrit par un ensemble d'états. Mais l'apprenant aura déjà dû rencontrer des situations de "tout ou rien" pour mettre en doute la causalité linéaire, et des situations analysées en terme d'information enregistrée ou mémorisée (et nous renvoyons de nouveau à l'article de J.-L. Canal).

2.3. Des situations d'évaluation formative

Comme toute situation d'apprentissage, un enseignement d'informatique nécessite des moments d'évaluation. Cette évaluation est nécessaire pour l'enseignant qui doit pouvoir suivre l'évolution de ses élèves, afin de les aider dans leurs progressions, tout en étant garant des objectifs qu'il a choisis en tenant compte des programmes et de la représentation qu'il a des contenus à acquérir. Mais elle est également nécessaire pour les apprenants qui doivent pouvoir exprimer leurs acquisitions et mesurer les manques à combler. Ce sont là des caractéristiques d'une évaluation que l'on qualifie de formative, par opposition à un bilan terminal qui ne fait que constater un état sans chercher à porter de remède. Or les aspects pédagogiques qui ont été abordés (travaux sur projet, établissement d'un contrat, finalité d'une réalisation...) constituent un cadre privilégié pour mettre en place un tel type d'évaluation.

- Faire travailler les élèves par groupe sur des projets élaborés par le groupe oblige chaque apprenant à être partie prenante des objectifs d'apprentissage. Les objectifs de savoir-faire apparaissent plus facilement lors d'un travail de réalisation à caractère technique : savoir brancher une lampe, la faire clignoter, savoir mettre en marche un moteur, le faire fonctionner dans les deux sens, savoir équilibrer une barrière... Mais les objectifs notionnels ne sont pas absents de cette réalisation et de son pilotage ; l'enseignant aura soin d'introduire dans le projet des situations où les élèves auront de fortes chances d'être confrontés aux obstacles qu'il aura repérés, comme de faire décrire le fonctionnement des circuits en termes d'actions et non de courants, de faire expliciter la logique du clignotement d'une ampoule, de faire distinguer les ordres mémorisés momentanément des programmes résidents...

des savoir-faire
constamment
interrogés

Les deux notions de fonction et d'information seront rencontrées sous leurs deux aspects respectifs, mais d'autres notions seront également abordées (énergie, espace-temps, mouvement,...), qui constitueront des acquis pour des exploitations ultérieures ou bien des réinvestissements ou prolongements et qui, donc, étayeront les connaissances des apprenants.

prendre en compte la vitesse d'acquisition de chacun

- Faire travailler les élèves sur la base d'un contrat clairement défini et public permet de donner à ce travail un caractère évolutif et formateur. Evolutif, car l'élève devient conscient que l'apprentissage qu'il lui est demandé d'acquérir se répartit sur plusieurs phases ou plusieurs séances et qu'il peut, dans la limite du temps de travail, agencer les diverses étapes de son apprentissage. Une grille de suivi des progressions individuelles peut être utile pour aider chacun (en accord avec l'enseignant) à mesurer le degré d'acquisition des différents objectifs définis. Formateur, car l'apprenant progressant à sa vitesse, élabore lui-même, avec l'aide de l'enseignant, son propre cheminement. Dans un contexte différent, puisqu'il s'agit bien souvent de productions de série, de tels contrats sont régulièrement définis entre partenaires sur les sites industriels. Donner aux élèves une première occasion de prendre en charge leur apprentissage n'est pas incompatible avec les finalités du système éducatif. Bien sûr, dira-t-on, le contexte scientifique et technique est particulièrement favorable pour permettre la mise en œuvre de tels contrats au sein d'une classe. Est-ce vraiment impossible pour des activités de production de textes ou d'outils mathématiques (avec ou sans ordinateur) ?

- La consigne du travail est de réaliser un système qui fonctionne. L'évaluation terminale est alors évidente si le système fonctionne effectivement. Mais la démarche progressive par étapes du projet fait qu'à chaque étape le groupe d'apprenants doit être confronté à une telle évaluation. Si la maquette du feu rouge fonctionne correctement, c'est qu'on a su allumer et éteindre une ampoule, puis trois ampoules, qu'on a su repérer la succession chronologique d'allumage, en tenant compte des différences de durée entre les trois couleurs. On peut alors se lancer dans la réalisation d'un feu tricolore à deux cycles, un diurne et un nocturne (avec clignotement de l'ampoule orange), le passage de l'un à l'autre étant commandé par la valeur de la luminosité ambiante. Et si l'on réussit, quel succès !

la présentation du travail est une phase d'évaluation

- A la fin de la période dévolue à ce travail, chaque groupe présente sa réalisation aux autres élèves. En plus du caractère d'émulation dans chaque groupe que peut produire cette mise en commun, elle offre surtout l'occasion pour chacun de faire un point sur les acquis de l'activité, et à l'enseignant un moment privilégié de synthèse et mise en ordre des notions rencontrées. Cette phase d'évaluation collective (les groupes donnent leurs avis) est un moment important de régulation où l'enseignant peut constater ce qui a été appris, faire émerger de nouveaux obstacles auxquels il portera remède lors d'une future activité.

Ce que nous avons voulu faire ressortir de cette analyse, c'est que l'approche de l'informatique par l'étude des automatismes et de la robotique permet de façon privilégiée de prendre en compte les capacités des apprenants. Au cours des activités proposées, ils seront les auteurs de leurs apprentissages. Les obstacles existent, qu'il faudra nécessairement dépasser pour réaliser cet apprentissage. Ils correspondent à des représentations des enfants soit initiales (animisme, imaginaire...), soit induites par l'enseignement (circulation du courant, "minuterie", numérisation...) (18). Mais l'enseignant, prenant appui sur une analyse des contenus en termes de concepts et de leurs relations, choisira ses objectifs en liaison avec ces obstacles.

revoir les
conceptions des
champs
disciplinaires

L'ensemble de cette démarche met en jeu les notions que la didactique a fait émerger ces dernières années (19). C'est donc une double justification qui est montrée ici. La première est que les concepts de la didactique, souvent nés et analysés dans des champs disciplinaires précis, sont transférables à un domaine nouveau d'enseignement. La seconde est que, à condition de le placer dans une analyse didactique, un domaine comme l'informatique, s'appuyant fortement sur une technologie "à la mode", peut devenir un outil d'enseignement performant au service des apprenants.

Dans le cas des automatismes, que nous avons voulu détailler dans cet article, il apparaît clairement que les champs disciplinaires de la physique et de la technologie sont concernés au premier chef... à condition d'avoir de ces champs disciplinaires une lecture moins figée que celle qui s'applique habituellement. Le concept d'information par exemple devrait devenir dans ces deux cas plus central, par toutes les applications qu'il recouvre. D'autres champs disciplinaires sont également concernés par une analyse didactique de l'informatique, en particulier les disciplines "instrumentales" (20). Mais ce n'est qu'au prix d'une telle analyse que l'introduction de l'informatique d'une part prendra du sens dans l'enseignement, et qu'on donnera d'autre part un sens au sein des champs disciplinaires aux activités que les programmes demandent de mettre en œuvre.

Jacques TOUSSAINT
Ecole Normale du Loiret, Orléans
Equipe de didactique des sciences expérimentales, INRP
Service Universitaire de Formation
des Maîtres et Formateurs, Université
d'Orléans

(18) Il serait possible, par une programmation préalable de l'ensemble ordinateur - ampoule d'éviter cet obstacle, mais nous passerions à côté de notre objectif de construction du pilotage séquentiel.

(19) voir par exemple : Jean-Pierre ASTOLFI et Michel DEVELAY, *La didactique des sciences*, Paris, "Que sais-je ?", PUF, 1989.

(20) voir les articles de André ROUCHIER et de Michel COLLETTE dans ce numéro.

