

VOUS AVEZ DIT INFORMATIQUE ET DIDACTIQUE ?

Jacques Toussaint

Un numéro dont le thème central porte sur l'informatique, dans une revue de didactique des sciences ? C'est un choix que le comité de rédaction d'Aster a accepté de faire à un moment où l'informatique, en s'imposant comme un fait social et culturel, devient également un fait d'enseignement, renouvelant de façon parfois importante les méthodes et points de vue de toutes les disciplines scolaires. L'informatique interroge donc la didactique, et il convenait de proposer les réponses de quelques didacticiens, des sciences en particulier, sur les relations qui s'établissent peu à peu entre informatique et didactique.

1. INFORMATIQUE ET ENSEIGNEMENT

1.1. Le cadre institutionnel

Depuis septembre 1985 l'informatique fait officiellement partie des outils à la disposition des maîtres et professeurs de l'enseignement français. Dans le corps des programmes et instructions pour l'école élémentaire (arrêté du 23 avril 1985) on retrouve le terme cité à plusieurs reprises, en français, en mathématiques, en sciences et techniques, mais pour le législateur le choix est clair : il ne s'agit pas d'un enseignement d'informatique, uniquement un nouvel instrument de ressource pour le maître, même si, par crainte peut-être de réticences, il a tenu à préciser qu'un horaire de cinquante heures devait, sur les deux dernières années de l'école élémentaire, être réservé à son étude du point de vue scientifique et technique ⁽¹⁾. Mais les domaines de cette utilisation ne sont toutefois pas limités et peuvent aller de la lecture et l'écriture ⁽²⁾, à la résolution de problèmes mathématiques ⁽³⁾.

un nouvel outil
pour les
disciplines
scolaires à l'école

- (1) "L'importance de l'informatique justifie qu'au cours moyen cinquante heures au moins lui soient consacrées". *Programmes et Instructions - Ecole Élémentaire*. Paris. Centre National de Documentation Pédagogique. 1985. p. 51.
- (2) "...la lecture se fait aussi sur un écran de télévision ou de micro-ordinateur...les divers moyens de produire (des signes) : imprimerie traditionnelle, dactylographie, informatique". Idem, p. 24 et 26.
- (3) "L'utilisation de l'informatique, à propos de la résolution d'un problème numérique ou géométrique, en particulier au cours moyen, permet d'initier l'élève à la recherche d'algorithmes et de développer ses capacités logistiques". Idem, p. 41.

Ces instructions, dont le caractère obligatoire est rappelé dans le texte de l'arrêté, ont été détaillées dans un ensemble de fiches complémentaires mettant encore plus l'accent sur l'aspect novateur de certains de ces choix : la culture du "futur citoyen de l'an 2000" ne peut ignorer l'informatique : "*Caractériser l'introduction de l'informatique à l'école comme celle d'une culture, c'est indiquer qu'il ne s'agit pas seulement d'apporter aux élèves une somme de connaissances et de compétences juxtaposées ; il s'agit de participer à la formation de leur personnalité, et de leur donner la vision d'ensemble d'une réalité complexe et globale*"⁽⁴⁾.

La réalité du terrain, mais aussi certainement les changements de responsables politiques ont modéré cette ambition de "*favoriser chez les enfants, par cet enseignement, le développement d'une culture technologique moderne*"⁽⁵⁾, et deux ans après, les objectifs officiels étaient restreints aux trois énoncés :

1. la familiarisation avec l'informatique pour tous les élèves;
2. la mise en œuvre des programmes et instructions officiels en mathématiques et en sciences et technologie au cours moyen;
3. l'utilisation de l'informatique comme instrument d'enseignement au service de toutes les disciplines.⁽⁶⁾

Au niveau des collèges, c'est surtout dans le cadre de la technologie que les programmes officiels proposent l'étude de l'informatique, en tant qu'élément transversal aux trois pôles qui sont choisis pour définir cette discipline, électronique, mécanique et gestion. Dans les programmes de physique, on trouve dans une page des commentaires de la classe de cinquième quelques références au fonctionnement d'un ordinateur et à son utilisation. Mais la physique en cinquième n'a plus une longue vie devant elle...

mais très discret
dans le
secondaire

Sans regarder du côté de l'enseignement professionnel ou de quelques classes à option explicite (seconde, première "informatique"), on ne retrouve inscrit d'enseignement d'informatique que dans les classes post-baccalauréat, sous forme de l'apprentissage d'un langage, ou comme outil de laboratoire. Bien sûr, peut-on objecter, l'informatique peut être un outil pour toutes les disciplines du collège ou du lycée. Mais est-il objet d'apprentissage pour les élèves... ou simple objet démonstratif à disposition de l'enseignant ?

Néanmoins, pour les maîtres et professeurs d'une part, pour les formateurs d'autre part, par delà les louvoisements des décideurs, la question reste de déterminer les contenus et méthodes d'enseignement, car les matériels, même souvent critiqués, existent dans les écoles et collèges depuis le plan Informatique

(4) *Fiche Informatique*. Compléments aux programmes et instructions du 15 mai 1985. Paris. Ministère de l'Éducation Nationale. 1985.

(5) *Idem* (4).

(6) Circulaire de la Direction des Ecoles. *Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale* n° 37, 22 octobre 1987. Paris. 1987.

Pour Tous, et les désirs des enfants sont grands devant ces objets que l'on aimerait bien utiliser...

1.2. Les premiers essais

La décision d'introduire l'informatique dans l'enseignement, lorsqu'elle a été prise, s'est appuyée sur les résultats d'un certain nombre d'innovations et de recherches à caractère didactique ou pédagogique, menées alors depuis plusieurs années tant à l'Institut National de Recherche Pédagogique (INRP), dans des laboratoires universitaires, souvent liés aux Instituts de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques (IREM) que dans quelques écoles normales, qui ont expérimenté la faisabilité de l'introduction de l'ordinateur dans l'enseignement.

une première
expérience
centrée sur les
méthodes
algorithmiques

- La première expérience "structurée" est probablement l'expérience dite des "58 lycées", placée sous l'égide de l'INRP, qui s'est poursuivie par celle des "10000 micro-ordinateurs", et qui, dès 1970, cherchait à "introduire l'informatique en tant que démarche de pensée nouvelle par le biais de disciplines existantes et donc de promouvoir une certaine rénovation pédagogique"⁽⁷⁾. Cette expérience a surtout eu pour objectif l'analyse et la mise au point de logiciels, soit d'enseignement assisté par ordinateur, soit de simulation. La plupart des réflexions menées "sont centrées sur les méthodes algorithmiques qui sont à la base des diverses applications de l'informatique..."⁽⁸⁾. Le micro-ordinateur est, dans cette expérience, un nouvel outil de laboratoire, aux capacités très importantes certes, mais sur lequel on ne s'interroge pas.

- Un second courant de recherche, impulsé par des didacticiens des mathématiques, chercheurs au sein des IREM ou enseignants de collèges et d'écoles normales a exploité les possibilités du langage Logo pour l'appropriation de l'espace par les apprenants et la découverte des premiers éléments de géométrie. Dès 1973, plusieurs équipes ont développé le langage mis au point par Seymour Papert dans une perspective constructiviste des apprentissages : "La présence de l'ordinateur, en particulier la médiation obligée qu'il réalise entre l'enfant et la réalisation est ici essentielle. Il permet de déléguer un grand nombre de pouvoirs classiques du maître en matière de décision sur l'exactitude des réponses de l'élève à la diligence de ce dernier"⁽⁹⁾.

L'orientation ici est celle de l'apprentissage et l'utilisation d'un langage particulier pour permettre le développement de capa-

(7) Monique SCHWOB. "Les sciences physiques dans l'expérience des 58 lycées". *Actes des Quatrièmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique*. Paris. André Giordan et Jean-Louis Martinand éditeurs. 1982.

(8) Monique SCHWOB. Idem (7).

(9) André ROUCHIER. *Théorème du trajet total de la tortue et trace des polygones réguliers*. Orléans. Collection Recherche n°3. IREM. 1985.

une autre
prenant appui sur
les apprentissages
des élèves

une troisième
visant le
développement
d'une culture

cités et de connaissances dans le domaine de la géométrie : *"La question qui se pose en effet est de savoir si dans ces tranches d'âge, il est possible que les enfants acquièrent la capacité d'écrire des programmes simples, non pas en vue de la seule maîtrise de l'informatique, mais pour élaborer par eux-mêmes un projet, le tester et en tirer ainsi une expérience modélisante"*⁽¹⁰⁾. De l'apprenant utilisateur de la machine, on est passé au programmeur, même si le langage de programmation est conçu pour permettre *"de décrire des actions et des états simples de manière compréhensible et non ambiguë pour des enfants"*⁽¹¹⁾.

• Une troisième direction de recherche s'est axée sur le développement d'une culture technique au collège, mais aussi dès l'école élémentaire, dans le cadre de l'enseignement de la technologie. En 1984, la Direction des Ecoles proposait dans seize écoles normales une action d'expérimentation sur l'introduction de l'informatique technologique (automates programmables et robots) à l'école élémentaire : *"Les enfants doivent acquérir les rudiments d'une culture informatique dont la robotique constitue une composante... Il est souhaitable qu'ils puissent réaliser et commander eux-mêmes, dans le cadre d'activités scolaires, de petits automates ou de petits robots"*⁽¹²⁾. C'est une recherche d'ingénierie didactique qui doit mettre au point un matériel spécifique (interfaces et maquettes programmables) ainsi que les situations proposées aux enfants (des feux tricolores de carrefour aux mobiles bidimensionnels). L'aspect programmation est réduit à l'utilisation organisée de procédures (en Logo) ou de sous-programmes écrits (en Basic), l'attention de l'enfant est surtout requise sur l'architecture logique des actions à exécuter (l'organigramme) ainsi que toute la partie technique en amont : construction de la maquette, fonction des éléments utilisés, réalités sociales de l'objet... L'ordinateur, et donc l'informatique qu'il utilise, est à présent outil d'étude, permettant de réaliser rapidement des tâches fastidieuses ou encombrantes, supplantant l'être humain, mais ce dernier en conserve la maîtrise : il n'a plus de caractère magique.

Dans le même ordre d'idées, la technologie au collège, en rénovant profondément ses concepts et méthodes, propose l'informatique comme l'un des axes fondamentaux de son enseignement : *"L'informatique constitue un champ transversal étudié lors des activités proposées aux élèves en technologie"*⁽¹³⁾. Intégrée dans un tel enseignement, l'étude de l'infor-

(10) Jacques PERRIAULT. "Pratiques actives de l'informatique par l'enfant", *Recherches Pédagogiques* n° 111, Paris. INRP. 1981. p. 5.

(11) Isidore N'GOSSO, Frédérique ROBERT. Idem (10), p. 7.

(12) *Robotique*, rapport intermédiaire. Lyon. Direction des Ecoles, Ministère de l'Education Nationale. 1986. CRDP de Lyon.

(13) "Compléments aux Programmes et Instructions". *Collège, Technologie*. Paris. Direction des Collèges, Ministère de l'Education Nationale, CNDP. 1986.

matique cherche à dégager les concepts et méthodes de techniques largement mises en œuvre dans la vie industrielle et sociale, de la bureautique à la productique. Là aussi, un travail d'ingénierie didactique est à mener, afin de promouvoir matériels et situations correspondantes... mais aussi un travail de prise en compte des réalités professionnelles pour les transposer aux situations d'enseignement.

2. INFORMATIQUE ET DIDACTIQUE

L'informatique est donc entrée dans l'enseignement, parfois à grand renfort d'opérations médiatiques qui laissent un sentiment d'insatisfaction chez quelques uns : " *L'informatique scolaire nage en plein brouillard...*" titrait récemment un quotidien du soir ⁽¹⁴⁾. Mais par derrière des opinions au caractère accrocheur tout un travail de recherche a lieu afin de dégager un ensemble de possibles, recherches de faisabilité, recherches sur des contenus, sur des moyens, recherches innovantes.

2.1. Les domaines de recherche explorés

Sans avoir l'intention d'être exhaustif, nous voudrions regarder l'étendue de ces domaines, pour en faire ressortir la diversité, au niveau des objets d'étude (l'informatique sous tous ses aspects...) et au niveau des applications dans les classes (l'informatique pédagogique et / ou didactique).

- L'informatique est applicable dans de nombreuses disciplines d'enseignement, c'est alors un instrument facilitant pour l'enseignant (et les élèves) par rapport à l'apprentissage. C'est la mise au point ou l'adaptation de logiciels pour leur utilisation en classe : traitements de textes pour favoriser lecture et écriture, tableurs pour faciliter l'exploitation de données brutes ou expérimentales, programmes scientifiques de simulations de situations en direction de la modélisation (scientifique, économique, géographique, humaine, etc), un article d'un précédent numéro d'Aster a donné un tel exemple ⁽¹⁵⁾, jusqu'à la mise en œuvre de logiciels "adaptés" dans les enseignements pré-professionnels (gestion ou technique).

- L'informatique peut-elle être objet d'enseignement, devenant ainsi une nouvelle discipline avec ses questions, ses problèmes et donc ses contenus ? Alors une didactique de l'informatique doit exister, mettant en œuvre les concepts des autres didactiques et créant ses propres objets de savoir, comme par exemple

des directions de
recherche variées

(14) *Le Monde*, rubrique Technologie. Paris. 19 Septembre 1990.

(15) Alain DUREY, "Vers des activités didactiques de mise au point de modèles de physique avec des micro-ordinateurs", *Expérimenter, modéliser, Aster n° 8*. Paris. INRP, Département de didactique. 1989.

la récursivité : ce point de vue est développé dans deux articles de ce numéro, provenant d'équipes de mathématiciens.

- L'informatique peut-elle être un objet d'apprentissage, intéresser les élèves aux modes de fonctionnement et aux capacités des machines ? Il faut alors faire ressortir les concepts scientifiques et techniques qui sont mis en jeu dans cet apprentissage. Objet technique, son introduction dans l'enseignement doit prendre en compte les résultats des recherches en didactique des sciences et des techniques sur la structure des contenus à mettre en avant et les relations éducatives qui s'instaurent : c'est l'objet de deux articles de formateurs en physique et technologie.

- L'informatique peut-elle être un outil de mise en œuvre d'apprentissages, outil qui, par son caractère novateur et sa puissance de traitement, aura un statut particulier dans la "panoplie" de l'enseignant ? C'est un domaine riche de recherches multiples, dont nous retiendrons essentiellement la position privilégiée qui est accordée dans toutes à l'élève-apprenant. C'est le cas de travaux sur l'appropriation de l'espace par de jeunes enfants mettant en relation activités physiques et utilisation de mobiles informatisés ("tortue-plancher" pilotée en LOGO), de l'apprentissage de la musique par l'intermédiaire du langage LOGO également ⁽¹⁶⁾, de la mise en place de situations de lecture rendant l'enfant autonome (ELMO), de la mise en œuvre de langages-auteurs qui dégagent l'enseignant des contraintes de la programmation pour le focaliser sur l'activité éducative : un article présente une telle exploitation en situation de formation.

- L'ordinateur peut-il renouveler le sens de l'expérience dans les domaines scientifiques, en donnant une nouvelle signification aux notions de variables, de hasard, de fait scientifique ? C'est alors un changement de point de vue épistémologique qui est visé dans de telles situations, en exploitant la rapidité de traitement de la machine d'une part, sa très grande capacité à engranger des données d'autre part : la résistance d'un conducteur n'est plus le rapport de la tension à ses bornes par l'intensité du courant qui le traverse, mais le coefficient de corrélation du nuage de points (U,I), un acide chimique est directement caractérisé par la courbe de neutralisation qu'il fournit avec la soude, et l'on pourrait prendre d'autres exemples ⁽¹⁷⁾. Un article, décrivant l'exploitation d'images satellitaires, montre le changement nécessaire de point de vue des élèves sur la notion d'image scientifique dans le domaine de l'écologie.

Le questionnement didactique porte essentiellement sur la décontextualisation de savoirs fondamentaux et leur

(16) Paul CAUBISENS, *Musilog, Logo pour faire de la musique*, publication interne. Paris. INRP.1987.

(17) Collectif. *L'ordinateur, outil de laboratoire en sciences physiques*. Paris. INRP et UDP. 1985, 1987, 1988.

recontextualisation pour en faire des contenus d'enseignement. Nous ne proposons donc pas, dans ce numéro d'Aster, d'article sur la mise au point de logiciels pour l'enseignement ou sur l'utilisation précise dans une discipline de tel ou tel outil informatique. Par ailleurs, pour les autres domaines de recherche, il a fallu faire des choix et tenir compte des possibles : certains manques peuvent apparaître, ce qui était prévisible, et toute contribution ultérieure sera la bienvenue.

2.1. Les questions qui restent posées

On ne peut arrêter cette mise en relation de l'informatique et de la didactique sur ces quelques questions qui semblent toutes recevoir des réponses, ou du moins des amorces de réponses. Si ces questions portaient surtout sur les aspects de la concrétisation vers l'enseignement de l'informatique, un autre domaine, touchant à l'éthique, reste pour le moment dans les sphères du supputatif...

des questions
auxquelles il
faudra répondre

- L'introduction de l'informatique dans le système éducatif prend-elle en compte les finalités de développement d'une culture scientifique et technique ? En quoi l'informatique, par elle-même, contribue-t-elle à ce développement ? Peut-on aller jusqu'à avancer que l'informatique développe sa propre culture ? Un article propose ce point de vue en s'appuyant sur la diversité des moyens nouveaux mis à disposition des citoyens dans la société actuelle, diversité qui ne peut pas ne pas entraîner des ruptures dans les comportements de chacun, et donc la création d'une nouvelle culture. Mais dans le cadre de l'enseignement, ne risque-t-on pas de transférer la dérive démiurgique que relève P. Meirieu ⁽¹⁸⁾ du formateur vers la machine, et ceci d'autant plus facilement que la machine n'aura pas d'états d'âme !
- Est-ce que l'enseignement est prêt à accepter les mutations nécessitées par l'introduction de l'informatique ? Le reproche le plus fréquent qui a été adressé à cette introduction est le même que celui fait (et vérifié) lors de la tentative d'introduction des moyens audio-visuels : une "débauche de matériel" ne peut rénover spontanément des pratiques bien établies. On peut remarquer néanmoins que l'enseignement de l'informatique, bien plus que l'audio-visuel, a créé une dynamique de recherche sur les contenus et les moyens. Même si les solutions n'existent pas encore sous forme directement transférable, les enjeux éducatifs imposent que l'on réponde et que les choix soient faits par les décideurs.
- Est-ce que l'informatique peut créer un nouveau rapport au savoir et à sa communication ? Si l'analyse didactique des contenus met en avant de nouvelles notions, de nouvelles conditions d'apprentissage, et si l'acte d'enseignement est

(18) Philippe MEIRIEU. *L'école, mode d'emploi*. Paris. Editions ESF. 1985.

surtout une transmission de savoirs, est-ce que l'utilisation de moyens comme les banques de connaissances et leur accès facile (vidéotex et minitel) ne transforment pas le rôle de l'enseignant qui n'est plus le seul détenteur de ce savoir ? Cette question sur le statut du savoir est plus profonde que celle qui avait été posée par la mise à disposition instantanée d'informations par les moyens audio-visuels.

- Arriverons-nous un jour à "mettre l'esprit dans la machine", à réaliser et exploiter dans l'enseignement des machines artificiellement intelligentes ? C'est également un changement de statut du savoir qui est visé par cette interrogation : d'un savoir essentiellement déclaratif, qu'il s'agit pour les élèves de mémoriser pour l'appliquer, l'intelligence artificielle devrait permettre le passage à un savoir procédural, aidant les élèves à comprendre ce qu'ils font ⁽¹⁹⁾. Peu de travaux en didactique portent actuellement sur ce thème, pourtant prometteur.

- Enfin, comme le remarquait J.-L. Martinand, si l'on vise à des changements dans le système éducatif, il faut les envisager avec beaucoup d'ambition : " il ne servirait à rien de traiter séparément instruments, démarches, objectifs et formation des maîtres "⁽²⁰⁾. Quels changements cherche-t-on à introduire, avec quels moyens, pour quels contenus... et donc avec quelle formation des maîtres ?

Jacques TOUSSAINT
 École Normale du Loiret, Orléans
 Équipe de didactiques des sciences expérimentales, INRP
 Service Universitaire de Formation des
 Maîtres et Formateurs,
 Université d'Orléans

-
- (19) Michel CAILLOT. "L'ordinateur comme aide à la résolution de problème" in *L'informatisation dans l'éducation scientifique*. Actes des quatrième Journées Internationales sur l'Education Scientifique. Paris. A. Giordan et J.-L. Martinand éditeurs. 1982.
- (20) Jean -Louis MARTINAND. Introduction aux quatrième journées, in *L'informatisation dans l'éducation scientifique*. Actes des quatrième Journées Internationales sur l'Education Scientifique. Paris. A. Giordan et J.-L. Martinand éditeurs. 1982.

LA CULTURE INFORMATIQUE

Michel Mirabail

" S'il s'avérait que le savoir (au sens moderne de savoir-faire) et la pensée se sont séparés pour de bon, nous serions bien alors les jouets et les esclaves non pas tant de nos machines que de nos connaissances pratiques, créatures écervelées à la merci de tous les engins techniquement possibles, si meurtriers soient-ils "

Hannah Arendt
Condition de l'homme moderne

L'informatique est une nouvelle technique qui entre en force dans les faits et mentalités de tous les jours. Mais bien plus que d'autres "technologies nouvelles", elle impose peu à peu des changements de méthodes et des changements de points de vue, qui constituent les éléments d'une nouvelle culture. La légitimité de cette culture naissante est contestée par les défenseurs d'un humanisme rétrograde, qui pourfendent les tentatives encore hésitantes de l'enseignement. Pourtant, le "fait informatique" renouvelle considérablement les habitudes et modes de travail dans nombre de domaines : échanges d'informations, identité des individus, organisation du travail, problèmes de sécurités nationales, conceptions sur l'intelligence, productions d'ouvrages. Si la culture générale s'appuie encore sur l'humanisme, celui-ci doit évoluer, prendre en compte ce nouvel aspect qu'est la culture informatique.

l'informatique
objet
d'enseignement

L'informatique a pénétré le système éducatif depuis quelque temps et fait partie des savoirs à transmettre, qu'ils soient optionnels ou non. Suivant les dates de référence et le niveau de leur application, le statut de ces savoirs a évolué : d'abord et principalement reliés à la programmation des ordinateurs et aux méthodes algorithmiques de résolution de problèmes (expérimentation des cinquante huit lycées, en 1970, des cent mille micros, en 1981), ils acquièrent une signification plus

Note du Comité de Rédaction :

Il nous a paru important, dans un numéro dont le dossier central présente quelques points de vue didactiques sur l'informatique, de proposer un article de réflexion d'un philosophe évoquant le caractère culturel de l'informatique. Michel Mirabail, au cours d'un stage national abordant la Culture Informatique, a présenté une conférence de synthèse sur ce thème. Il nous a communiqué le texte réécrit de sa conférence.

Le style de son texte initial a paru encore trop proche de celui d'une conférence pour le reprendre tel quel en article, et nous l'avons modifié en ce sens, en réduisant en particulier certains développements d'argumentations, mais sans en modifier les idées générales. Certains passages pourront paraître polémiques pour quelques-uns, mais nous publierons bien volontiers des articles présentant d'autres points de vue.

Que Michel Mirabail soit remercié de nous avoir autorisés à reprendre son texte, ce qui est toujours une tâche difficile et risquée.

large, à la fois technologique et sociale, car liés à l'évolution des matériels et des applications au monde du travail. L'informatique possède donc une triple caractéristique, qui en fait une science et une technologie en voie de constitution, en même temps qu'un agent social et culturel de changement des habitudes et des comportements. Beaucoup d'auteurs ont noté une telle singularité dans l'histoire sociale d'une technique qui bouleverse simultanément le mode de production et les cadres de la pensée.

l'informatique
devient
omniprésente
dans notre
société

Depuis le vote de la loi "Informatique et libertés" (juillet 1978), l'informatique n'a cessé de transformer les pratiques professionnelles et de poser de façon aiguë la nécessité d'une redéfinition juridique de l'identité, de la liberté de la personne, du savoir, du travail, de la sécurité. Parce que l'informatique fait de plus en plus partie de l'environnement économique et social, de la production, de l'organisation du travail, de la communication, elle force l'interrogation du juriste et du citoyen à propos des services et objets nouveaux mis en œuvre (fichiers, cartes magnétiques, réseaux, minitel, banques de données...). Parallèlement à la diversification de ces applications, l'éducation des usagers devient indispensable. Elle suppose une connaissance de critères de comparaison, une aptitude à analyser des besoins et à devancer leurs évolutions, l'information suffisante sur l'existence de recours juridiques éventuels. Psychologues, éducateurs et enseignants ont dû déceler les compétences à développer chez les enfants pour en faire les citoyens éclairés de demain.

la culture
informatique

C'est dire que l'informatique a déjà une histoire et qu'elle contribue à écrire celle de nos sociétés. Il semblerait donc qu'existe une culture informatique, et que celle-ci mériterait une prise en charge par l'enseignement. Quel en serait alors le fondement ? Quels pourraient en être les objectifs et les contenus ? Quels en sont les enjeux philosophiques et politiques ?

1. LÉGITIMITÉ DE LA CULTURE INFORMATIQUE ?

une idée creuse...

L'expression "culture informatique" ne semble pas aller de soi. Parmi ceux qui en contestent la pertinence, certains ont cependant approuvé en son temps le recentrage de la politique éducative sur les savoirs disciplinaires, tout en en décrivant les implications scientifiques et techniques sur la "culture" par essence, pour eux, humaniste. Despins et Bartholy⁽¹⁾ font ainsi le procès de ce qu'ils appellent "une idée creuse par excellence", sorte de fourre-tout, idéologique, négative de culture personnelle, et nombre de promoteurs de l'informatique éducative

(1) Jean-Claude DESPINS et Marie-Claire BARTHOLY. *Arsenic et jeunes cervelles*. Paris. 10/18 (n° 1825). 1987, p.147 et suivantes.

sont ainsi épinglés. A y regarder de plus près, quels sont les arguments avancés ?

- La notion de culture informatique serait creuse, si l'on prétend la lier à l'introduction de l'ordinateur ;
- Cette culture serait confondue avec la notion ethnologique de mœurs sociales : *"le sens ethnologique du mot culture est devenu le sens dominant"* ; dès lors, la notion de culture pourrait s'appliquer à toute innovation technique...;
- La prétendue modification de nos cadres de raisonnement serait "l'œuvre" d'un individu (S. Papert), et de ses désirs de promotion ;
- L'algorithmique, dans la culture informatique ne semble qu'une façon de *"faire compliqué où l'on pouvait faire simple"* !
- Les vocables nouveaux introduits, dialectes d'initiés, ressemblent à une nouvelle forme de drogue qui s'échange et à laquelle on risque de s'accoutumer...

...pour les
défenseurs d'un
certain
humanisme

Sans chercher à donner plus d'intérêt qu'il n'en faut à un ouvrage caricatural, le débat entre culture humaniste et culture informatique doit être éclairci, voire approfondi : c'est la notion même de culture qui s'en trouvera modifiée et renforcée. Présentons en regard quelques éléments de ces "deux cultures" telles que Despins et Bartholy les définissent :

La culture humaniste est fondée sur :	La culture informatique est fondée sur :
<ul style="list-style-type: none"> • la référence à des corps de connaissances organisés en disciplines, ... l'encyclopédisme. 	<ul style="list-style-type: none"> • un ensemble fragmentaire de savoirs, de savoir-faire, une mosaïque de connaissances et de techniques, ... la spécialisation.
<ul style="list-style-type: none"> • la référence aux catégories universelles et nécessaires de la pensée, qui sont supposées exister de toute éternité et ne pas évoluer. 	<ul style="list-style-type: none"> • les procédures de raisonnement et les matériels qui leur sont liés (la pensée est fonction de l'évolution des machines, donc de la technologie).
<ul style="list-style-type: none"> • la référence aux valeurs morales esthétiques, le détournement de l'éphémère, de l'événement. 	<ul style="list-style-type: none"> • l'aptitude à renouveler constamment les références sociales, organisationnelles, à réajuster la valeur juridique des produits générés. L'informatique est un nouveau média.
<ul style="list-style-type: none"> • le désintéressement à l'égard des applications techniques et financières. 	<ul style="list-style-type: none"> • la consommation, le marché, l'industrie.
<ul style="list-style-type: none"> • la relation au livre. 	<ul style="list-style-type: none"> • la relativisation des supports traditionnels du savoir et de la communication.

deux points de
vue, définissant
deux mondes

Sous une telle forme de présentation, deux cultures, deux mondes semblent s'opposer :

1. La culture humaniste est caractérisée par son rapport à la tradition, la culture informatique par sa nécessaire modernité, son actualisation constante.
2. La culture humaniste est caractérisée par une référence quasi-exclusive à la pensée ; la culture informatique est caractérisée par une dialectique entre la pensée et la machine, la raison et la technologie.
3. La culture humaniste est caractérisée par son affranchissement des contingences économiques et sociales, la culture informatique par l'histoire sociale et économique, son appartenance à l'histoire des techniques de la production.
4. La culture humaniste consacre des objets, la culture informatique dématérialise et relativise les supports. Leurs systèmes des objets sont antithétiques.

Nous assistons depuis plus de cinq ans à une évolution des canons de la culture. La culture dite "humaniste", celle des "belles lettres", s'en trouve modifiée : Ilya Prigogine et Isabelle Stengers parlent ainsi, dans "La nouvelle alliance"⁽²⁾, d'une troisième culture.

La culture informatique participe de cette évolution au point de devenir partie intégrante de toute forme de culture :

- a) La culture informatique participe du même processus par lequel la science donne lieu à une "culture scientifique" ;
- b) La culture informatique s'inscrit dans le processus de refonte de la culture classique, dont elle est une ressource pour penser la modernité.

Tout comme la culture scientifique, la culture informatique vit d'un rapport entre deux langages : celui qui constitue le savoir, l'informatique elle-même, et celui qui introduit ce discours savant dans la société elle-même et qui la médiatise : médiatisations pédagogiques, propres aux communications de masse, techniques, médiatisations centrées sur l'informatisation de la production et de l'organisation du travail... (du journaliste au politique, de l'agriculteur à la secrétaire, voire à l'enseignant, tous "consomment" de l'informatique au quotidien).

une culture qui
tient du savoir lui-
même et de sa
médiatisation

Posséder une culture informatique, c'est pouvoir agir le moment venu en homme averti, compétent, responsable. C'est être capable de penser concrètement, par le choix éclairé des matériels et la connaissance des démarches réellement adaptées, sa propre pratique professionnelle. C'est aussi savoir analyser les enjeux fondamentaux de ces produits en termes de liberté, du droit des personnes, de démocratie, dès lors que les nouvelles applications concernent le statut de l'information, le travail, la sécurité, l'Etat. Le questionnement du Comité d'Ethique illustre bien cette problématique nouvelle que la

(2) Ilya PRIGOGINE et Isabelle STENGERS. *La Nouvelle Alliance*. Paris. Gallimard. 1979

science doit aborder résolument aujourd'hui : la légitimité des recherches ne dépend pas de la seule interrogation épistémologique, mais des réponses susceptibles d'être données aux éventuels conflits de valeurs posés par son développement. La genèse de la science n'est pas seulement celle d'un corps de connaissances, mais la réponse à une problématique culturelle et sociale.

En tant que culture, l'informatique doit assurer une double fonction :

deux fonctions complémentaires : interprétation des changements et communication sociale

- une fonction d'interprétation des changements en cours dans les différents secteurs de la vie économique et sociale, des pratiques professionnelles : c'est la fonction herméneutique.
- une fonction de communication sociale, de mise en relation des acteurs sociaux aux prises avec ces changements : c'est la fonction symbolique, dont un des effets pourrait être de contribuer à l'édification d'une société conviviale, ou "agora *informativelle*", chère à Nora et Minc ⁽³⁾.

La culture informatique participe à l'avènement d'une troisième forme de culture. Elle s'inscrit dans le double processus par lequel la science contemporaine se reconnaît solidaire de la culture qui l'accompagne, et héritière des interrogations traditionnelles qui sous-tendent l'histoire des idées. Elle se reconnaît "travaillée de l'intérieur" par le contexte culturel et idéologique. Ilya Prigogine et Isabelle Stengers disent, par exemple, des notions d'irréversibilité, d'instabilité... qu'elles "*expriment l'ouverture de la science au milieu où elle se développe*". L'évolution conceptuelle de la science opère au sein de la culture.

De même, la persistance des problèmes que chaque génération pose, se retrouve au sein de la science et complète ces deux faces de l'histoire de la science comme de la philosophie. Il en résulte une "métamorphose" de la science, une réouverture entre science et humanisme du "dialogue culturel", la possibilité d'une "nouvelle alliance". "*Ce n'est bien sûr là qu'un possible. Si la science invite aujourd'hui le scientifique à l'intelligence et à l'ouverture, si les alibis théoriques au dogmatisme et au mépris ont disparu, il reste une tâche concrète, politique et sociale, de créer les circuits d'une culture.*"⁽⁴⁾

l'informatique appelle une politique active et éclairée

Pour nous, il apparaît que l'informatique, sous son aspect culturel, est engagée dans ce processus de métamorphose de la science et de création des circuits d'une culture. Elle s'affranchit des dogmes de la pensée rationaliste par la révolution constante des modes de pensée. Elle génère de nouveaux concepts, de nouveaux cadres de pensée. Elle renouvelle les relations au travail, au savoir, à autrui : elle est, de ce fait, un puissant agent de changement social et culturel. On peut aller jusqu'à dire qu'elle appelle une politique active et éclairée, qu'elle force à des

(3) Alain MINC et Simon NORA. *L'informatisation de la société*. Paris. La Documentation Française. 1978

(4) Ilya PRIGOGINE et Isabelle STENGERS, op. cit.

choix qui, eux, relèvent bien de l'idéologie au sens large, de la culture.

On peut parler, comme A. Toffler, de "culture éclatée". A la démassification des média, correspond la démassification des mentalités. La culture dont l'informatique est porteuse est d'abord le refus de la "pensée de masse", recreation singulière à partir de toute une "mosaïque" faite de bric et de broc, qui ne trouve pas place dans nos fichiers mentaux préétablis. Elle relève donc d'un certain "tohu-bohu" qui préside, comme on le sait, à la genèse de nouveaux mondes. La particularité de cette genèse est d'être à l'image de chaque homme, appelé à donner du sens à ses propres "chaines d'idées", à partir d'un matériel disloqué. Au lieu donc de recevoir passivement notre modèle mental de la réalité, nous sommes, à présent, contraints à l'inventer et à le réinventer constamment.

une culture
d'imagination et
de création

C'est que la culture informatique est une culture d'imagination et de création, aussi bien dans ses savoirs de référence que dans ses savoir-faire sociaux.

Toute la question est bien de savoir comment cette culture, mosaïque éclatée, œuvre de recreation conceptuelle permanente et singulière, promotrice d'une problématique sociale et ayant vis-à-vis de celle-ci une double fonction herméneutique et communicationnelle, c'est-à-dire symbolique, peut s'enseigner ?

2. L'ENSEIGNEMENT DOIT-IL PRENDRE EN COMPTE LA CULTURE INFORMATIQUE ?

Qui dit culture entend savoirs, savoir-faire et savoir-être. La question ici n'est pas de s'interroger sur les contenus de ce savoir informatique, objet de recherches curriculaires et d'énoncés de programmes, mais de resituer par rapport à lui une action de formation se donnant des objectifs abordant la culture informatique : quelle appropriation de nature culturelle est-il possible de viser, en termes de contenus informatiques ? Une telle question appelle, évidemment des réponses différenciées, adaptées aux différents niveaux du système éducatif, à l'école, au collège, au lycée, à l'université...

Comme pour un outil commun, on pourrait être tenté de dire spontanément que les descriptions et modes d'emploi des constructeurs sont suffisants. Mais, comme avance M. Nivat, "les consommateurs n'ont pas ainsi la formation suffisante pour porter un regard critique sur ce que leur proposent les constructeurs... Il leur faudrait posséder des bases solides, des notions de programme, d'algorithme, de procédure, concepts longs à acquérir"⁽⁵⁾. Il parle ainsi dans son rapport du "SMIC" des connaissances informatiques, en termes de contenus fon-

de la nécessité
de donner, par
l'enseignement,
un niveau de
base...

(5) Marcel NIVAT. *Savoir et Savoir-faire en Informatique*. Rapport du 26 Juin 1982

damentaux, de réflexes, liés à une expérimentation maximale dans un environnement adéquat : notions d'organisation de l'univers informatique, systèmes d'information (accès à ces systèmes, programmation, algorithmique, langages, organisation du travail). Ce niveau de base est distinct de ceux d'une utilisation intensive que pratiquent ingénieurs informaticiens, formateurs et chercheurs.

Si l'on s'arrête un instant sur les objectifs visés par une telle description d'un niveau de base, on peut remarquer, avec huit ans de recul, que la revendication (jugée alors très forte d'une connaissance de contenus) était une réponse à une problématique sociale d'éducation... et de culture.

Développer une culture informatique ne peut se faire indépendamment de l'environnement, en ne s'adressant qu'à la seule connaissance scientifique et technique des méthodes et des objets. L'appropriation des concepts doit être génératrice de culture sociale, car elle doit permettre une interprétation des choix et apporter un gain de pouvoir sur la situation : le futur utilisateur devrait ne pas se laisser bernier par des arguments touchant des domaines hors de ses besoins.

Mais aborder l'informatique dans l'enseignement, c'est plus que donner les éléments de savoir-faire d'un outil ; c'est également prendre acte, prendre parti au niveau social. La culture informatique est donc toujours politiquement située, et l'enseigner, c'est repérer les articulations entre concepts épistémologiques et anthropologie, replacer dans le contexte de situations professionnelles ou éducatives, l'enjeu théorique des concepts scientifiques et les enjeux pratiques, économiques ou sociaux de ces mêmes concepts.

Dans le cadre d'une entreprise, par exemple, développer une culture informatique, c'est simultanément maintenir une discussion avec les personnels sur les objectifs et les conditions de mise en œuvre d'un système. Ce qui impose que l'on procède à l'analyse des flux d'informations et de décisions, à l'intéressement du personnel auquel est proposé le remaniement des communications, ainsi que des relations avec le pouvoir au sein de l'entreprise, enfin de l'implantation d'un réseau interconnectant éventuellement les différents matériels. Dans une telle démarche (à caractère bureautique), le savoir permet d'interpréter la réalité, et joue le rôle d'un agent de changement social.

Parallèlement, l'acquisition en classe de notions de base informatiques prend une signification d'autant plus culturelle qu'elles sont référées à des pratiques et à des comportements quotidiens : qu'est-ce que donner des ordres, qu'est-ce que jouer à tel ou tel jeu, qu'est-ce que ranger, écrire ?... De ces questionnements dépendent les approches de la notion de langage de programmation, d'algorithme, de fichier, de traitement de texte...

La didactique de l'informatique ne peut rester ni à mi-chemin, ni du côté exclusif d'une discipline, pas même de celui que l'on appelait les "activités d'éveil". Il s'agit de chercher à donner du sens à un certain nombre d'activités qui utilisent désormais

... de nature
épistémologique,
mais aussi sociale

permettre de
comprendre les
comportements
et les choix
sociaux

l'outil ordinateur (au sens large). Quelle communication est-il à présent possible et souhaitable de développer grâce à l'informatique ? Quelle explication nouvelle des activités logiques permet-elle ? Quelle structuration des connaissances et des représentations induit-elle ? Quelles démarches et quelles stratégies par rapport au travail de résolution de problèmes sont à présent possibles ? Quel nouveau rapport à l'art devient envisageable, etc...

Prendre en charge le développement d'une culture informatique chez les formés (et en particulier les enfants), c'est assurer la compréhension des comportements et des choix sociaux dont sont porteurs concepts et matériels. Que signifie, de ce point de vue, la cinquième génération d'ordinateurs ? Quels enjeux sur l'apprentissage sont derrière les diverses "convivialités" proposées par les constructeurs ? Que signifie pilotage en parallèle de programmes ? Pourquoi centrons-nous, aujourd'hui en France, les recherches sur le génie logiciel plus que sur la production de logiciels ?...

Il existe un ensemble de questions pertinentes que doit nous aider à formuler une véritable "grammaire" de l'informatique, une grille de lecture et d'écriture. Celle-ci nous aide à donner du sens à l'évolution de l'informatique elle-même, à comprendre les choix politiques d'un pays dans ce domaine. Le niveau de base dont parlait M. Nivat apparaît bien comme l'ensemble des éléments d'une telle grammaire, elle-même en interaction avec le contexte épistémologique, social et politique où cette culture se développe.

et constituer une
"grammaire" de
cette culture

Enseigner la culture informatique, c'est prendre en compte, s'appuyer sur cette grammaire en interaction avec l'environnement et développer, chez les formés, des aptitudes à déchiffrer les enjeux des nouvelles applications et à inscrire dans la société civile les idéaux aux formes renouvelées de l'humanisme traditionnel. La vocation d'un enseignement de la culture informatique est de rappeler le sens d'une culture à construire.

3. LES ENJEUX D'UNE CULTURE INFORMATIQUE : DÉCHIFFRER ET CRÉER DE NOUVEAUX ESPACES D'ACTION ET DE RÉFLEXION

La culture informatique ne dépend pas seulement du système de ses objets techniques mais de l'imbrication de celui-ci avec la société des hommes dont elle déplace les rapports épistémiques, juridiques, sociaux et imaginaires entre les mots et les choses.

En regardant six exemples nous allons montrer comment, pour nous, apparaît une nécessaire prise en compte de la culture informatique : le statut de l'information, le problème de l'identité, l'organisation sociale du travail, la sécurité des Etats, l'intelligence artificielle, l'édition.

3.1. Le statut de l'information échangée : le cas télématique

un outil dont
l'introduction
renouvelle les
points de vue

Définir la culture informatique suppose qu'on s'interroge d'abord sur le statut particulier de l'information. Il s'agit de "nommer les choses" par référence à de nouveaux langages. Or les développements des techniques suppriment la connaissance préalable de cette métamorphose en s'efforçant d'offrir à l'utilisateur une prise directe sur les services qui permettent de façon individuelle d'échanger, tels les moyens télématiques. Peut-on avancer spontanément que la banalisation de l'outil rend inutile toute part d'une culture informatique dès que l'utilisation des produits devient transparente ? Cela signifierait que l'on peut se passer de toute forme de culture dès que le recouvrement des besoins est efficacement assuré par la commodité des nouveaux services.

Or, pour nous, un des premiers actes de la culture informatique est de révéler l'implicite d'une culture là où précisément tous prétendent s'en passer. Rien ne prouve que la technique réponde aux questions anthropologiques des utilisateurs ni qu'il y ait recouvrement de l'imaginaire par le vidéotex. En revanche, l'introduction des nouveaux services façonne les besoins, en crée de nouveaux, et cela change implicitement la trame des représentations du monde chez les acteurs.

Pour comprendre ce changement, il faut envisager un double statut de l'information : l'information-service qui concerne les informations générales mais brèves, reçues à domicile (dépêche d'agence, météo, courses, annonces classées, renseignements administratifs); l'information-connaissance, liée tout particulièrement à l'existence des banques de données et qui suppose de la part de l'utilisateur la reconstruction intellectuelle des données.

un nouveau
rapport au savoir

Cette dernière catégorie d'information implique la maîtrise d'un langage d'interrogation, de mots-clefs. Ce nouveau mode de rapport au savoir induit des incidences culturelles qui, outre la perte du rapport occasionnel à la connaissance, sont celles d'un monde du savoir maîtrisable, où la connaissance est désormais plus une documentation qu'une recherche. En atténuant la part des pesanteurs de l'histoire propre à la genèse des connaissances, les temps et les distances qui les séparent du milieu de l'observateur ou de son contexte s'égalisent. L'information-connaissance peut ne faire de la réalité culturelle qu'une réalité de surface, un langage de l'artefact qui risque de se dévoyer en encyclopédisme dont on sait la faible efficacité dans les processus de raisonnement.

Par ailleurs, l'information-connaissance répond en général à la demande d'un public averti. Les données économiques, juridiques, administratives ou culturelles s'adressent à des publics spécialisés. Dominique Wolton soulignait le danger d'une "adéquation possible entre l'information connaissance et la stratification sociale"⁽⁶⁾.

(6) Dominique WOLTON, "La bouteille à l'encre", in Philippe LEMOINE et Genuys GALLOUEDEC (dir.), *Les enjeux culturels de l'informatisation*. Paris. La Documentation Française. 1980

La forme directement utilisable de cette information risque fort de cacher des choix déjà réalisés avant sa mise à disposition : l'information adaptée est une information sériée qui reconduit la hiérarchie et le clivage des classes sociales, cette fois, par niveaux de connaissance et de culture.

S'interroger sur le statut de l'information dans le monde informatique conduit donc à soulever le problème politico-juridique de la légitimité de la culture qui en découle. Mais alors, quelle articulation entre technologie et culture souhaitons-nous ?

3.2. Le problème de l'identité des individus

De nos jours, l'identité du citoyen ne peut plus être séparée de la question du droit à l'information. La reconnaissance juridique de cette identité est celle du droit à se nommer et à être nommé. Elle passe par la légitimité des nouveaux langages. Garantir à chaque citoyen le droit de se dire, de se nommer, c'est garantir sa "vie privée". Cette garantie impose la reconnaissance du droit d'accès de la personne aux fichiers de renseignements automatisés des administrations, par exemple. Et cette garantie se fait d'autant plus nécessaire avec la mise en oeuvre d'outils informatiques que la loi à présent régleme toute action qui vise à fixer, transmettre des informations qui porteraient atteinte à la vie privée des personnes ⁽⁷⁾.

le droit d'un individu à produire des informations le concernant

Cette reconnaissance du droit de la personne dans l'usage des fichiers publics ou privés, objet des législations "informatique et liberté", doit aujourd'hui rentrer dans une phase positive ; il ne s'agit plus seulement de défendre le citoyen, mais de lui reconnaître le droit d'être "producteur" d'informations le concernant.

La troisième génération des droits de l'homme, caractéristique du nouveau monde informatique, ne peut naître sans la définition des principes de la réappropriation du droit des hommes à cette identification active. Philippe Lemoine ouvre la voie à cette nouvelle approche de l'identité : *"C'est une dérision que de n'accorder à chacun que ce droit de regard a posteriori en oubliant de se demander au nom de quel droit les institutions ont recueilli ces informations sur les individus... Au nom de quel droit, l'Etat, les entreprises, les administrations, veulent-ils les connaître ? Pourquoi un individu ne peut-il pas s'opposer au principe même de donner à connaître telle ou telle information qui le concerne ? Pourquoi, s'il le voulait, ne pourrait-il pas, par exemple, vendre ces renseignements que l'on tient tant à lui demander ? Toutes ces questions n'ont jamais été débattues."* ⁽⁸⁾

(7) Loi du 17 juillet 1970 : *"Chacun a droit au respect de sa vie privée"* ; loi du 6 janvier 1978 : *"L'informatique doit être au service de chaque citoyen... elle ne doit porter atteinte ni à l'identité humaine, ni aux droits de l'homme, ni à la vie privée, ni aux libertés individuelles ou publiques..."* ; cf article 368 du Code pénal.

(8) Philippe LEMOINE et Genuys GALLOUEDEC (dir.). *Les enjeux culturels de l'informatisation*. Paris. La Documentation Française. 1980

comblent un vide
juridique

Les expressions culturelles de ce droit sont aujourd'hui encore inexistantes. Ce vide juridique est révélateur de la carence d'une expression culturelle informatique active : seules existent les réglementations qui limitent les dérapages des divers systèmes d'identification à signifiant unique. Il ne s'agit pas pour nous de minimiser le rôle des réglementations, ni plus généralement de sous-estimer la vigilance à exercer à l'égard de tout projet d'enregistrement et de traitement de données individuelles, car l'histoire est là pour nous rappeler les conséquences tragiques de tels manquements.

Mais, pour être connu, le danger n'en est pas moins réel face à tous ces moyens d'identification existants ou à venir, l'image même de l'homme est bien morcelée et abstraite. Il manque une définition juridique de l'identité en informatique : sa traduction culturelle devrait permettre à la personne humaine d'être mieux représentée que par un manteau d'arlequin.

3.3. L'organisation et la représentation du travail

L'implantation de matériels et concepts informatiques dans les entreprises et les organisations en général a conduit à réviser la conception du travail de bureau.

Cela conduit à prendre en compte les phénomènes de régulation internes, inhérents au flux de communications et à modifier inévitablement à court terme les rapports entre les différents partenaires.

Nora et Minc avaient bien défini l'enjeu de l'introduction des réseaux télématiques dans nos sociétés. *"La télématique constitue... non pas un réseau de plus mais un réseau d'une autre nature, faisant jouer entre eux : images, sous mémoire. Elle transformera notre modèle culturel."* (9).

de nouvelles
pratiques de
travail

Sous sa forme la plus connue aujourd'hui en France, le minitel, le vidéotex constitue le paradigme de la bureautique. Instrument d'un défi économique destiné en particulier à accroître la rentabilité du secteur tertiaire, le vidéotex a modifié le travail des cadres en exigeant de leur part l'acquisition d'autres pratiques culturelles : nouvelles pratiques documentaires, aptitudes à la production des textes, à analyser et traiter les flux d'informations, à analyser des processus de décision...

Face à ces changements générateurs inévitablement autant d'engouements que de résistances, la formation des personnels a modifié peu à peu l'approche des organisations, les méthodes de management. Les modèles de référence privilégient l'interaction, le système, les seuils, les équilibres, l'aléatoire. En matière d'organisation, des réseaux fonctionnels de compétences se substituent progressivement à la traditionnelle répartition hiérarchique des tâches par postes.

L'image sociale du travail et des organisations s'est transformée sans équivoque : il s'agit bien d'un autre modèle culturel. Ce nouveau modèle culturel fait aujourd'hui évoluer la réalité

(9) Alain MINC et Simon NORA, op. cit.

sociale du travail vers une "télé-réalité", vers des formes diversifiées de "télé-pratiques". Une nouvelle division sociale du travail en découle, les lieux de travail ne sont plus seulement les lieux traditionnels des entreprises ni des organisations. D'autres systèmes de travaux apparaissent : bureaux décentralisés, centres de travail proches du domicile, travail à domicile pour le compte des entreprises, et avec eux, une nouvelle vision psychosociologique.

C'est donc l'image culturelle du travail qui se modifie et avec elle la communication entre les acteurs sociaux.

3.4. La sécurité des Etats

Avec l'introduction de l'informatique au niveau de l'Etat-Nation, apparaît sous un jour nouveau le concept de sécurité, lui aussi élément à grande échelle de la cadence informatique. La sécurité est à la fois un objectif industriel, la fiabilité des systèmes de traitement de l'information propres aux entreprises, un objectif du légiste à la recherche d'une définition juridique des risques encourus par les sociétés et les personnes, et un objectif du politique confronté à la nécessité de préserver la souveraineté nationale face aux flux internationaux devenus difficilement contrôlables mais vulnérables.

Une nouvelle catégorie de risque dit "risque bureautique" pèse sur les entreprises. Les erreurs de manipulation, de programmation, le sabotage en constituent les aspects principaux. La banque, la bourse, l'assurance, l'administration des salaires, la caisse de retraite, les banques de données, la distribution des carburants sont concernées en premier chef. Les menaces portent sur la messagerie et le stockage. Il devient nécessaire d'intégrer la notion de risque dans la conception même des systèmes en garantissant, comme pour la protection des personnes, la fiabilité et la confidentialité des informations. Et cette garantie n'est pas simple à mettre en oeuvre.

Le problème se pose d'autant plus au niveau des États. Les flux trans-frontières de données font apparaître leur nouvelle vulnérabilité. Une crise politique, une action terroriste peuvent entraîner une paralysie des flux. Une restriction soudaine et délibérée des flux de données équivaut à un embargo ou à un blocus. Le rapport national d'Alain Médec mentionne que *"certains pays pourraient n'avoir sur leur territoire que des fragments d'activités à l'échelle mondiale. Inversement, avec le contrôle des changes devenant une illusion, les bénéfices des entreprises pourraient naître n'importe où, sur un "ordinateur hôte", situé dans un État compréhensif."* (10)

Poser la question de la sécurité des Etats revient à redéfinir, face à l'interconnexion des réseaux spécialisés des systèmes

la notion de
risque doit être
intégrée dès la
conception

(10) Alain MEDEC. *Les flux transfrontières de données : vers une économie internationale de l'information ?* Rapport National. Paris. La Documentation Française

la notion de
sécurité doit être
redéfinie

bureautiques, le concept et la réalité de l'Etat-Nation. La sécurité des Etats passe aujourd'hui par de tels réajustements techniques et juridiques. Le dépassement des frontières aux niveaux technique et économique impose à court terme une nouvelle législation : un nouvel enjeu politique et culturel se dessine.

Le monde informatique pose très directement la question de la signification culturelle et politique que nous souhaitons lui donner.

3.5. Au coeur de la culture informatique : l'intelligence artificielle

comment un
système peut-il
être "éduqué" ?

Les développements les plus récents, à la fois technologiques et conceptuels, en informatique, sont ceux de l'intelligence artificielle. Qu'il s'agisse des systèmes experts (aide au diagnostic médical, aide à la recherche, systèmes d'apprentissages...), qu'il s'agisse des applications robotiques industrielles ou des recherches en robotique pour les handicapés ou pour le nucléaire, deux voies orientent les travaux. D'une part, l'intelligence artificielle implique que l'on se situe dans l'optique de la résolution de problème (Général Problem Solver), d'autre part, elle exige que l'on travaille à la reconnaissance des formes. Dans les deux cas, travailler en intelligence artificielle, c'est poser la question de savoir comment un système de traitement de l'information peut être "éduqué", comment il peut apprendre. Il convient alors de poser la question, pour tout secteur de connaissances ou d'apprentissages envisagé, de savoir :

- . ce qu'est comprendre et représenter des connaissances,
- . ce qu'est résoudre un problème : méthodes par proximité (écart entre le but et le départ), par configuration (analogies), par planification,
- . ce qu'est apprendre.

L'intelligence artificielle concerne donc directement le processus de création du savoir et de la représentation du monde. La question qui nous est immédiatement posée est donc de savoir si la culture informatique peut rendre compte de toute la culture humaine possible ?

Le débat n'est pas clos entre les tenants d'une traduction possible dans son principe de toute la pensée humaine, pour lesquels "connaître, c'est traiter de l'information" (systèmes de traductions automatiques, systèmes experts) et ceux qui également par principe tracent les limites entre l'intelligence artificielle et la pensée. ⁽¹¹⁾

Leurs arguments sont intéressants à confronter.

- Pour les uns, les ordinateurs ignorent l'environnement. "*Nul ne sait encore programmer les robots*", disait Hubert Dreyfus

(11) Hubert DREYFUS. *Intelligence Artificielle, mythes et limites*. Paris. Flammarion. 1984

en 1972, de telle manière qu'ils aient leur monde". Ceci n'est plus tout à fait vrai aujourd'hui avec la reconnaissance des formes. Mais l'idée reste forte si l'on entend que la définition d'un environnement est nécessairement une définition limitée, car reconstruite, conçue pour et apprise par l'ordinateur. L'environnement artificiel ne peut être imaginé par référence à l'environnement humain que par une extrapolation infinie de rangement, d'exploitations de données.

il faudrait donner
une infinité de
relations

En somme, les enjeux, la traduction, la résolution de problème, la reconnaissance des formes sont autant de démarches de la pensée qui font appel à des modes de traitement de l'information propres à l'être humain. Mais, pour l'homme, elles s'inscrivent dans son propre univers alors que l'univers des jeux, de certains mots, de certains problèmes... ne sont que des micro-mondes formalisés. Sur ce point, une des percées déterminantes de l'intelligence artificielle sera la dotation de la machine d'un "conatus", c'est-à-dire d'un "désir à persévérer dans son être".

- Pour les autres, la conception du monde véhiculée par l'intelligence artificielle est celle d'un monde d'objets, entièrement représentable, même si "objets" représentent des connaissances. C'est le postulat que refuse Dreyfus et qu'accepte finalement Weizenbaum. ⁽¹²⁾

Or il y a une différence fondamentale entre la représentation du monde par l'homme et la représentation du monde par l'intelligence artificielle. L'homme perçoit son univers et définit sa culture par rapport au possible alors que l'anticipation de l'univers par l'intelligence artificielle du robot est celle d'un monde fini. Il existe pour l'homme des objets possibles de savoir, même s'ils sont intraduisibles et non formalisés.

mais on ne peut
donner de limites
actuellement

On ne peut pas, cependant, comme le fait Dreyfus, donner des limites à l'intelligence artificielle. L'évolution des matériels a donné un deuxième souffle à cet ensemble de disciplines. Il faut plutôt reconnaître que l'intelligence artificielle provoque la pensée humaine en la mettant à l'épreuve de techniques et de concepts révisables. Elle permet, par là-même, le dépassement et l'ouverture de la culture informatique, elle est, peut-on dire, au cœur de la culture informatique, dont elle révèle le processus dialectique interne :

- L'intelligence artificielle permet de façon analogique et provisoire de comprendre ce qu'est connaître, reconnaître, apprendre, mais avec cette réserve que "penser comme" n'est pas "être comme"
 - L'intelligence artificielle joue le rôle de reflet des démarches de la pensée humaine dont elle met en forme les visées culturelles qui lui donnent tout son sens, mais la dépassent.
- En somme, l'intelligence artificielle contribue au renouvellement de la culture humaine en l'interrogeant sans pouvoir l'anticiper.

(12) Joseph WEIZENBAUM. *Puissance de l'ordinateur et Raison de l'homme*. Paris. Editions d'informatique. 1981

3.6. L'éditique : l'avènement de la forme subjective de la production et la genèse du monde des métamorphoses

Autre mot clé de la bascule du monde de la deuxième vague dans celui de la quatrième dimension : l'éditique ou application de l'informatique, de l'électrographie et aujourd'hui du laser sans omettre la télématique et la bureautique à l'édition. Le concept n'existerait pas sans les "imprimantes à laser" qui introduisent la flexibilité des tirages, la qualité de l'imprimé, la rapidité, le silence, comparativement aux autres imprimantes... bref l'ergonomie en plus !

une avancée
technique qui
révolutionne les
conceptions

La multiplication par six depuis 1987 du marché des imprimantes à laser bouleverse le statut de l'écrit et fait accéder le monde de la production à celui d'auteur social. Le régime traditionnel de la "chose imprimée" s'en trouve modifié ; une autre écriture de l'imaginaire fait son apparition.

La numérisation de la page écrite a permis aux entreprises de s'équiper en matériel et logiciels de publication assistée par ordinateur (P.A.O.) et de conforter ainsi leur image sociale d'auteur et acteur dans la production. Les entreprises se font ainsi de plus en plus "auteurs" des textes sur leurs produits par le mailing personnalisé, les recours aux journaux maison, les plaquettes de présentation, la conception interne du logo... Sous-tendant ce phénomène : les logiciels de composition de page, la définition des caractères, le télééchangeement, le rôle de Postscript sur les imprimantes à laser... sans citer les images de synthèse à la vidéonumérique qui restent le fait des sociétés spécialisés en éditique ou d'entreprises de grande taille.

une
reconnaissance
de dignité pour
des produits
"mineurs"

Une des conséquences de ce nouveau service est l'accès à la dignité de l'imprimé de textes jugées culturellement mineurs : catalogues, tracts publicitaires, fascicules de référence... et à travers tous ces produits écrits, c'est la production elle-même qui accède à la représentation culturelle. Mais du même coup, les organisations qui s'équipent en éditique, contribuent à la réalisation d'une "catastrophe" au sens de René Thom⁽¹³⁾, c'est-à-dire à une rupture constitutive de nouveaux équilibres et de nouvelles formes, à l'égard de la "chose imprimée". Tout d'abord la "chose imprimée" ne relève plus des seuls métiers du livre parce qu'elle n'est plus "une chose", c'est-à-dire un produit social spécifique aisément repérable. La loi de 1957 traitant de "la propriété littéraire et artistique" peut difficilement intégrer dans la catégories des "œuvres de l'esprit" ces images virtuelles, redéfinissables, renouvelables que sont devenues les pages numérisées éphémères ou les images de synthèse. Et pourtant ?

Par ailleurs, toute personne morale ou physique peut accéder à la dignité d'être auteur et d'être lu sans avoir à passer nécessairement par une société d'édition.

(13) René THOM. *Paraboles et catastrophes*. Paris. Flammarion. 1983

La rupture perpétrée par l'éditique dans une chaîne éditoriale intervient ensuite à deux niveaux : le lectorat, le statut virtuel de l'image.

une conception
nouvelle du
lecteur...

- Ce qui importe désormais, c'est le réseau des lecteurs destinataires potentiels des productions qui commande les diminutions éventuelles de tirage, la segmentarisation des lectorats et la diversification des titres. Mais bien souvent les éditeurs ne sont pas suffisamment équipés ni préparés, sur le plan des démarches de prospection, pour intégrer ces nouvelles méthodes de travail. Et il faudra de plus en plus compter avec cette possibilité certes encore théorique mais potentiellement offerte à chacun de susciter ces "lectorats occasionnels" de plus en plus nombreux qui vivent et meurent en justifiant rétrospectivement le produit.

... ainsi que de la
notion d'image

- La chose imprimée est devenue une "image virtuelle". On le voit en particulier en conception assistée par ordinateur (C.A.O.), en fabrication assistée par ordinateur (F.A.O.), en vidéonumerique avec les palettes graphiques. L'image est dépourvue de signification qui lui soit propre. Elle est reconstruite à partir d'une banque de donnée, elle peut concrétiser un modèle comme en architecture où elle est une représentation éventuelle du possible. La réalité est donc une vérité de représentations, une succession de métamorphoses. Seule donne sens à l'image la construction du référentiel espace-temps que l'auteur arrête en fonction de ce qu'il imagine être l'accord social (en art, au cinéma par exemple), la pertinence des évolutions futures (en urbanisme), ou bien qui lui est dicté par le champ des processus physiques (aérodynamisme). On peut de même imaginer d'autres formes pour d'autres mondes où d'autres lois joueraient (sans la gravité par exemple).

Il en résulte donc une toute autre façon de se représenter le monde et principalement de l'imaginer, d'anticiper le sens, le possible. L'éditique donne les moyens de cette flexibilité de l'imaginaire.

A nouveau, nous rencontrons la dialectique de l'humain, par son imaginaire, et du technologique. Le monde s'invente plus qu'il n'est donné. Il est devenu la toile de fond des métamorphoses, un champ de décisions épistémologiques, esthétiques et politiques. A nouveau nous retrouvons la fonction d'ouverture de la culture informatique qui change le régime des objets, même celui des formes et nous aide à inventer le nouveau monde, les nouveaux mondes mais sans nous en imposer le choix.

Au terme de cette étude consacrée à la culture informatique, que pouvons-nous conclure de façon provisoire ? D'abord, la culture informatique semble avoir acquis sa légitimité. Elle ne se trouve pas du seul côté des savoirs ni des savoir-faire. Elle inclut la question des savoir-être. Si la culture informatique appelle une connaissance des réalités du monde

l'informatique est
un agent culturel,
social et
économique de
changement

des concepts informatiques et de leurs applications, elle concerne, tout comme la culture scientifique, la modification des pratiques professionnelles et des modes de pensée, de perception, de communication et de création des hommes. Elle est à cet égard un agent culturel, social et économique de changement.

Cette culture informatique possède déjà une histoire qui participe à celle des sciences et des techniques mais qui, de surcroît, a une signification symbolique. Elle représente les réponses apportées par les sociétés humaines aux enjeux dont sont porteuses les nouvelles applications. La culture informatique comprend donc nécessairement une fonction herméneutique mais aussi une fonction dynamique d'aide à l'ouverture et à l'écriture d'un imaginaire social et culturel. Elle permet l'ouverture mais ne la fraie pas. Elle donne les outils d'une nouvelle grammaire sociale de la production mais n'écrit pas le nouveau monde à notre place. Elle équipe l'imaginaire mais ne décide pas des canons des nouvelles esthétiques.

C'est cette seconde fonction de la culture informatique qui est apparue ces dernières années après la période des années 1970-1980 où prédominait la réflexion sur les enjeux. La culture informatique s'est engagée concrètement par le développement foisonnant des applications dans l'écriture de l'histoire culturelle, esthétique, sociale et économique de nouveaux mondes. Elle nous rappelle notre responsabilité à chaque création, pour chaque application, nous questionne sur le sens que nous souhaitons lui donner, sur le sens des métamorphoses sociales et culturelles que nous désirons.

A cet égard, la réflexion sur la culture informatique ne peut que bénéficier d'un retour à la question des mythes de la culture. Selon que nous répondons ou non à la question que leur présence implicite dans l'imaginaire social nous pose aux travers des réalisations techniques, socio-historiques, ils acquièrent sur l'histoire des peuples un pouvoir de vie ou de mort. ⁽¹⁴⁾

qui définit une
nouvelle forme
d'humanisme

La culture informatique s'origine dans le mythe d'Hermès qui, dieu des initiés, mais aussi des marchands et des voleurs, nous rappelle qu'à chaque carrefour il nous faut décider du sens à donner aux réseaux : quelle communication, pour qui ?

Parce qu'elle pose la question d'un monde à construire à l'aide de procédures automatisés de traitement de l'information et de résolutions de problèmes, l'Intelligence Artificielle qui est au cœur de la culture informatique est un peu le "gauleur" de l'intelligence humaine. Monde à construire certes mais au service de quelle pensée, de quel projet humain ?

Tel le phénix qui renaît de ses cendres, l'humanisme doit savoir mourir pour renaître sous d'autres formes. La pensée des

(14) Guillaume DURAND. *Les structures anthropologiques du sacré*. Paris. Bordas.

métamorphoses doit inventer et choisir de nouvelles esthétiques. La culture informatique provoque une telle réflexion et appelle de tels ressourcements que, à l'instar des variations musicales, mathématiques et spirituelles, ils sont comme les "brins d'une guirlande éternelle".⁽¹⁵⁾

Michel MIRABAIL ⁽¹⁶⁾
Lycée de Foix,

(15) Douglas HOFSTADTER. *Gödel, Escher, Bach. Les Brins d'une guirlande éternelle*. Paris. InterEditions. 1985

(16) Michel MIRABAIL. *Les 50 Mots clefs de la télématique*. Toulouse. Editions Privat. 1981.
Les 50 Mots clefs de la Bureautique. Toulouse. Editions Privat. 1983

OBJETS DE SAVOIR DE NATURE INFORMATIQUE DANS L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE

André Rouchier

La didactique de l'informatique est en voie de construction. Elle doit mettre en avant des objets de savoir qui s'avèrent facilitants pour les apprentissages des élèves. La récursivité est certainement l'un de ces objets, permettant la construction économique de figures géométriques. Son élaboration par les élèves est facilitée par l'utilisation de LOGO, mais il n'est pas simple d'apporter la preuve de la réussite de l'apprentissage. Cet exemple, entre autres, montre la difficulté pour la recherche en didactique à créer de nouveaux objets de savoir, puis à les transférer dans l'enseignement.

L'apport des approches actuelles de la didactique des mathématiques à la résolution et à l'étude de questions d'enseignement se situe autant du côté de l'organisation du champ comme domaine de recherche autonome que du côté de la mise en question des formes de mise en rapport des savoirs et des objets qui les constituent (réalisées dans tout enseignement) avec les choix didactiques qui le structurent. Il s'agit de séparer, afin de mieux l'étudier, le didactique de l'apprentissage lui-même. Il ne saurait être question de soutenir que le didactique ne s'accompagne d'aucun effet d'apprentissage. Par contre on se propose d'appréhender de façon plus rigoureuse les parts respectives et les jeux mutuels des savoirs et des pratiques sociales qui leur servent de références, de l'apprentissage et des mécanismes qu'il met en oeuvre, du didactique c'est-à-dire de l'entrée dans les problèmes et les situations qui leur sont associées (dévolution) et font vivre les savoirs, autant que de l'identification de ces savoirs eux-mêmes (institutionnalisation) au cours d'un enseignement.

l'informatique,
objet d'étude
didactique

On dispose, à l'heure actuelle, de plusieurs niveaux de saisie et de description de phénomènes de nature didactique associés à des savoirs déterminés, isolés dans la sphère savante ou dans des sphères professionnelles. Il se trouve que l'informatique présente, de façon massive, cette dualité savant-professionnel dans sa nature même : théorique dans les objets propres qu'elle constitue, pratique par une exigence d'effectivité (le passage sur machine) et par l'existence d'un secteur professionnel fortement développé.

Il n'existe pas actuellement de didactique générale constituée et reconnue. Toutefois, on ne saurait dans un domaine de recherches vivant et dynamique, se passer de faire circuler et

d'emprunter d'un domaine disciplinaire à l'autre, les concepts, les problématiques et les méthodes. Didactique des mathématiques et didactique de la physique représentent le meilleur exemple pour le moment. Le domaine de l'informatique est beaucoup moins avancé, en particulier du côté de la recherche. Nous allons chercher à examiner quelques raisons de ce retard. Nous allons ensuite développer quelques éléments d'un cadre problématique et présenter ce qui nous paraît ressortir sur le plan des objets de savoir mis en oeuvre, d'une recherche effectuée il y a quelques années chez des débutants en LOGO au niveau collège.

1. PLACEMENT DE L'INFORMATIQUE DANS UN CHAMP D'INTERROGATION DIDACTIQUE

Le placement de l'informatique dans un enseignement, à un niveau donné, s'accompagne de décisions curriculaires et de la génération, création et mise en oeuvre de tout un ensemble de décisions qui relèvent de l'action didactique.

s'il y a
enseignement de
l'informatique, il y
a didactique de
l'informatique

En fait, il y a une didactique de l'informatique, il s'agit de l'ensemble des actions et pratiques d'enseignement qui ont actuellement pour objet l'informatique. Elles sont largement développées, notamment dans des secteurs d'enseignements professionnels à haut niveau. Pour dire autrement, l'enseignement existe, il y a donc une didactique. Cet enseignement évolue, il s'accompagne d'un travail de réflexion, par mise en rapport d'intentions et d'observations variées et par incorporation de nouveaux objets et de nouvelles techniques. L'intervention et le rôle d'une noosphère peuvent s'observer à travers la mise au point de curriculums, à travers la proposition et la conduite de choix pédagogiques, à travers l'expression des opinions à leur sujet. Contraint de s'effectuer au plus près d'une discipline qui évolue très rapidement, aussi bien du fait d'une demande sociale de compétence et de formation constamment en extension, que du fait de l'évolution des techniques et des réaménagements conceptuels, l'enseignement bouscule très rapidement des traditions qui n'ont, pour la plupart d'entre elles, que quelques années d'existence. Pour le didacticien, dans la mesure où il dispose des instruments d'analyse et des moyens pour les mettre en oeuvre, ainsi que des moyens matériels et humains de son travail, il y a là un terrain d'observation d'une très grande richesse. Il reste malheureusement en grande partie inexploité aujourd'hui. Nous ne pouvons que le regretter car les exigences de l'enseignement ont, au cours de l'histoire, joué un rôle important dans le développement de la science elle-même. L'intégration de l'informatique à la culture scientifique et technique s'effectue en très grande partie par son placement dans le champ de la connaissance, par les modifications qu'elle apporte dans les relations de l'homme et de son environnement, par les pratiques sociales

un enseignement
interrogé par
l'environnement

qu'elle institue, notamment dans sa fonction de service, c'est-à-dire par ses aspects techniques, industriels et sociaux. Cette intégration s'effectue aussi à travers l'appareil de formation et d'enseignement dans sa fonction d'intégration et de formation des générations nouvelles à l'ensemble théorico-technique qui lui est associé. Ce travail incorpore ses résultats dans la discipline elle-même par les réaménagements notionnels et conceptuels qu'il provoque. Son étude nous paraît, au moins à ce titre, particulièrement importante.

Science des représentations, de leurs transformations et des calculs sur ces représentations, l'informatique possède un versant pratique constitué de la programmation et de l'ensemble des usages effectifs de l'ordinateur. Cette particularité lui confère une place singulière parmi les sciences. Elle va devoir trouver une contrepartie du côté des choix multiples qui sont effectués pour l'enseignement et qui vont contribuer à constituer son image. C'est ainsi qu'on va chercher à tenir compte de la contrainte représentée par la nature double de l'informatique, à partir des traditions, des objectifs et des formes qu'ils représentent du fait de leur insertion institutionnelle. On pourra observer, par exemple, dans le cas de l'enseignement français, une différenciation entre les choix opérés en lycée dans le cadre de l'option informatique et ceux qui sont effectués dans l'enseignement post-baccalauréat. Lieux d'enseignement distincts donc de transpositions didactiques assujetties aux éléments généraux des contrats qui y prévalent. Une analyse de ces lieux d'enseignement permettrait de mettre à jour la relation qui se réalise effectivement entre certains éléments de contrats didactiques prévalant et les objets de savoirs qui sont retenus ainsi que les mises en rapports au savoir qui sont proposées. Il s'agit en l'occurrence de l'analyse écologique des conditions et des contraintes qui règlent le choix, l'apparition ou la disparition d'objets de savoir. La problématique et les moyens d'étude proposés dans Rajoson (1988) paraissent particulièrement adaptés à cet enseignement jeune où les manifestations de certains phénomènes sont plus apparentes. Une observation rapide de l'enseignement post-baccalauréat montre, à cet égard, quelques effets intéressants. Par exemple, au niveau des premiers cycles universitaires, on a pu créer des "objets de savoir pour l'enseignement", c'est le cas de la machine-ruban décrite dans Lucas, Peyrin, Scholl (1983) qui, au moment où elle apparaît dans l'enseignement ne peut être mise en relation avec aucun objet de savoir déjà existant. Dans les classes préparatoires au contraire, on ne crée pas d'objet abstrait à caractère général, mais on s'intéresse directement aux algorithmes numériques classiques et à leur transcription dans un langage de programmation pour passage sur machine. Autrement dit, les objets de savoir promus au titre d'objets d'enseignement sont des objets de savoirs qui peuvent être reçus dans une certaine culture didactique, celle du lieu dans lequel ils doivent fonctionner, où ils vont être accueillis et trouver leur place. Ils sont créés et transformés dans ce but.

l'enseignement
peut créer des
objets nouveaux
de savoir

l'informatique est plus jeune que la mathématique, on ne peut donc autant en exiger

Nous ne décrivons ici que quelques éléments d'une situation dont tout conduit à penser qu'elle n'est pas définitive. En effet, l'enseignement de l'informatique, en dépit d'une progression spectaculaire, n'est pas encore "installé". Il n'a pas encore conquis son "territoire" ou du moins un "territoire" qui ne se déplace pas trop autant en extension qu'en compréhension. Ce "territoire", au sens où nous l'employons ici, c'est la mise en relation, pour l'enseignement, d'un niveau d'étude, de savoirs associés et d'un type de rapport (officiel) à ce savoir proposé aux élèves. Il est un fait que l'informatique connaît une communauté savante dynamique qui travaille dans un cadre où des découpages d'objets paraissent fonctionner. L'enseignement de l'informatique lui, ne s'est pas encore institué, identifié en institution symbolique avec la même force que l'ont fait les mathématiques. Cela tient naturellement au caractère récent de l'informatique. Cela tient aussi à une importance instrumentale qui la rattache aux domaines de la "techné" plus qu'à ceux de l'"épistémé". Son insertion, son admission même dans cette partie de la culture qui s'identifie fortement à une culture d'origine scolaire ne saurait s'effectuer selon les mêmes modalités et atteindre les mêmes formes que pour les mathématiques. Il n'y a pas le même imaginaire. Il n'y a pas la même ancienneté. Leur présence n'a pas la même visibilité.

A côté d'une observation de la didactique qui se fait (les découpages de savoirs, leurs mises au régime didactique), il est légitime de poser la question de la constitution d'une didactique expérimentale mobilisée dans une perspective de construction, de proposition et d'intervention. Elle se place dans une dynamique de repérage et d'élaboration de formations épistémologiques propres à assurer un statut à l'informatique comme discipline d'enseignement aux niveaux primaire et secondaire. Il ne s'agit nullement de soutenir la thèse selon laquelle il serait nécessaire de faire de l'informatique une matière de l'enseignement obligatoire. Il s'agit au contraire d'identifier les conditions qui permettraient à une décision en ce sens d'être opératoire.

Partant de la situation actuelle, marquée par l'absence de l'informatique comme discipline enseignée dans l'enseignement obligatoire, il n'est pas possible de développer un système d'interrogation qui s'appuie sur un savoir scolaire ou un savoir culturel ordinaire. Par conséquent, toute expérimentation dans les domaines qu'une interrogation classique renvoie du côté des "conceptions" du sujet, doit s'appuyer sur des séquences d'enseignement souvent brèves et espacées. Elles ne pourraient que difficilement être mises en relation avec d'autres contenus, au risque d'en perturber l'apprentissage. Les choix qui s'offrent à l'intervention expérimentale vont être très largement marqués par ces contraintes. Ils n'ont pas forcément une signification culturelle importante. On a pu utiliser, dans certaines recherches, des dispositifs programmables très spécifiques, très éloignés des machines en usage dans le monde professionnel.

Cet éloignement, s'il a pu apparaître nécessaire a conduit à retarder l'étude de certains aspects des rapports entre l'élève et l'informatique. Ceux-ci ne se réduisent pas, en effet, à la seule dimension de la programmation. Un programme écrit doit être aussi rentré en machine, exécuté, modifié, mis en fichier, etc.

des dispositifs
d'étude
didactique sont
mis en place

Nous l'avons constaté, des dispositifs didactiques se sont mis en place, et des solutions ont été apportées à des questions d'enseignement. En fait, le champ d'action et d'interrogation d'une didactique de l'informatique peut être très vaste et couvrir une "distance de développement" qui va de la première moitié de l'enseignement obligatoire (fin de l'école élémentaire, début du collège) à des enseignements spécialisés de haut niveau. Au cours de cette période l'élève peut être confronté à des dispositifs programmables de nature très diverse. Certains peuvent être simplifiés et d'accès direct, d'autres animés par des langages de commande, d'autres enfin pour lesquels il est possible d'obtenir des effets uniquement à partir de descriptions générales d'objets et de processus. Au cours d'une aussi longue période, l'écologie des objets de savoirs informatiques va se révéler très complexe. En effet, ces objets de savoir vont être proposés en référence à des problèmes, et des dispositifs programmables dont les contraintes d'interface et d'interdépendance conceptuelle peuvent être très divers. C'est ainsi que mathématique et informatique constituent deux grands "ensembles instrumentaux" pour la modélisation. La modélisation, dont nous savons qu'elle est actuellement un "point obscur" dans l'enseignement, consiste souvent à mettre en forme (ce qui ne se réduit pas à la seule formalisation) des relations qui ne sont ni "données", ni "définies" a priori dans les termes du problème qui est soumis à traitement. L'identification de ces relations suppose la mise en oeuvre d'un ou plusieurs domaines conceptuels avant traitement, qu'il soit direct par l'intermédiaire d'un calcul numérique, algébrique, ou les deux, qu'il soit indirect par le recours à une programmation. Le travail de modélisation présente des difficultés spécifiques, parfois inattendues. On a pu constater par exemple, lors de l'introduction de l'informatique dans les entreprises et notamment les PME qui ont cherché à mettre en oeuvre un processus d'informatisation, que l'obligation de s'expliquer, de "se livrer" n'allait pas sans réticences de leur part. L'obligation de s'insérer dans des pratiques sociales d'un type nouveau, qui apparaissent consécutives à un savoir, ne va pas de soi. Modéliser avec l'ordinateur, modéliser pour l'ordinateur, sont des activités qui ne comportent pas que des difficultés conceptuelles. S'il existe de nombreuses "expériences" d'enseignement qui fournissent un matériau extraordinaire pour l'analyse didactique, la reprise des questions sous-jacentes dans un système d'interrogation constitué (problématique) nous paraît un problème très actuel pour la recherche. On pourra mesurer le chemin à parcourir pour une étude des problèmes liés à une modélisation appuyée sur l'informatique en se référant aux analyses menées depuis plusieurs années

l'informatique,
outil de
modélisation,
nécessite
l'explicitation de
relations

par des équipes de l'IREM de Marseille et dont certains éléments sont donnés par Chevallard (1989). En tout état de cause, si on pense pouvoir se limiter au seul domaine de l'informatique, ce qui n'est pas assuré dès lors qu'on s'intéresse aux seuls enseignements secondaires, on devra assurer et étudier des transpositions didactiques qui prennent en charge l'empirie propre à la discipline. Cette empirie est réalisée à partir d'éléments de pratique, convertis et transposés pour des besoins d'enseignement. C'est à ce niveau que seront retrouvés, sans qu'il y ait prise en charge théorique, ce qui est nécessaire à l'utilisation effective de l'ordinateur, moyen et terme de l'empirie.

2. LES OBJETS INFORMATIQUES DANS L'ÉCRITURE DE PROGRAMMES ÉLÉMENTAIRES

L'enseignement, la didactique expérimentale, la psychologie effectuent un découpage du savoir en objets qui seront soumis à des régimes d'action ou d'interrogation qui leur sont propres. Dans les trois démarches il y a une référence au savoir. Cette référence s'inscrit dans l'ensemble des dispositifs mis en oeuvre pour l'action (enseignement) ou pour l'expérimentation (didactique, psychologie) F. Conne (1989) a mis en évidence le double mouvement dont procèdent, chacune, psychologie et didactique. Dans le premier cas, il s'agit de *"montrer comment le développement des connaissances du sujet épistémique, ..., imprime sa nature jusque dans la construction (sociale) des savoirs scientifiques les plus élaborés."* Dans le second cas, on cherchera à *"montrer comment les formes et les normes préétablies des savoirs (considérés d'emblée comme produits d'une histoire et d'une culture) peuvent être adaptées, à leur tour, à ces mécanismes sans dénaturer la connaissance ni surtout désacculturer les savoirs"*.

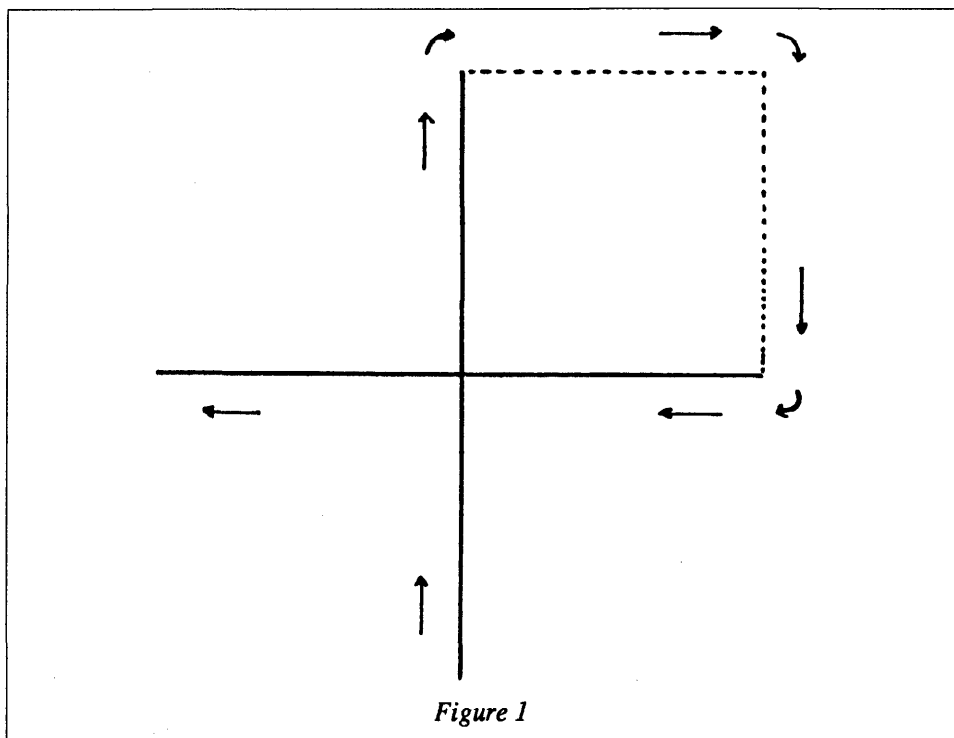
la programmation est une fin, régie par une syntaxe stricte

Le découpage, dans ce savoir déterminé qu'est l'informatique, d'objets pour lesquels on va développer des stratégies d'enseignement ou pour lesquels on va élaborer des dispositifs d'expérimentation, s'est appuyé pendant longtemps sur les notions qui structurent les rapports avec l'ordinateur et qui se retrouvent dans la syntaxe des programmes : instruction, suite d'instructions, exécution, paramètres et variables, premiers éléments de structuration de programmes, coordinations intra et inter-programmes. On doit aussi tenir compte de ce qui relève de la connaissance du domaine de savoir ou de pratique dont tel ou tel problème de programmation est issu. C'est en effet au niveau de l'apprenti programmeur un élément essentiel. Programmer a une fin et vise la production d'un programme qui doit être exécutable. Cette exécution fournit quelque chose qui est de l'ordre du résultat et qui témoigne d'un certain niveau de réussite. Par exemple, chez les débutants en LOGO, la programmation consiste à faire produire graphiquement des objets

...dont
l'apprentissage
peut être facilité
par une
motivation

de nature géométrique dont certains peuvent aussi être réalisés par un tracé dans l'espace de la feuille de papier. On pourra s'interroger alors sur la manière dont un sujet jeune, débutant en programmation, développera une interaction opératoire avec un objet pour lequel il dispose en général d'un mode de production dans une instrumentation différente. Pour un objet dont on veut obtenir une réalisation graphique dans l'espace de l'écran, l'instrumentation familière est associée aux tracés sur papier, elle utilise un registre de description-production de nature géométrique dans laquelle interviennent des moyens physiques : papier, crayon, règle, compas, etc. Le développement de l'interaction opératoire se marque dans l'évolution des réponses. Au début, il peut y avoir simple transcription d'une méthode de production (tracé) qui serait réalisée à l'aide des instruments usuels de la géométrie dans les termes de l'instrumentation graphique (par exemple celle de la TORTUE), qui paraissent permettre d'obtenir le même résultat. Plus tard on aboutira à l'écriture d'un programme dans lequel seront mis en oeuvre les moyens de structuration propres au langage de programmation.

Nous pouvons rappeler ici, à titre d'exemple, l'évolution des réponses au problème du tracé d'une croix en LOGO : on peut observer un passage du schème propre au système papier-crayon, c'est-à-dire :



(les flèches indiquent le sens de parcours de la TORTUE, alors que les pointillés marquent les parcours effectués sans laisser de trace et les changements d'état, par rotation par exemple) à un schème beaucoup plus spécifique des compétences du dispositif telles que le langage de programmation les réalise.

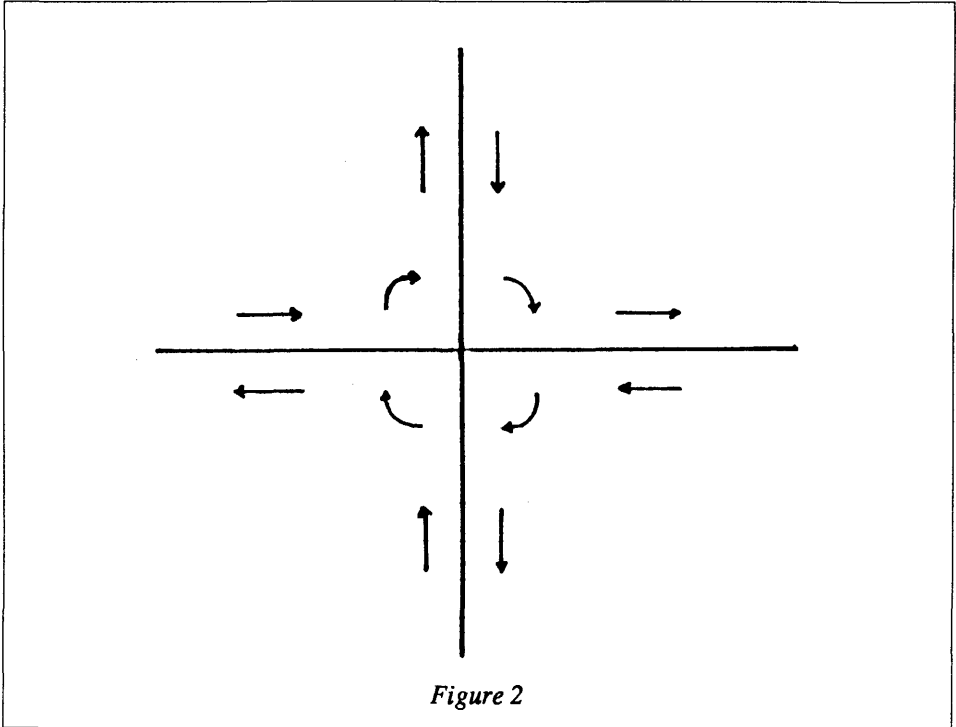


Figure 2

l'enseignement
vise la pratique
d'un système
opérateur

Les objets de savoir qui vont être mis en oeuvre dans la programmation vont devoir tenir compte de cette remarque. Ce que l'enseignement va viser c'est la pratique d'un système opératoire identifié comme objet d'une culture théorique et pratique appuyée sur l'usage de l'ordinateur. C'est dans ce système que vont se réaliser la représentation et le traitement des objets qui interviennent dans les problèmes. On fera intervenir des opérateurs généraux, par exemple la structuration d'ensembles d'actions. Celle-ci peut emprunter une forme organisée : répétition et boucle. Les formes opératoires propres à la programmation dans un langage déterminé vont provoquer la décomposition des objets pour en extraire variables et relations qui rendent compte du traitement à effectuer avant tout codage. Cela correspond à un élargissement des capacités opératoires, rendu effectif par l'utilisation du dispositif programmable donc de l'informatique qu'il réalise. Il va même être possible de produire des objets plus nombreux et plus complexes à partir de programmes structurés de manière adéquate. Il peut

répétition et
récursivité, deux
formes différentes
de boucles

même y avoir invention de formes nouvelles. L'opérateur de structuration le plus puissant est la répétition. Dans ce cas, le passage du simple au complexe c'est aller d'une répétition finie, dont les éléments sont fixés une fois pour toutes et qui associe le programme à un seul objet ou à un seul processus, à la répétition finie indéterminée qui réalise en un seul programme toute une famille de programmes effectifs qu'il est possible d'appeler, de faire exécuter, pour obtenir une réalisation particulière de l'objet ou du processus. L'augmentation de la capacité opératoire est visible. En informatique, l'instrument de cette structuration est la boucle de programmation. Elle peut être réalisée soit sous forme itérative soit sous forme récursive, formes qui du point de vue conceptuel sont profondément différentes.

Dans le premier cas, la composition de la succession des blocs d'opérations élémentaires est de type sommatif : il y a un cumul d'ensembles d'opérations élémentaires. Au terme de l'écriture le tout est différent, quantitativement et qualitativement, de ses constituants (blocs d'opérations élémentaires), selon le mode :

tant que < condition > faire < suite d'instructions >

Dans le second cas, il s'agit de processus auto-référents, c'est-à-dire que le processus intervient dans sa propre production, à travers ses réalisations antérieures, selon le mode :

faire < processus > au niveau n =
faire < processus > au niveau (n-1) plus quelque chose.

La structure itérative a été un des objets couramment isolés dans les recherches portant sur les débuts de l'informatique et de la programmation. Les éléments structurels (par lesquels passe la représentation) et les éléments fonctionnels (par lesquels passe le traitement) ne sont pas séparables dans la plupart des situations de résolution de problèmes. La variable de gestion de boucle est un invariant, au sens où il faut en assurer la gestion, donc la faire intervenir explicitement, quel que soit le langage de programmation choisi.

un nouveau
rapport au savoir
s'établit

La structure alors se fait "moyen" pour travailler sur des objets nouveaux pour lesquels les schèmes opératoires généraux font défaut. C'est une des voies de son institutionnalisation, par laquelle elle devient un objet du savoir courant. Les objets auxquels elle va être confrontée ne sont pas toujours complètement nouveaux et inconnus. Par contre les rapports qu'on est amené à établir avec eux, dans le cadre des problèmes à traiter, sont complètement nouveaux. Dans le langage LOGO, par exemple, on pourra s'intéresser aux mots. On constate alors que, plus encore que dans le tracé d'un carré, le savoir-faire usuel requiert l'utilisation d'une instrumentation externe (épeler un nom est une opération dont la familiarité rend le schème opératoire trop bien dissimulé). L'occasion d'appliquer un schème itératif, par exemple sous forme récursive, fonde une vraie redécouverte de l'objet "mot". La curiosité n'est plus du côté de la structure mais de celui des objets (mots, listes) qu'elle permet d'étudier. Ils sont constitués et institués en objets

récurifs ce qui contribue à "découvrir" et à mettre en forme certaines de leurs propriétés. Nous ne sommes plus tout à fait du côté des programmes élémentaires pour débutants. Une pratique de la programmation appuyée sur l'utilisation d'écritures récurives va être un moyen de faire entrer des objets dans un champ de représentation et de traitement où existe un mode d'engendrement qui les admette comme objets récurifs. Si les objets sur lesquels on opère à l'aide d'écritures récurives (comme réalisation d'itérations) sont des objets de savoir, ou sont des éléments constitutifs d'objets de savoirs reconnus et réalisés dans une transposition didactique déterminée, alors on peut mettre en évidence et proposer, de cette manière, de nouveaux "habitats" pour des objets de savoir déjà connus (Rajson, 1988).

3. PRATIQUES DE VALIDATION DANS L'ENSEIGNEMENT DE LOGO AU NIVEAU DU PREMIER CYCLE (COLLÈGES)

La "distance" entre le programme, c'est-à-dire l'ensemble des instructions qui y figurent explicitement, et un objet graphique réalisé à travers les instructions qui sont effectivement exécutées commence à devenir importante dès qu'on utilise une structure de programmation de type répétition. C'est une première étape du détachement du programme et de son objet, c'est-à-dire de la nécessité de prendre en compte le dispositif de traitement, à travers la réalisation que le langage utilisé actualise. Comment faut-il "parler" à l'ordinateur pour obtenir ce qu'on souhaite, dès lors que la construction des éléments du discours (la programmation) fait appel à des éléments de structuration différents de la simple juxtaposition des instructions. Dans le cas de la répétition définie on constate chez de jeunes enfants (niveau CM1-CM2 notamment) quelques difficultés à entrer dans un codage de la répétition où les instructions "actives" sont placées après l'instruction REPETE. Cela tient en grande partie au rapport que l'élève doit désormais établir entre l'usage courant, culturel, du mot REPETE qui n'a pas été, jusque là, mis en opposition à un usage savant, contrôlé. L'entrée dans une pratique cognitive, contrainte par un processus technique, représente un changement dans l'usage. Il devient nécessaire d'apprendre à dissocier deux contextes, celui où il est possible de répéter une action déjà accomplie, et celui où on structure et on annonce l'usage du bloc d'instructions à répéter. Ce changement d'usage ne va pas sans difficultés qui sont rendues manifestes par l'apparition de réponses erronées au moment de l'écriture d'un programme répétitif simple. C'est le cas, par exemple, de la suivante : "REPETE 3 (AV 100 TD 90)" pour la programmation d'un carré. Ce type d'erreur est beaucoup moins fréquent, comme on peut s'y attendre, lors de la lecture d'un programme comportant cette répétition. Ces difficultés peuvent perdurer pendant un intervalle de temps relativement important, et mises par l'enseignant sur le compte de la distraction.

l'utilisation de
mots du langage
courant est, ici
aussi, une
contrainte

la récursivité est plus complexe, par sa condensation d'écriture

Le passage à la répétition indéterminée représente un tout autre ordre de difficulté. La condensation d'écriture est encore plus manifeste. Il en va de même pour l'ensemble des opérations cognitives qu'il faut conduire pour passer d'une description d'objet effectuée dans un cadre opératoire usuel à un autre projet, celui de la réalisation par l'intermédiaire du système de représentation et de traitement, concrétisé par le couple langage-ordinateur. Deux types de structuration sont possibles : structuration itérative et structuration récursive. Pour la première nous disposons d'un ensemble de précurseurs possibles, par exemple la notion commune de répétition ou bien encore la commande "REPETE". Pour la seconde il n'y a pas de précurseur opératoire simple. Nous allons voir dans quelle mesure ces deux structures sont différentes du point de vue cognitif. Il y aura, du point de vue d'un enseignement, un "objet à connaître pour opérer avec", dans un ensemble de problèmes comportant des écritures et des analyses de programmes. Nous allons partir d'une figure simple : une suite de carrés emboîtés :

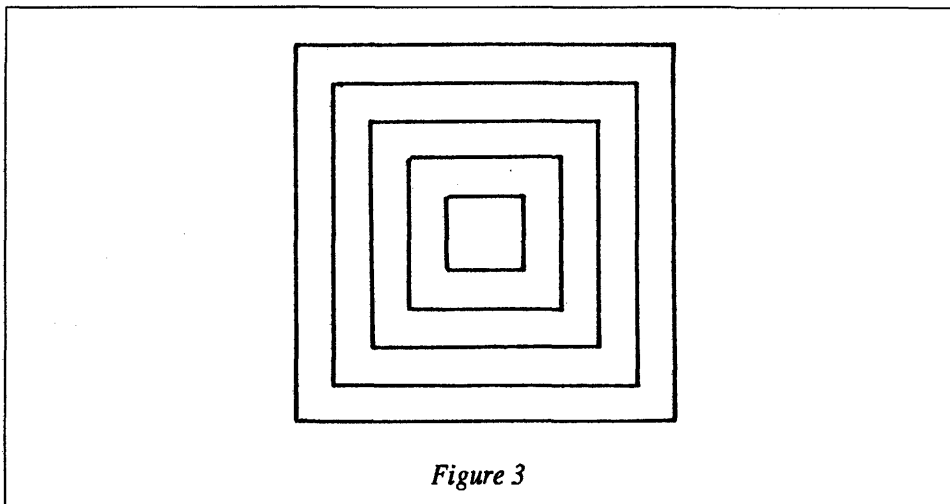


Figure 3

Elle correspond à la suite des ordres graphiques
 CARRE 10 CARRE 20 CARRE 30 CARRE 40 CARRE 50
 Cette dernière peut être associée au programme suivant :

```

    POUR FIGURE :N
      SI :N = 0 [STOP]
      CARRE :N*10
      FIGURE :N-1
    FIN
  (P)
  
```

dont elle représente un résultat d'exécution, correspondant au choix N=5.

La forme du programme (P) est très contraignante. Elle réalise le principe de récursivité et nous oblige, dès lors que nous

un problème à
plusieurs analyses
didactiques
possibles

voulons l'utiliser, à une analyse qui n'est plus strictement itérative de l'objet à produire, ou de la dynamique de sa production. On ne superpose plus des carrés dont les côtés sont en progression arithmétique, on compose le carré final avec une réalisation inachevée de l'objet. Pour mesurer la difficulté de cette approche nous pouvons partir du fait qu'il existe une stratégie de base dans l'élaboration d'une réponse : celle de la juxtaposition ordonnée des carrés. Cette stratégie peut être conçue par une très grande majorité d'élèves dans les classes du premier cycle de l'enseignement secondaire. Elle peut permettre de réussir dans la production de la figure 3 avec un répertoire assez faible de commandes géométriques et d'éléments de structuration. Pour déplacer les pratiques associées à cette stratégie et le "modèle d'engendrement" qu'elle réalise, vers des pratiques qui conduiraient au programme (P), plusieurs systèmes didactiques sont possibles. Le moins contraignant pour l'enseignant paraît celui dans lequel le problème est traité devant les élèves. Ces derniers sont, de fait, mis en situation d'imiter les conduites du maître. Dans un autre cas on pourra chercher à suppléer au manque de précurseur opératoire de la récursivité en fournissant des procédures toutes faites. Les élèves auront à les utiliser en faisant varier certains éléments. Les relations pertinentes entre ces éléments, leur place dans le programme et les effets observés réalisent un rapport au savoir visé, rapport qu'il faudra ensuite faire évoluer pour aborder des problèmes d'écriture de programmes.

difficultés d'une
approche de
construction par
les élèves

Nous avons cherché à construire une autre approche dans laquelle la structure récursive peut apparaître comme une réponse à un certain type de problèmes. La solution qui a été élaborée dans le cas des écritures récursives linéaires (un seul appel récursif dans le corps du programme) qui est décrite dans Rouchier (1988) n'est pas totalement satisfaisante. Faute d'un problème de bonne facture inductive qui permettrait l'écriture d'un programme qui ne soit pas trop complexe, il faut effectuer des décompositions du problème de base et jouer sur l'information donnée aux élèves pour que certaines interrogations, utiles du point de vue de certaines connaissances à mettre en œuvre, soient rencontrées. Si on accorde quelque crédit à la thèse selon laquelle il serait important de lier à chaque connaissance (nouvelle) une situation fondamentale composée d'un ou plusieurs problèmes, associée à un mode de mise en rapport avec ce(s) problème(s), ce qui est notre cas, il ne nous semble pas que nous ayons isolé, pour le moment les éléments de cette situation. Il y a là indice de difficulté qui peut concerner autant la qualité du travail conduit que la notion de situation fondamentale elle-même. La connaissance en cause n'est pas, en l'occurrence, le facteur le moins important. A cet égard, nous avons mis en évidence une différence structurale-fonctionnelle importante dans la relation entre un objet itérativo-récursif du type de celui qui est décrit plus haut et les parties qui le composent selon qu'on le traite comme la totalité de la suite des carrés (lue dans le sens des côtés croissants ou dans le sens des

côtés décroissants) ou bien comme un terme dans la double suite coordonnée des FIGURES et des CARRES. Cette analyse peut être résumée dans les deux schémas suivants :

CARRE 10 -> CARRE 20 -> CARRE 30 -> CARRE 40 -> CARRE 50

Schéma n° 1

CARRE 10 CARRE 20 CARRE 30 CARRE 40
 FIGURE1 FIGURE2 FIGURE3

Schéma n° 2

la validation
exige plus que la
reproduction

L'expérience de l'élève doit se constituer autour d'un objet qui est composé de la double suite, du programme et de la relation de nécessité qui les unit dans un problème de programmation, relatif à ce niveau d'intervention didactique. L'instrument d'articulation de ces éléments est une forme de validation. Le travail de validation ne saurait, du point de vue notionnel, en rester au niveau du constat visuel de l'adéquation d'un objet produit à l'écran avec ce qui est fourni dans la formulation de la consigne ("Ecrire un programme dont l'appel, par une valeur déterminée de la variable, produise une figure analogue à la figure donnée"). Il est indispensable d'élaborer des instruments de contrôle plus intellectuels, sinon plus rigoureux. Le moyen que nous avons retenu au cours des quatre séquences d'enseignement associées à la recherche sur "didactique et apprentissage de la récursivité au niveau du collège", est basé sur la demande d'un "équivalent-exécution" composé des ordres graphiques exécutés à l'appel de telle ou telle procédure. Un contrat va donc s'établir au niveau de la capacité et produire cette séquence à la demande, production qui pourra être assortie d'une justification. Cette justification va évoluer, partant d'une exécution réalisée effectivement, à l'usage d'un modèle appelé modèle relationnel, par lequel la suite ordonnée des appels à la procédure extérieure (il s'agit de l'exemple de la procédure CARRE) est associée au couple (appel récursif, appel extérieur) selon un rapport schématisé comme suit :

relations structurelles "récursives"	<=>	relations figurales "itératives"
(appel récursif, appel extérieur)	<->	suite de carrés tracés dans le sens croissant des côtés
(appel extérieur, appel récursif)	<->	suite des carrés tracés dans le sens décroissant des côtés

...en demandant
aux élèves de
produire deux
procédures

Cette correspondance ordonne autant la vérification qu'elle permet la production de programmes ou l'anticipation d'un résultat. Nous rencontrons alors deux types de problèmes :

- ceux qui sont posés par l'extension de son domaine d'utilisation, pour la récursivité linéaire, à des contenus de programmation non graphiques, au sens de LOGO. Il faut alors fonder en analogie opératoire, dans le nouveau contexte, une réalisation de la relation figurale itérative.
- ceux associés à l'établissement d'un autre rapport qui serait du type :

relations figurales récursives <=> relations structurelles récursives

et correspondrait à ce qu'on appelle traditionnellement l'intériorisation (par l'élève) de la structure récursive.

On peut penser que des problèmes de programmation portant sur des objets pour lesquels une description basée sur des relations figurales itératives est inadéquate, vont permettre de passer à une description basée sur d'autres relations figurales, en l'occurrence des relations récursives. L'arbre linéaire est un de ces objets possibles, étudié par C. Dupuis et D. Guin (1988, 1989). L'ordonnement du questionnement se réalise comme celui que nous avons proposé dans deux textes (1988a, 1989b). On constate la persistance, qui paraît normale, de ce que les auteurs appellent "*appréhension séquentielle*" et qui relève d'une lecture des relations figurales selon le mode itératif, et son transport dans le domaine de la désignation des variables sous la forme du codage descriptif. C'est témoigner largement à la fois de l'intérêt, et des difficultés, que peut rencontrer la mise en place d'objets de savoir aussi nouveaux que la forme d'"élémentarisation" de la récursivité que représente la pratique des écritures récursives en situation de programmation.

CONCLUSION

Tracer les éléments d'un passage de l'expérimentation organisée à l'enseignement suppose une délimitation des problèmes qui peuvent être rencontrés au cours de cette opération. Ils sont du même ordre que ceux qui se manifesteraient dans la didactique d'autres disciplines scientifiques à cela près qu'il s'agit de savoirs dont le mode d'insertion dans un réel a une spécificité particulière. Le double repérage, interne, articulé sur l'écologie des savoirs en cause, externe articulé sur des éléments culturels donc sur un ordre de reconnaissance dans la noosphère est une nécessité. Dans cet article nous avons essayé de mettre en évidence, par une présentation de quelques travaux, le prix à payer pour la nouveauté, en tant qu'objet de savoir, de notions comme la récursivité. Il nous semble que dans l'état actuel de l'enseignement scientifique, elle ne pourrait prétendre à un "habitat" de taille suffisante. Elle ne pourrait donc pas survivre.

La tâche de la recherche reste, toutefois, toujours la même, explorer des réalisations didactiques ainsi que leurs conditions d'existence qui permettent le double mouvement d'insertion d'objets de savoir dans des curriculums existants ou de construction de curriculums.

André ROUCHIER
Université d'Orléans

BIBLIOGRAPHIE

CHEVALLARD Y. (1989) *Arithmétique, Algèbre, Modélisation*. Publications de l'IREM de Marseille.

CONNE F. (1989) *Un grain de sel à propos de la transposition didactique*. CIRADE. Université de Montréal.

DUPUIS C., GUIN D. (1988) "Découverte de la récursivité en LOGO dans une classe" in C. LABORDE. *Actes du premier colloque franco-allemand de Didactique des Mathématiques et de l'Informatique*. Grenoble. La Pensée Sauvage.

DUPUIS C., GUIN D. (1989) *Gestion des relations entre variables dans un environnement de programmation LOGO*. Vol. 20, n° 3, pp. 293-316.

LABORDE C., BALACHEFF N., MEJIAS B. (1985) "Genèse du concept d'itération : une approche expérimentale". *Enfance* n° 2.3., pp. 223-239.

LUCAS M., PEYRIN J.P., SCHOLL P.C. (1983) "Algorithmique et représentation des données". Tome 1. *Files Automates d'états finis*. Paris. Masson.

MENDELSON P. (1985) "L'analyse psychologique des activités de programmation chez l'enfant de CM1 et CM2". *Enfance* n° 2.3., pp. 213-221.

PEA D. ROY., KURLAND D. MIAU (1984) "On the cognitive effects of learning computer programming". *New Ideas in Psychology*. Vol.2, n°2, pp. 137-168.

RAJOSON L. (1988) *L'analyse écologique des conditions et des contraintes dans l'étude des phénomènes de transposition didactique : trois études de cas*. Thèse de 3e cycle. Université d'Aix-Marseille. Faculté de Luminy.

ROUCHIER A., SAMURCAY R. (1984) *Concepts informatiques et programmation. Une première analyse en classe de seconde des lycées*. Rapport de recherche, Projet E.A.O. 696 ABC, CNRS, EHESS et IREM d'Orléans.

ROUCHIER A. (1988a) *Savoirs et Savoir-faire en programmation au collège. La récursivité en 4e, 3e*. Rapport de Recherche MRT.MEN (non publié).

ROUCHIER A. (1988b) "Représentation et mise en scène d'objets informatiques pour l'enseignement", in LABORDE C. *Actes du premier colloque franco-allemand de Didactique des Mathématiques et de l'Informatique*. Grenoble. La Pensée Sauvage.

SAMURCAY R., ROUCHIER A. (1985) "De "faire" à "faire faire" : planification d'actions dans la situation de programmation". *Enfance* n° 2.3., pp. 241-254.

SAMURCAY R. (1988) "Modèles cognitifs dans l'acquisition de concepts informatique", in C. LABORDE. *Actes du premier colloque franco-allemand de Didactique des Mathématiques et de l'Informatique*. Grenoble. La Pensée Sauvage.

SAMURCAY R., ROUCHIER A., (à paraître) "Apprentissage de la programmation au collège : un élargissement du champ de fonctionnement du schéma récursif". *Recherches en Didactique des Mathématiques*.

L'APPRENTISSAGE DE L'ITÉRATION DANS DEUX ENVIRONNEMENTS INFORMATIQUES

Vassilios Dagdilells
Nicolas Balacheff
Bernard Capponi

Cet article présente une étude comparée de l'apprentissage de l'itération dans deux environnements informatiques différents : Pascal et Multiplan. Cette étude a été réalisée avec des élèves de troisième (fin de la scolarité obligatoire) d'un collège français. Nous avons pu dégager des analogies importantes entre les deux environnements à propos de l'itération. Mais l'hypothèse consistant à prévoir un transfert des connaissances d'un logiciel à l'autre ne s'est pas trouvée confirmée, ce qui confirme la complexité cognitive du concept d'itération, déjà mise en évidence dans d'autres recherches.

1. INTRODUCTION

enseigner
l'informatique :
une nécessité

l'itération : une
structure
fondamentale de
la
programmation...

La programmation informatique prend progressivement sa place dans le cursus scolaire. Dans le contexte de l'informatisation des métiers et, plus généralement, de la société, *l'alphabétisation informatique devient tout aussi nécessaire que l'initiation aux Mathématiques pour tous ceux dont ce ne sera jamais la profession* (Rogalski 1985). Une des principales composantes de l'alphabétisation en informatique est la programmation. Cet enseignement passe par l'appropriation de notions fondamentales d'algorithmique, par des élèves débutants, qui pose de nombreux problèmes.

Un certain nombre de recherches ont été entreprises, en France et à l'étranger, dans le but d'étudier les processus d'enseignement et d'apprentissage des savoirs concernés. La notion d'itération est au cœur même de ces recherches. Cet intérêt se justifie par le fait que l'itération constitue un élément fondamental de la programmation mais dont la mise en œuvre pose en revanche des problèmes conceptuels importants aux élèves débutants. Ainsi que le montrent certains travaux (Rouchier et al 1984) la mise en œuvre de l'itération dans un environnement informatique (sur un dispositif informatique donné) dépend de certaines caractéristiques de cet environnement : caractéristiques ergonomiques, disponibilité des divers types d'itération, etc. Certaines de ces difficultés semblent être liées plus directement au concept même d'itération, ou plus précisément au fait qu'il constitue un outil pour la réalisation d'un grand nombre de calculs caractérisés par un ou plusieurs invariants.

... et de son
apprentissage

nous étudions ici
sa mise en œuvre
dans deux
environnements...

le tableur
Multiplan

et le langage
Pascal

Dans le présent travail nous présentons des résultats relatifs au problème de l'apprentissage de l'itération. Si, d'une manière générale, la mise en œuvre de l'itération correspond à l'utilisation d'un concept d'algorithmique dans le contexte d'un dispositif informatique, alors il semble raisonnable de faire l'hypothèse que l'introduction de l'itération dans un environnement donné facilitera son utilisation dans un autre environnement. Dans ce qui suit nous étudions certains aspects de cette question du transfert de connaissances sur l'itération. Il s'agit, plus précisément, de l'analyse de deux situations dans lesquelles des élèves avaient à résoudre un même problème itératif mais dans deux environnements de programmation différents : d'abord dans un environnement de programmation classique (MacPascal) puis dans l'environnement d'un tableur (Multiplan).

2. LE CADRE DE L'EXPÉRIMENTATION

Le problème que nous étudions est en fait issu des questions soulevées sur le terrain, à propos d'une initiation d'élève de Collège (classe de troisième) à l'informatique⁽¹⁾. L'idée initiale était de réaliser un projet d'alphabétisation en s'appuyant sur un progiciel, Multiplan, qui est un tableur très répandu dans le monde du travail, mais dont les fonctionnalités sont, en général, sous-exploitées. En particulier, on peut constater que l'itération disponible sur Multiplan est souvent peu utilisée (voire absente des formations les plus classiques). En quelque sorte, on peut penser que Multiplan est un "écosystème" peu favorable à l'appréhension et l'utilisation de l'itération par les novices, bien qu'il s'agisse là d'un outil très performant dans bien des situations.

Partant de l'hypothèse que les langages de programmation "classiques" constituent un "lieu naturel" pour la mise en œuvre de concepts fondamentaux d'algorithmique, on peut penser que le langage Pascal offre un environnement bien adapté pour la présentation et la mise en œuvre de l'itération. Par ailleurs, l'utilisation de MacPascal (version interprétée de Pascal implémentée sur Macintosh) permet d'éviter les difficultés pratiques et conceptuelles liées à la compilation. Ainsi nous avons abordé dans le cours de cette formation la notion d'itération successivement dans l'environnement Pascal, puis dans l'environnement Multiplan.

(1) La formation décrite a eu lieu dans le cadre d'une option obligatoire et elle a été encadrée par l'équipe de Didactique des Mathématiques et de l'Informatique de l'Université Joseph Fourier à Grenoble, aux travaux de laquelle participait aussi l'enseignant.

Nous présentons dans le présent article l'analyse et la comparaison des résolutions d'un même problème proposé aux élèves dans les deux environnements. Notre hypothèse était que les élèves investiraient dans Multiplan les connaissances relatives à l'itération, déjà acquises dans le contexte de MacPascal.

les élèves
observés
travaillaient en
binômes...

Les observations portent sur douze élèves de troisième qui travaillaient dans le cadre d'une formation initiale à l'utilisation des outils informatiques. Ils ont été regroupés en six binômes disposant chacun d'un micro-ordinateur Macintosh 512 K de Apple. Chaque binôme était observé par l'un des membres de notre équipe de recherche et enregistré. Cette disposition des élèves par binôme, peu fréquente dans l'enseignement, constitue un élément important dans les situations que nous avons conçues. Le travail en groupe permet en effet la confrontation d'opinions différentes et, par conséquent, il favorise des explicitations, voire la production d'explications. Il est donc susceptible de provoquer chez l'élève une véritable réorganisation de sa pensée et de contribuer à l'évolution de ses connaissances. Les productions (verbales ou écrites) au cours de ce travail commun constituent un corps de données expérimentales qui ont une grande valeur pour le chercheur. C'est sur un tel corpus que nous nous sommes appuyés pour réaliser les analyses présentées ici, notre travail a été guidé essentiellement par l'analyse a priori de la situation problème et l'analyse conceptuelle des structures algorithmiques en jeu. Nous en présentons ci-dessous les grandes lignes, une analyse complète est disponible dans (Capponi 1990).

... pour favoriser
les explicitations
des procédures

Les séances de formation comprenaient une activité de la classe toute entière avec le professeur, orientée essentiellement vers l'introduction de notions nouvelles, suivie de travaux pratiques réalisés sur le micro-ordinateur. Le professeur, après avoir fourni une tâche aux élèves intervenait à la demande de ceux-ci. Nous décrivons ici une séance mettant en œuvre l'itération en Pascal (présentée au paragraphe 6.1.) et deux séances dans Multiplan (présentées en 7.3.) .

3. UN POINT DE DÉPART

dans une
perspective
constructiviste...

Il y a plusieurs façons, bien différentes, d'aborder le problème de l'acquisition des connaissances. Nous nous sommes placés dans une perspective constructiviste : hypothèse d'un sujet qui construit ses propres connaissances en interaction avec son milieu. La théorie des *situations didactiques* (Brousseau 1987) permet, à travers la construction de situations adaptées, d'organiser la formation des élèves en donnant une place centrale à l'activité du sujet. Cette activité doit être orientée vers la résolution de problèmes qui sont "source et critère des savoirs" (Vergnaud 1981). Dans ce contexte nous avons voulu créer des situations problèmes telles que les savoirs en jeu

... les savoirs sont des outils pour résoudre des problèmes

(l'itération et sa mise en œuvre dans le contexte du dispositif donné) puissent apparaître comme des outils économiques et efficaces pour la résolution des problèmes. Il était donc important de créer ces conditions qui pourraient donner un sens aux nouveaux concepts.

4. L'ITÉRATION

4.1. Les éléments d'une structure itérative

Une construction itérative a la forme générale suivante :

```
A:
  itérer
      S
      si B alors sortir
      T
encore
```

où B présente la condition d'arrêt de l'itération et S, T sont des ensembles d'instructions, éventuellement vides.

Si S est vide, alors la structure prend la forme classique :

tantque B faire T fintantque

Si, au contraire, T est vide, alors on retrouve la forme :

répéter S jusqu'à ce que B

Pour notre travail nous nous sommes appuyés sur l'analyse conceptuelle de l'itération faite par Mejias (1985).

Mejias distingue les parties suivantes dans une structure itérative :

une structure itérative comprend :

- des instructions à répéter
- une condition d'arrêt

- le corps de l'itération, ensemble des instructions qui doivent être répétées un certain nombre de fois.
- la condition d'arrêt qui sert à assurer que le programme "ne boucle pas indéfiniment". Cette condition porte sur des expressions qui sont mises à jour dans le corps même de l'itération.

Puisque l'itération s'intègre souvent dans un programme plus large, la structure itérative doit être articulée avec le reste du programme. Ainsi il y a :

-un problème d'initialisation des variables et

-un problème éventuel d'articulation après la fin de l'itération.

Mejias distingue aussi dans une structure itérative un avertisseur d'itération (par exemple tantque et répéter) et des délimiteurs du corps d'itération (par exemple **faire...fintantque** et **répéter... jusqu'à ce que**).

Cette analyse montre en fait la complexité d'une structure itérative; ces éléments sont pertinents non seulement d'un point de vue informatique mais aussi d'un point de vue didactique : ils constituent des "paramètres" didactiques, même si leur prise en compte reste parfois "transparente", implicite -

dans le langage Pascal la structure étudiée est :

- répéter
- instructions
- jusqu'à ce que condition

- surtout chez les programmeurs expérimentés -- parce que le choix de tel ou tel type d'itération (avec donc telle ou telle caractéristique) peut affecter les conduites de l'apprenant (Soloway et als 1984) et aussi le sens ou la complexité d'un problème. En s'appuyant sur les travaux déjà effectués dans ce domaine (Laborde et als 1985), parmi les différents types d'itération possibles dans le contexte du langage Pascal, nous avons retenu le type :

répéter... jusqu'à ce que condition

(**repeat ... until** en Pascal) qui, selon Mejias (Mejias 1985, Rouchier et als 1984) est plus proche des conceptions initiales des élèves.

La même problématique nous a conduits à restreindre encore la présentation de ce type d'itération à la forme suivante :

```
repeat
  x:=x+1; {le compteur}
  ...    { le corps de l'itération}
until x= N {N est un entier}
```

où la variable **compteur** est initialisée implicitement à zéro et est placée après l'avertisseur **repeat** dans le bloc de déclaration des variables.

4.2. Un problème-type d'itération

le problème étudié : programmer le calcul de la somme des 300 premiers entiers

Pour l'étude de l'itération dans diverses situations d'apprentissage les chercheurs utilisent souvent un problème-type dans lequel la tâche consiste à calculer la somme (ou parfois la moyenne) d'un ensemble d'entiers. En s'appuyant sur l'analyse de Soloway (Soloway et als 1984), nous avons choisi le problème suivant :

Trouver la somme des N "premiers" entiers.

Dans ce problème, ce qui est demandé n'est pas une formule algébrique qui "traduit", en quelque sorte, l'énoncé dans un langage symbolique :

$$\sum_{i=1}^n i$$

mais la réalisation effective du calcul.

la résolution "à la main" laisse dans l'ombre la nécessaire distinction entre...

Si ce problème peut être résolu "à la main" pour de petites valeurs de N, il est par contre difficile de le résoudre dès que N devient "assez" grand. Par ailleurs N peut être choisi de façon à ne pas permettre de remplacer l'itération par une procédure de réplification, c'est-à-dire les réécritures successives d'un même bloc d'instructions. La formule algébrique classique et la récursivité n'étant pas connues par les élèves de troisième, on

peut en déduire que l'itération apparaît comme un outil adapté pour la résolution de ce problème.

La résolution de ce problème en utilisant l'itération exige l'utilisation de deux variables : un compteur et un accumulateur. Les valeurs successives du compteur sont calculées par une instruction récurrente :

COMPTEUR:= COMPTEUR + 1

Ces valeurs sont ensuite ajoutées dans l'accumulateur par l'instruction :

SOMME:=SOMME+COMPTEUR

... et un
accumulateur...

qui a, elle aussi, un caractère récurrent.

... c'est ce que
révèlent les
explications
orales des élèves

L'élève doit donc identifier les invariants qui permettent la réalisation des calculs demandés et les coordonner dans le corps d'une structure itérative adéquate (i.e. exécutable par un dispositif informatique). Il est probable que ces deux invariants ne se situent pas au même niveau de difficulté. Le compteur peut être considéré comme un générateur d'entiers et l'énumération d'entiers successifs est déjà connue des élèves grâce à d'autres activités. Par contre l'accumulateur SOMME est beaucoup plus spécifique du découpage des actions qui sont propres à la programmation. Si le calcul de la somme des 300 entiers était effectué avec du papier et un crayon, il est probable qu'existeraient des "sommes partielles" écrites au fur et à mesure que le calcul progresse, mais il ne serait pas nécessaire que ces sommes partielles soient désignées explicitement ; il suffirait de les avoir notées pour que l'opérateur (humain) puisse les utiliser ultérieurement.

D'autre part une description orale du calcul - en dehors du contexte informatique - a le plus souvent des formes en langue naturelle qui ne font aucune allusion à l'existence d'un accumulateur ou d'un découpage. Pour donner un exemple, voici comment Laurent, un élève, exprime ce qu'il faut faire :

prendre un nombre et puis ajouter le suivant et ainsi de suite...

la tâche du
programmeur
est de
"décompacter"
des expressions
complexes en
actions
élémentaires

Notre hypothèse est que la "transparence" des algorithmes - comme l'algorithme exprimé par Laurent - qui ne sont pas exécutables par un dispositif informatique, peuvent se constituer en obstacles majeurs pour la construction d'un algorithme correct et exécutable. Le programmeur doit en effet transformer les expressions "concentrées" (i.e. tout dans une seule expression) en un ensemble d'actions élémentaires qui doivent s'articuler dans le corps d'une structure adéquate. C'est cette transformation qui constitue une tâche difficile pour les programmeurs débutants. Ce même élève, Laurent, l'exprime d'ailleurs clairement en disant :

on sait le dire mais on peut pas le faire...

Si donc on fait l'hypothèse générale que les élèves peuvent essayer de construire leur algorithme en procédant par une exécution mentale (Hoc 1979) ou par une stratégie de transfert de procédures qui sont valables dans d'autres environnements,

on s'aperçoit que la construction de l'accumulateur nécessite un effort intellectuel considérable. Elle exige une véritable construction cognitive.

5. L'ANTHROPOMORPHISME

l'élève attribue souvent à la machine une intelligence humaine

cela explique certaines de leurs erreurs

Pour rendre compte des conceptions spontanées des élèves, Pea (Pea 1984) propose l'*hypothèse anthropomorphique*. Selon cette hypothèse la machine dispose, aux yeux des élèves, des compétences particulières analogues à celles d'un interlocuteur humain. Ainsi les élèves ont tendance à attribuer aux instructions d'un programme une sémantique beaucoup plus large que la sémantique réelle. Ils ne croient pas vraiment à l'existence d'une intelligence humaine "cachée" dans la machine. Mais souvent ils se comportent *comme s'il y en avait une*. Selon Pea les conceptions anthropomorphiques peuvent être la source des certaines erreurs des élèves. Dans un travail plus récent, Spohrer et als (1986) ont élaboré une taxonomie des "bugs" qui, à certains égards, est assez proche du modèle proposé par Pea. Nous nous sommes intéressés au modèle de Pea parce que nous pensons qu'il peut constituer un cadre explicatif de certaines erreurs des élèves (erreurs qui peuvent apparaître surtout au cours d'un enseignement d'introduction, d'alphabétisation). Par ailleurs, le travail dans deux environnements différents permet l'étude des rapports éventuels entre ces conceptions et la nature du dispositif utilisé : est-ce que, par exemple, un type d'environnement donné privilégie un type de conceptions anthropomorphiques plus qu'un autre ?

6. OBSERVABLES DANS MACPASCAL

6.1. Présentation de l'activité

dans l'environnement Pascal...

Après une séance d'introduction à l'itération, l'enseignant a proposé aux élèves le problème suivant :

Calcule
 $1+2=$
 $1+2+3=$
 $1+2+3+4=$
 $1+2+3+4+5=$

Ecris un programme qui permet à l'utilisateur de calculer ces sommes en choisissant lui-même combien de nombres il ajoute.
 Contrôle ton programme en recalculant les sommes ci-dessus.

Ensuite les élèves devaient calculer les sommes des entiers jusqu'à 100, puis 300, 500, 1000.

6.2. Une synthèse des observations

• Les étapes lors de la mise en œuvre de l'itération

... les premières tentatives des élèves utilisent peu l'itération

En ce qui concerne la mise en œuvre de l'itération, l'ensemble de nos observations confirme les résultats déjà connus : la syntaxe de l'itération n'a pas posé de problèmes. Mais, en revanche, les élèves n'utilisent pas spontanément l'itération comme un outil pour la résolution du problème posé. En général, c'est seulement après une longue période d'essais qu'ils la construisent.

ils ne dégagent aucun invariant...

Les premières tentatives des élèves se caractérisent par des constructions qui ne mettent en évidence aucun invariant. Ils recherchent plutôt la reproduction de résultats pour des petites valeurs des variables qui soient en accord avec les valeurs obtenues avec des calculs "à la main". Voici trois programmes caractéristiques de ces premières tentatives des élèves :

<u>prog1</u>	<u>prog2</u>	<u>prog3</u>
A:=3;	x:=x+1;	a:=1+2;
B:=4;	y:=x+x;	b:=a+3
C:=5;	z:=y+x;	c:=b+4;
D:=A+A;	writeln(z);	d:=c+5;

Si prog1 et prog3 semblent assez éloignés de la solution correcte puisqu'ils ne prennent en compte aucune invariant, par contre prog2 présente un grand intérêt : les élèves n'obtiennent pas les résultats voulus par des affectations de valeurs numériques mais par une manipulation de variables, ils travaillent déjà avec des structures "généralisables".

... mais procèdent de proche en proche

Ces programmes s'inscrivent dans une logique de "somme par paires" qui correspond à l'expression en langue naturelle : *prendre un nombre et puis ajouter le suivant et ainsi de suite...*

L'analyse des relations qui existent entre les variables peut conduire les élèves à l'abandon de cette stratégie et à l'adoption de procédures plus évoluées. Néanmoins il y a deux étapes à franchir:

- l'introduction d'une variable spéciale (l'accumulateur) et
- l'utilisation de l'itération.

Les élèves peuvent, parfois, rester bloqués jusqu'à la fin dans leur logique initiale. Par exemple, Corinne et Estelle ont poussé leur tentative jusqu'au bout : à la fin de la séance elles sont arrivées à un long programme qui reproduit quatre fois le bloc de prog2. Il s'agit clairement d'une tentative de réplication qui, quoi qu'il en soit, ne peut pas aboutir, étant donné que la somme demandée était de 300 entiers.

L'adoption de l'itération (par quatre binômes sur six), n'a pas automatiquement conduit les élèves à l'identification simultanée des "bons" invariants. Ainsi certains élèves construisent des

l'adoption de
l'itération
commence par...

programmes avec un corps d'itération qui contient seulement un compteur. Voici par exemple un programme construit par Christophe et Richard :

```

prog4
begin
  repeat
    x:=x+1;
    writeln(x);
  until x=15;
end.

```

la construction
d'un compteur

Ce type de programme n'est que relativement marginal ; d'ailleurs on a la nette impression qu'il a été construit par les élèves pour "voir". En revanche le programme suivant est assez typique :

```

prog5
begin
  repeat
    x:=x+1;
    a:=a+a;
    writeln(a)
  until x=4
end.

```

On remarque l'apparition d'une nouvelle variable (a) qui est un indice significatif de ce qu'il y a une prise de conscience de la nécessité d'une seconde variable qui doit jouer le rôle de l'accumulateur. Mais le passage de ce programme à la solution correcte n'est pas non plus automatique. Par exemple, Hervé et Pierre essayent longtemps de modifier leur programme (prog5). Le programme (prog 6) est encore une étape de leur travail :

```

prog6
begin
  a:=a+1;
  repeat
    a:=a+1;
    a:=a+b;
    a:=a+c;
  until (a=300);
  writeln(a);
end.

```

la mise en
place de
l'accumulateur
est une étape...

Cependant nous considérons ce type de programme (prog6) comme une étape importante : les élèves ont déjà l'idée d'une structure qui peut conduire à la solution. L'introduction d'une troisième variable est peut être un indice de la réapparition d'une stratégie d'addition "par paires" - mais cette fois-ci à l'intérieur de l'itération. D'ailleurs, le déplacement de l'instruction **writeln** en dehors du corps de l'itération, atteste de ce que les élèves considèrent déjà l'itération comme une partie de leur programme - et donc le problème de son articulation avec "le monde extérieur" se pose.

L'introduction d'un accumulateur constitue une étape importante dans le processus de résolution du problème. Pour donner un exemple, voici le protocole de Sandrine :

...on a A plus B...A plus C...A plus... A plus la somme...la variable qu'on avait calculé avant

Cet extrait montre que Sandrine a saisi le caractère invariant de l'accumulateur. Elle arrivera rapidement à un programme correct.

... importante
mais difficile

Si la plupart des programmes cités ci-dessus comportent un compteur qui est correctement utilisé, en revanche l'utilisation correcte de l'accumulateur semble être beaucoup plus difficile pour les élèves. Cette observation a déjà été faite dans la plupart des travaux sur la programmation. Mais, dans notre expérience, il est possible que l'utilisation correcte du compteur ait été favorisée par son introduction par l'enseignant au cours précédent (introduisant justement de l'itération).

Dans le tableau qui suit (fig. 1) nous présentons les principales étapes au cours de la résolution pour chacun des binômes ⁽²⁾. Les colonnes du tableau correspondent aux stratégies des élèves de la façon suivante :

- I Reproduction de valeurs locales, sans itération et sans aucun invariant
- II Structures "généralisables", calcul de valeurs par manipulation des variables, sans itération
- III Itération avec compteur seul
- IV Itération avec "sommutation par paire"
- V Itération avec compteur et accumulateur

binômes	I	II	III	IV	V
Sandrine Christiane		■	■		■
Corinne Estelle		■		■	
Sébastien Laurent	■	■		■
Cristophe Richard	■		■	■	■
Nathalie Crystelle	■			■	■
Hervé Pierre		■	■	■	

figure 1

(2) Le trait pointillé sur la ligne de Sébastien et Laurent signifie que nous ne possédons pas les traces intermédiaires.

• L'anthropomorphisme

Tout au long de cette activité nous avons détecté beaucoup d'erreurs qui ressemblent à celle que nous présentons ci-dessous du binôme Hervé et Pierre :

```
a:=a+b;
readln(a);
a:=a+b;
```

beaucoup d'erreurs sont liées à un modèle anthropomorphique

une seule variable pouvait contenir plusieurs valeurs!

Il semble qu'ici la variable a peut contenir à la fois plusieurs valeurs: la valeur "lue" avec READLN et la somme a+b. Pour Hervé et Pierre une affectation ne détruit pas nécessairement une valeur antérieure dans la variable a. Il s'agit d'une erreur qui peut s'expliquer avec l'aide du modèle anthropomorphique : une seule variable peut jouer plusieurs rôles à la fois, elle peut contenir plusieurs valeurs simultanément et le dispositif, comme s'il s'était muni de capacités humaines, sait les distinguer. Nous avons nommé ce type d'erreur, erreur des variables polyvalentes (Soloway 1982 les nomme *mushed variables*).

D'autres programmes sont plus difficiles à analyser. Le programme de Corinne et Estelle en est un exemple :

```
...
x:=x+1;
y:=x+x;
z:=y+x;
writeln(z);
...
```

Pour ces élèves les deux x ne sont pas identiques, chacun joue un rôle différent (sinon elles auraient mis 2x à la place de x+x). Cependant quand elles simulent l'exécution du programme sur papier, elles disent explicitement :

...x plus 1 ça fait 1...y égal x plus x...ça fait 2

certaines erreurs sont plus difficilement explicables

Il est difficile d'interpréter cette conduite : ces élèves comprennent l'effet des affectations mais en même temps elles attribuent un rôle particulier à la variable x. Ce type de programme a déjà été signalé par Soloway (op. cit.) qui a eu les mêmes difficultés que nous pour l'interpréter.

6.3. Conclusion

en résumé :

Notre expérience confirme des hypothèses déjà émises par d'autres (Mejias 1985) : les élèves débutants n'utilisent pas spontanément l'itération comme un outil pour résoudre le problème. D'ailleurs la découverte de ce que l'itération est la "bonne" structure ne constitue pas la seule étape importante que les élèves doivent franchir pour arriver à la solution. Il reste :

l'élève débutant n'utilise pas spontanément l'itération en Pascal...

- le découpage en actions élémentaires en fonction des capacités du dispositif;
- la "découverte" des variables qui jouent le rôle du compteur et de l'accumulateur, et celle des invariants que leurs interrelations doivent exprimer;

Il développe
d'autres
stratégies :
- sommation
de valeurs
numériques
- sommation
par paires

- une coordination éventuelle du corps de l'itération avec le test d'arrêt et le "monde extérieur" (i.e. le reste du programme).

Les stratégies des élèves peuvent être regroupées de la façon suivante :

- recherche de sommations qui ne prennent en compte aucun invariant : ce sont en fait des valeurs numériques qui interviennent et non des variables. Mais ce genre de construction caractérise surtout les premières phases de la résolution, on pourrait donc les considérer comme éléments de phases exploratoires;
- des constructions qui probablement sont dues à des conceptions du type sommation par paires : "prendre un nombre, ajouter le suivant et ainsi de suite...". Cette conception apparaît assez massivement. Il est cependant rare que cette stratégie soit suivie jusqu'à ses ultimes conséquences : la réplication n'est apparue que chez un seul binôme. La plupart des élèves préfèrent, par un procédé d'essais-erreurs, tenter des modifications de leurs "écritures" jusqu'à ce que les résultats obtenus soient satisfaisants.

Les conceptions que nous avons qualifiées d'anthropomorphiques apparaissent nettement. C'est surtout les conceptions du type "variables polyvalentes" qui nous semblent typiques dans l'expérience que nous avons menée.

7. MULTIPLAN

7.1. Introduction⁽³⁾

Multiplan est un
tableur...

Multiplan est un tableur : il permet le traitement de grands ensembles de nombres. Les calculs sont réalisés automatiquement grâce à des formules définies par l'utilisateur. Il peut, d'un certain point de vue, être considéré comme un langage de programmation. Cependant il se distingue nettement du langage Pascal par un certain nombre de caractéristiques.

- Les formules et les cellules

... c'est-à-dire un
tableau
comprenant des
cellules...

Multiplan affiche un tableau constitué de cellules où l'utilisateur peut inscrire des nombres, des textes ou des formules. Le logiciel inscrit dans les cellules, après calcul, les résultats

(3) Pour la lecture de cette partie du travail nous supposons que le lecteur a déjà une certaine connaissance du fonctionnement d'un tableur et de Multiplan en particulier. Cette partie de notre travail a un caractère essentiellement exploratoire, car il y a encore très peu de travaux de recherche sur ce sujet. Nous donnons dans ce qui suit une brève description de certaines caractéristiques de Multiplan qui nous serviront comme appui pour la suite. Pour une analyse plus complète des caractéristiques du dispositif Macintosh/Multiplan, nous renvoyons le lecteur à (Capponi et als 1989).

... référencées	déterminés par les formules. Ces résultats sont des nombres, des booléens, des textes ou des messages d'erreurs.
ce sont les références relatives qui seront utilisées ici	Les formules sont des expressions construites à partir des règles formelles du calcul algébrique (priorités, parenthèses...) et des désignations des cellules. Il y a plusieurs types de désignation des cellules (références absolues, relatives, désignation par nom) qui donnent un caractère particulier à la notion de variable dans Multiplan. Le type retenu pour l'enseignement en question ici était celui des références relatives ⁽⁴⁾ . Les formules ont une signification algébrique mais ce caractère algébrique ne va pas de soi pour les utilisateurs débutants. La priorité donnée à l'affichage des résultats par le logiciel privilégie une interprétation des écritures comme description de calcul au détriment d'une interprétation en terme de relations entre les cellules (Capponi et als 1989).
une cellule peut contenir des formules...	Mais d'un point de vue informatique, les formules peuvent être considérées comme des instructions d'un langage de programmation impératif mettant en œuvre plusieurs notions fondamentales comme la variable, l'itération et la notion même de programme. Ainsi les cellules désignent à la fois le "lieu" d'écriture des instructions, le "lieu" d'affichage des résultats et les "variables".
... auquel cas elle contient aussi le résultat des calculs !	Par ailleurs l'exécution du calcul dans Multiplan suit un ordre déterminé, les formules doivent donc être considérées en tenant compte de leur position dans le tableau et, en ce qui concerne l'itération, l'instant où l'exécution a été interrompue. Ces caractéristiques donnent au logiciel un aspect dynamique : les calculs sont exécutés à "l'avant de la scène" - le programmeur peut les "voir" - et chaque modification d'une expression entraîne automatiquement (au moins par défaut) un recalcul des résultats - de tous les résultats - sans que l'utilisateur relance une commande d'exécution.
le calcul dans un tableau a un aspect dynamique	

• L'itération

la forme d'itération retenue dans Multiplan...	Elle présente, elle aussi, des particularités dans Multiplan, par rapport à l'itération en MacPascal.
	Elle nécessite la mise en place : <ul style="list-style-type: none"> - d'un calcul circulaire, c'est à dire d'un ensemble de cellules (éventuellement réduit à une) qui "s'appellent" mutuellement. - du choix de la commande de calcul "itérer" - d'un contrôle réalisé à partir d'une formule, test qui produit un booléen dans une cellule servant de cellule test (elle provoque l'arrêt quand le booléen est égal à VRAI).
... utilise la fonction NBITER ()	La formule test retenue dans notre cas était "=NBITER()=a" qui affiche le booléen VRAI quand la fonction NBITER() donne un nombre d'itérations égal à l'entier a. NBITER() est une fonction qui pourrait d'ailleurs fonctionner comme un compteur "classique" à condition de gérer le message d'erreur, #NA, qu'elle

(4) Par exemple L(-2)C(+4) désigne la cellule placée deux lignes au dessus et 4 colonnes à droite, relativement à la cellule où est inscrite cette formule.

... pour exprimer
la condition
d'arrêt

produit au moment de son édition, avant le déclenchement de l'itération.

Dans Multiplan le corps de l'itération est constitué de toute la feuille de calcul. Chaque étape de l'itération réalise un recalcul de toutes les cellules de la feuille. La condition d'arrêt est ici l'ensemble constitué de la formule " $=NBITER()=a$ " et des commandes nécessaires au choix de la cellule test qui contient cette formule. Mais il n'y a pas d'itération sans la présence de calcul circulaire dans la feuille.

Les actions nécessaires pour lancer et contrôler une itération sont assez complexes en raison du mélange de commandes à mettre en œuvre et de formules à éditer dans les cellules.

Nous avons déjà expliqué pourquoi nous avons voulu introduire l'itération dans Multiplan. Le choix de ce type particulier d'itération, malgré sa complexité, est justifié pour deux raisons :

- a) il est très proche du type d'itération utilisé en Pascal, et,
- b) malgré ses inconvénients, il est l'un des plus simples parmi ceux qui sont possibles dans Multiplan.

7.2. Eléments d'une analyse

le problème de la
somme des 300
premiers entiers
est posé aux
élèves dans
l'environnement
Multiplan

La solution d'un problème du type de celui que nous avons proposé aux élèves passe nécessairement par un découpage en actions élémentaires - comme en Pascal. Notre analyse (cf. paragraphes 4, 5 et 6.2.1) reste valable dans ses grandes lignes. On doit cependant noter les particularités suivantes :

(i) L'existence d'une commande, directement accessible, "recopier vers le bas" rend très facile la réplication d'une formule et donc permet théoriquement l'adoption de stratégies différentes. Nous estimons cependant que cette solution est assez coûteuse pour deux raisons :

- puisque chaque colonne du tableur contient 255 lignes, pour calculer la somme des 300 nombres il faut utiliser au moins deux colonnes qui sont, en quelque sorte, "enchaînées"; ceci nécessite une gestion complexe des cellules;
- à chaque nouvelle valeur de N il faut repréciser le nombre de lignes nécessaires pour le calcul.

une solution
coûteuse : la
réplication

Ainsi la possibilité de procéder par réplication exige une connaissance de Multiplan assez avancée et par conséquent nous ne pensons pas que des solutions de ce type puissent être proposées par des élèves novices.

(ii) L'interface particulière de Multiplan, notamment la possibilité de recalcul automatique pour toute modification d'un contenu de cellule, lui donne un aspect dynamique. On peut penser que cet environnement favorisera les stratégies de type essai-erreur - puisque elles coûtent relativement peu cher - surtout chez les débutants.

une hypothèse :
l'environnement
Multiplan
favoriserait les
stratégies par
essai-erreur

(iii) La priorité accordée aux résultats centre les élèves sur ces résultats plutôt que sur les relations (formules) qui les justifient.

(iv) Le système des messages d'erreur étant peu transparent pour l'utilisateur débutant, on peut attendre de difficultés

d'interprétation des messages du dispositif de la part des élèves; par conséquent leurs réactions risquent d'être peu cohérentes avec la signification de ces messages.

7.3. Présentation de l'activité

La consigne donnée aux élèves était de calculer la somme des trois cent premiers entiers.

Ils ont pu réaliser ce travail au cours de deux séances consécutives, à une semaine d'intervalle, un premier bilan de l'avancement du travail étant dressé au début de la deuxième séance.

7.4. Analyse des observations

- Les étapes de la construction

générateurs
d'entiers

Les élèves n'ont pas abordé le problème de la même façon. Certains binômes ont commencé par la construction d'un "générateur d'entiers" du type " $=LC+1$ " dont ils étaient convaincus qu'il leur serait utile pour la solution -d'ailleurs ils savaient déjà comment le construire (au cours précédent, l'activité proposée par l'enseignant étant justement la construction d'un "générateur d'entiers"). Par contre d'autres binômes se sont centrés très vite sur le problème de la construction des avertisseurs de l'itération et du test d'arrêt, en mettant dans une cellule une instruction du type $=NBITER()$.

utilisation de
NBITER()

A partir de là il y a une encore plus grande diversification des stratégies des élèves. Très souvent d'ailleurs (beaucoup plus qu'en Pascal) les élèves procèdent par une recherche empirique : à partir d'une formule qui produit un certain nombre de résultats - pour les petites valeurs numériques - ils tentent par essais successifs d'adapter la formule sans pour autant prendre en compte sa signification algébrique. Ils construisent ainsi diverses formules "*pour voir*", comme ils le disent parfois. Ainsi Hervé et Pierre essayent des formules comme les suivantes :

des formules
"pour voir"

$$\begin{aligned} &=NBITER()+1 \\ &=NBITER()=LC+(LC+1) \\ &=NBITER()=LC+1 \end{aligned}$$

mais ces modifications sont apportées sans une analyse des contenus des cellules, ni d'ailleurs une analyse des messages d'erreur que le dispositif renvoyait pour chacune de ces expressions.

des erreurs
importantes...

On a pu observer qu'au cours de la construction il y a eu une "régression" des conduites des élèves vers des procédures que l'on pourrait qualifier de moins élaborées. Plus particulièrement la formule " $=LC+LC+1$ " semble avoir joué un rôle extrêmement important pour l'ensemble des élèves puisque tous les groupes sont à un moment ou à un autre passés par l'écriture de cette formule sous l'une ou l'autre des formes :

$$=LC+LC+1 \text{ ou } =LC+(LC+1)$$

Au cours de la séance de bilan organisée par l'enseignant, les élèves ont échangé leur point de vue sur cette formule. Ces échanges permettent d'interpréter ce phénomène :

Sébastien : (cette formule) *ajoute deux fois ce qu'il y avait dans la cellule et ajoute 1*

Pierre : *on peut mettre LC+1 entre parenthèses*

Sébastien : *ça ne sert à rien*

... vont être
analysées avec
l'enseignant

La proposition de Sébastien est issue d'une analyse de l'expression qui prend en compte sa signification algébrique. C'est-à-dire que $LC+LC+1$ est bien interprété comme $2*LC+1$. En revanche Pierre veut indiquer, à l'aide des parenthèses de $LC+(LC+1)$, deux temps dans le calcul. La proposition qu'il fera ensuite d'enlever le signe "+" confirme cette interprétation (cf. à ce sujet Capponi 1990).

Il est clair que certains élèves, comme Pierre, attribuent à cette formule un sens plus large que le sens imposé par Multiplan. On peut avancer l'interprétation suivante :

Dans la formule $LC+(LC+1)$ qui devrait ajouter des nombres consécutifs :

LC est l'accumulateur

LC+1 est le compteur

+ (devant le parenthèse) signifie "verser le compteur dans l'accumulateur sans affecter le compteur";

() sont des séparateurs : pour que l'ordinateur puisse distinguer le compteur et l'accumulateur.

le cas de
"LC + LC = 1"

Donc il s'agit d'une expression qui a, pour les élèves, un caractère dynamique : non seulement LC peut contenir plusieurs valeurs mais en plus il y a plusieurs actions à la fois et le temps est pris en compte (l'après et l'avant). Il est d'ailleurs évident que, pour au moins quelques élèves, la prise de conscience du fait que leur propre interprétation de la formule soit en contradiction avec les règles du fonctionnement du dispositif nécessite une longue élaboration intellectuelle - le dépassement de cette interprétation coûte assez cher en temps et par le nombre d'essais erronés. Il est donc légitime de faire l'hypothèse que la conception sous-jacente (la conception des expressions dynamiques, des expressions qui "contiennent tout à la fois") est assez profondément enracinée.

On peut aussi envisager d'autres interprétations : cette formule représenterait la somme de deux entiers consécutifs, LC et LC+1, dont la somme est mise dans la même cellule : cette interprétation est d'ailleurs plus proche des conceptions des élèves qui correspondent à une "sommation par paire". Néanmoins la formule ne produit pas le résultat voulu puisque, dès la première itération, LC ne contient plus l'entier suivant mais la somme des deux premiers.

Un deuxième élément des conduites des élèves qui nous permet de faire allusion à une résurgence des conceptions moins élaborées, est le suivant : les élèves ont fait très souvent appel directement aux compétences du dispositif. L'existence, pour ne donner qu'un exemple, d'une liste de fonctions préfabriquées

les élèves
cherchent
souvent dans le
dispositif une
fonction
prédéfinie
permettant de
résoudre le
problème

à l'intérieur même du logiciel, les a induit à chercher dans cette liste pour trouver une fonction pour le calcul de la somme d'entiers consécutifs. Cette recherche d'une fonction ou commande "qui existe quelque part" et qu'il suffit d'appliquer pour obtenir le résultat voulu, est apparue de façon significative et avec une certaine régularité. Nous devons remarquer que le problème dans ce cas n'est pas celui de l'existence d'une telle possibilité car en réalité elle existe : fonction "somme". Mais cette fonction peut s'appliquer uniquement à un certain ensemble de cellules qui contiennent déjà des résultats - elle n'est donc utilisable qu'avec une partie de la feuille qui contient déjà les nombres à ajouter. En revanche les tentatives des élèves montrent que ce qu'ils cherchent est plutôt une fonction qui pourrait accepter comme arguments deux valeurs numériques (disons 1 et 300) et qui fournirait comme le résultat la somme des entiers compris entre ces deux valeurs.

- L'utilisation de NBITER()

la fonction
NBITER()
détournée...

La fonction NBITER() a été souvent utilisée comme un "compteur" ou comme un "accumulateur", en voici quelques exemples :

$$=NBITER(1+2+3+4+5)=300$$

ou

$$=LC(+1)+300+NBITER()=300$$

ou même

$$=NBITER()=299$$

$$=LC+1$$

$$=L(-2)C+1$$

... pour l'utiliser à
la fois comme
moyen de calcul
et comme test
d'arrêt

D'une manière générale NBITER() intervient assez fréquemment dans la construction de formules comme une expression qui permettrait de combiner à la fois le calcul de la somme et le test d'arrêt. Il est probable que le nom même NBITER peut inciter les débutants de lui attribuer une signification plus "large" que sa signification réelle.

- Les invariants

peu de
programmes sans
invariant...

Nous n'avons observé que très peu de programmes sans invariants comme celui de Hervé et Pierre :

$$=NBITER(1+2+3+4+5)=300$$

... ou réduits à un
simple compteur

Les programmes qui ne contiennent qu'un simple compteur (=LC+1) sont aussi assez rares.

Par contre les programmes qui produisent des nombres "en paire" sont très fréquents. Ils ne se placent cependant pas tous au même niveau. Ainsi les programmes suivants fonctionnent comme des "doubles compteurs" sans aucune accumulation :

mult1

$$=LC+1$$

$$=LC+1+1$$

mult2

$$=L(+1)C+1$$

$$=L(-1)C+1$$

Par contre d'autres programmes comme les deux suivants prennent en compte la nécessité d'accumuler les valeurs :

$$=LC+1$$

$$=L(-1)C+L(-1)C+1$$

ou

$$=LC+1$$

$$=L(-1)C$$

$$=L(-2)C+L(-1)C$$

des programmes
qui produisent
des nombres "en
paires"...

Ce type de programme est, en général, apparu, assez tard. Ils sont peut-être la conséquence du débat organisé par l'enseignant au début de la deuxième séance autour la signification des formules.

Notons que la conception des nombres "en paire" est très persistante et nous paraît très proche des programmes, déjà observés en MacPascal, qui produisent la somme de deux entiers consécutifs. Ces formules présentent un intérêt particulier puisque deux binômes sur les quatre qui ont résolu le problème sont passés par ce stade. Elles montrent la prise de conscience, par les élèves, du fait que les contraintes du dispositif exigent l'utilisation de plusieurs cellules pour ajouter des nombres consécutifs. C'est un progrès important dans la résolution du problème, vu l'importance que les élèves attribuent initialement aux formules du type $=LC+(LC+1)$. Néanmoins cette prise de conscience n'aboutit pas automatiquement à la solution correcte. En effet, deux binômes ont échoué sans qu'on puisse savoir si ce sont des problèmes de temps ou un obstacle très important qui en soit la cause.

... sont fréquents
et très persistants

Le tableau qui suit (fig. 2) donne un résumé des principales étapes par lesquelles sont passés les élèves pendant la première séance. Pendant la deuxième, les procédures utilisées par les élèves sont nettement améliorées (Capponi et als 1989). Nous avons tendance à attribuer ce phénomène à la phase de bilan (au début de la deuxième séance).

Les colonnes du tableau correspondent aux stratégies des élèves de la façon suivante :

- I Construction d'un générateur d'entiers " $=LC+1$ "
- II Construction d'une cellule pour le contrôle de l'itération " $=NBITER()=a$ "
- III Formule " $=LC+LC+1$ "
- IV Appel à des compétences de la machine
- V Formules faisant intervenir la fonction NBITER() dans le calcul de la somme
- VI Construction d'une cellule contenant l'entier suivant le dernier nombre produit par le générateur d'entiers.

binômes	I	II	III	IV	V	VI
Sandrine Christiane	■	■	■	■	■	■
Corinne Estelle		■		■	■	
Sébastien Laurent	■	■				
Cristophe Richard			■	■	■	
Nathalie Crystelle	■			■	■	
Hervé Pierre			■		■	

figure 2

• L'anthropomorphisme

Le type d'erreur qui caractérise les productions des élèves est "l'instruction-procédure" en combinaison avec les "variables polyvalentes". Nous avons déjà mentionné et commenté la formule :

$$=LC+(LC+1)$$

qui a été interprétée par les élèves comme une procédure qui incrémente simultanément le compteur et ajoute sa nouvelle valeur dans l'accumulateur.

Ajoutons que nous avons pu observer d'autres manifestations anthropomorphiques comme celle de Christophe et Richard, pour citer un exemple, qui interprètent les booléens VRAI-FAUX, fournis par la formule de la cellule test, comme un commentaire sur la pertinence de leurs actions.

7.5. Conclusion

Comme nous l'avons déjà souligné, cette partie de notre recherche avait essentiellement un caractère exploratoire. Néanmoins nous estimons que l'on peut établir les résultats suivants :

- les expressions dans Multiplan peuvent être étudiées à la fois comme des expressions algébriques - mais qui ont leurs propres règles de syntaxe par rapport à la syntaxe algébrique classique - et comme des commandes ou des instructions d'un langage de programmation. Pour la résolution du problème proposé, les deux aspects doivent être pris en compte à la fois. Or cette nécessité de prendre en compte plusieurs registres à la

dans Multiplan
l'aspect
dynamique
favorise la
recherche
empirique...

... et l'émergence
de certains types
d'anthropo-
morphismes

le
réinvestissement
de Pascal vers
Multiplan est
faible...

fois peut être considérée comme assez complexe, pour le débutant, et par conséquent peut être une source de difficultés pour les élèves.

- Ce que nous avons appelé l'aspect dynamique du logiciel en combinaison avec les particularités de son interface (messages d'erreurs, existence de fonctions facilement accessibles, facilités d'entrées sorties) peut favoriser :

- la recherche empirique, c'est-à-dire une recherche des "bonnes formules" à l'aide des résultats obtenus, par adaptation d'expressions déjà écrites dans le but d'obtenir des résultats déjà calculés à la main; la priorité que Multiplan donne aux résultats peut être à l'origine de ces recherches empiriques qui se font au détriment d'une analyse des relations entre les cellules et leur interprétation ;
- l'apparition ou l'émergence d'un certain type d'anthropomorphisme, celui qui est probablement lié à l'aspect dynamique du logiciel : la persistance de formules du type $=LC+LC+1$ atteste la présence d'une telle conception. Nous remarquons aussi l'existence de recherche de fonctions préfabriquées, donc l'exploration des compétences du dispositif, comme un indice qui va probablement dans cette direction.

- Nous avons aussi remarqué l'existence et la mise en œuvre de procédures du type d'addition "en paire" (réparties en une, deux ou trois cellules), phénomène que nous interprétons comme une tentative de transfert des procédures d'autres domaines dans un environnement de programmation où elles ne sont plus valides.

8. DISCUSSION GÉNÉRALE

Nos analyses à propos des deux activités étudiées, nous permettent de tirer un certain nombre de conclusions relativement aux questions que nous nous sommes posées.

D'une certaine façon le réinvestissement des connaissances acquises en Pascal a été très faible dans Multiplan. Nous avons tout d'abord remarqué qu'aucun élève n'a essayé de reprendre les procédures ou les méthodes déjà utilisées en Pascal dans le nouvel environnement; le problème était "oublié", en quelque sorte, par les élèves. Ce fait oblige à s'interroger sur la signification que les élèves ont attribué à ces activités. Malgré l'importance que nous leur avons attribuée et le statut que l'enseignant leur a donné - pendant les diverses phases de bilan dans les deux contextes - nous pouvons estimer que la connaissance acquise par les élèves était relativement "faible". Il est probable que les deux activités ont eu des effets différents de ceux attendus, qu'ils n'ont pas été considérés comme des savoirs mais plutôt comme une sorte de savoir faire dans les deux contextes. Ceci montre que la complexité cognitive de l'itération - même sous des formes "simples" - est peut être plus grande encore que ne l'on avait cru. Si ce qui a été "retenu" par les élèves n'avait

... ce qui montre
la complexité
cognitive de
l'itération

en conclusion...

des conceptions
intrinsèques au
problème posé

des formes
d'anthropomor-
phisme différentes

l'influence de
caractéristiques
particulières de
Multiplan

qu'une valeur "locale", ceci nous laisse relativement désarmés face à la question de l'acquisition de connaissances de ce type - surtout quand il s'agit de formations de courte durée.

Si l'on veut tirer de conclusions plus précises des deux expériences on peut faire les remarques suivantes.

- Dans les deux contextes il y a des conceptions, quant à la construction du corps de l'itération, qui sont très fréquentes et persistantes. Nous faisons allusion surtout à des conceptions du type "nombre en paire" que nous avons interprété comme des tentatives de transfert de procédures valables - mais dans d'autres contextes. Leur apparition dans les deux contextes nous font penser que l'on peut envisager l'hypothèse qu'elles sont plutôt intrinsèques au problème proposé et indépendantes de l'environnement utilisé.

- De même pour la conception de l'anthropomorphisme on peut conclure que son apparition, sous diverses formes, peut être indépendante du contexte. Ceci est en fait l'hypothèse de Pea. Nous sommes cependant enclins à penser que ce sont les formes d'anthropomorphisme qui sont différentes dans les contextes différents. Si dans Pascal nous avons détecté surtout des conceptions du type "variables polyvalentes", en revanche dans Multiplan les deux types que nous avons mentionné, variables polyvalentes et "instructions concentrées", sont apparues massivement. Nous avons attribué cette différence à l'aspect dynamique du logiciel. Il est donc probable que dans un environnement (autre que Multiplan), qui possède cette caractéristique, l'apparition de cette conception sera également observée - et de façon significative.

- Les caractéristiques particulières de Multiplan ont probablement joué sur les stratégies adoptées par les élèves. En fait, dans Multiplan nous avons observé beaucoup plus de démarques que nous avons qualifiées "d'empiriques". La facilité des entrées-sorties, l'affichage prioritaire des résultats et le fait que le résultat est obtenu automatiquement dès qu'il y a une modification d'une cellule, semblent favoriser cette démarche. Par ailleurs le fait que les divers messages du logiciel sont difficilement interprétables par des débutants, a aussi contribué à l'adoption de recherches empiriques - un message incompréhensible ne peut constituer un feed-back pertinent. Quoiqu'il en soit, cet élément nous semble très important quant aux choix que l'enseignant doit faire : si l'activité proposée à des élèves débutants peut aboutir sans une analyse des éléments qui interviennent, l'enseignant risque d'obtenir davantage de résultats à partir d'essais-erreurs que fondés sur une analyse des relations entre les cellules.

Vassilios DAGDILELIS

Nicolas BALACHEFF

Bernard CAPPONI

Équipe de didactique des mathématiques
et de l'informatique

Laboratoire LSD2, IMAG

Université Joseph Fourier, Grenoble

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BROUSSEAU G. (1986) *Théorisation des phénomènes d'enseignement des mathématiques*, Thèse d'état, Université Bordeaux I.
- CAPPONI B., (à paraître), *Calcul algébrique et programmation dans un tableur, le cas de Multiplan*. Université de Grenoble 1.
- CAPPONI B., BALACHEFF N. (1989) "Tableur et calcul algébrique", *Educational Studies in Mathematics* 20, pp. 179-210.
- HOC J. M. (1979) "Le problème de la planification dans la construction d'un programme informatique", *Le Travail humain*, 42, n° 2, pp. 245-260.
- LABORDE C., BALACHEFF N., MEJIAS B. (1985) "Genèse du concept de l'itération: une approche expérimentale", *Enfance* 2-3, pp. 223-239.
- MEJIAS B. (1985) *Difficultés conceptuelles dans l'écriture d'algorithmes itératifs chez les élèves du collège*, Thèse de Doctorat, Université de Grenoble I.
- PEA R.D. (1984) "Language-independent conceptual "bugs" in novice programming", *Journal of educational computing*, special issue on "novice programming", pp. 1-12.
- ROGALSKI J. (1985) "Alphabétisation informatique, problèmes conceptuels et didactique", *Bulletin de l'association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public*, 347.
- ROUCHIER A., SAMURÇAY R., ROGALSKI J., VERGNAUD G. et coll (1984) *Concepts informatiques et programmation. Une première analyse en classe du seconde des lycées*, CEPL, IREM d'Orléans.
- SOLOWAY E., EHRLICH K. (1984) "Empirical Studies of Programming Knowledge", *IEEE Transactions of Software Engineering*, SE-10 (5), pp. 595-609.
- SOLOWAY E., EHRLICH K., Greenspan J. (1982) "What do novices know about programming", *Directions in Human-Computer Interactions*, Shneiderman B. and Badre A. Eds, 1982, Ablex Publishing Co.
- SPOHRER J.C. et SOLOWAY E. (1986) "Novice mistakes : are the folk wisdoms correct ?", *Communications of the ACM*, July 1986, vol 29, N° 7, pp. 624-632.
- VERGNAUD G. (1981) "Quelques orientations théoriques et méthodologiques des recherches françaises en didactique des mathématiques", *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol 2, La Pensée Sauvage, Grenoble, pp. 215-232.

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).

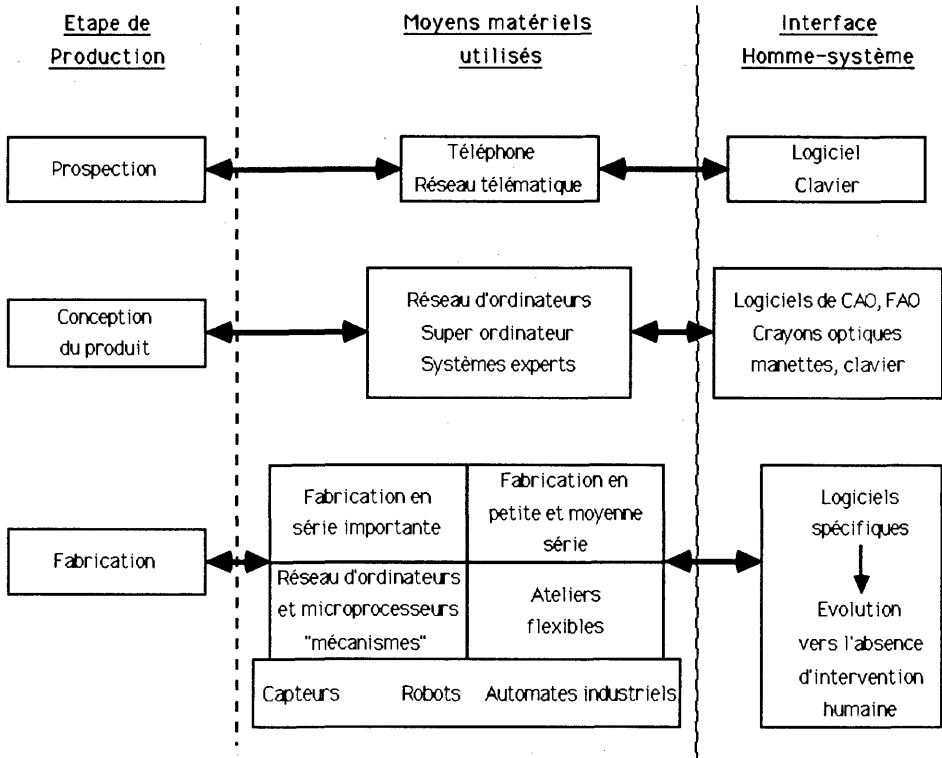


Figure 1 : Situation générale des systèmes automatiques dans un processus de fabrication.

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).

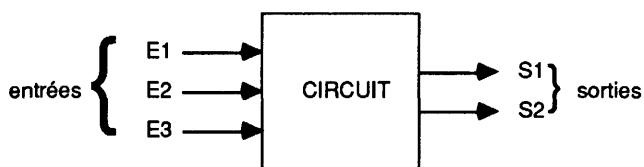


Figure 2

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 :

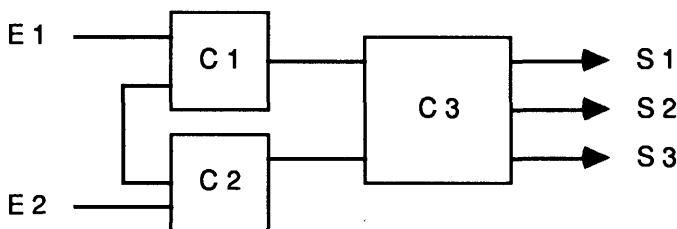


Figure 3 : Circuit combinatoire

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

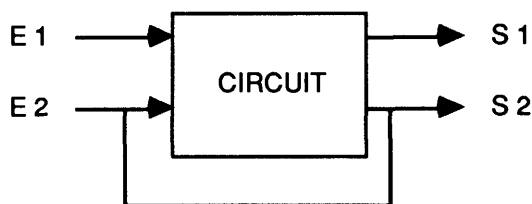


Figure 4 : Circuit séquentiel

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 cablage. 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

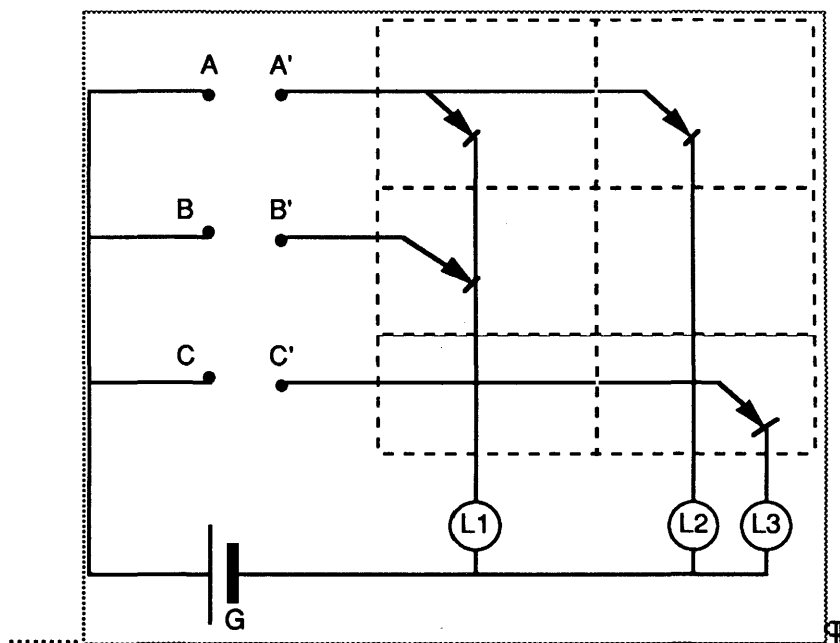


Figure 5 : matrice de diodes

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.

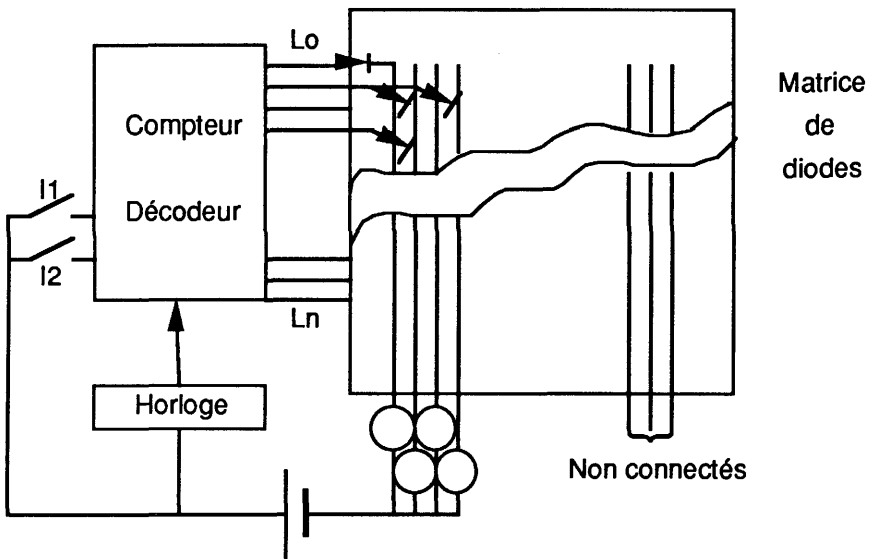


Figure 6

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) :

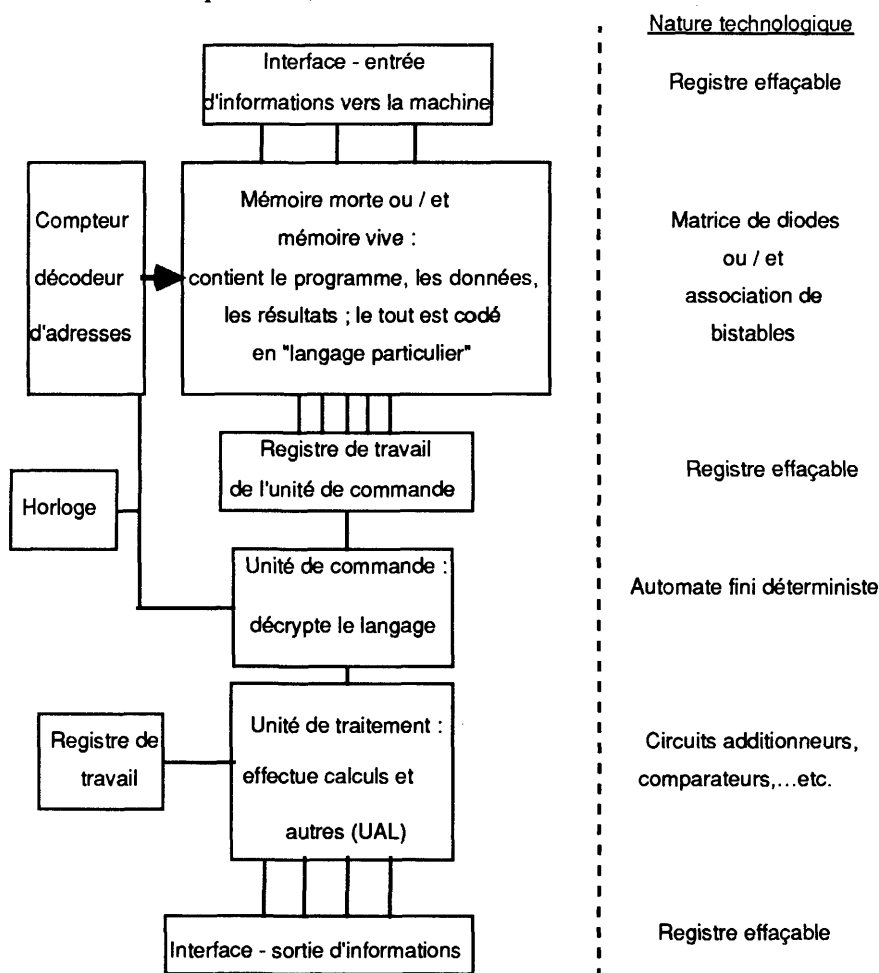


Figure 7 : Diverses parties de l'ordinateur et fonctions assurées.

(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.

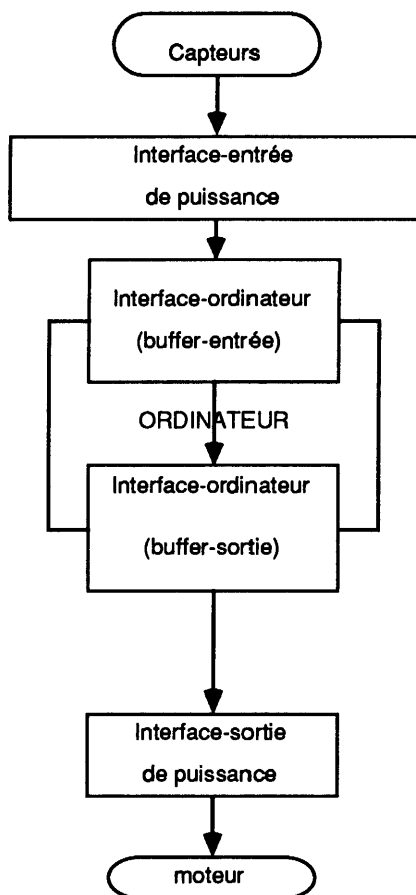


Figure 8

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) :

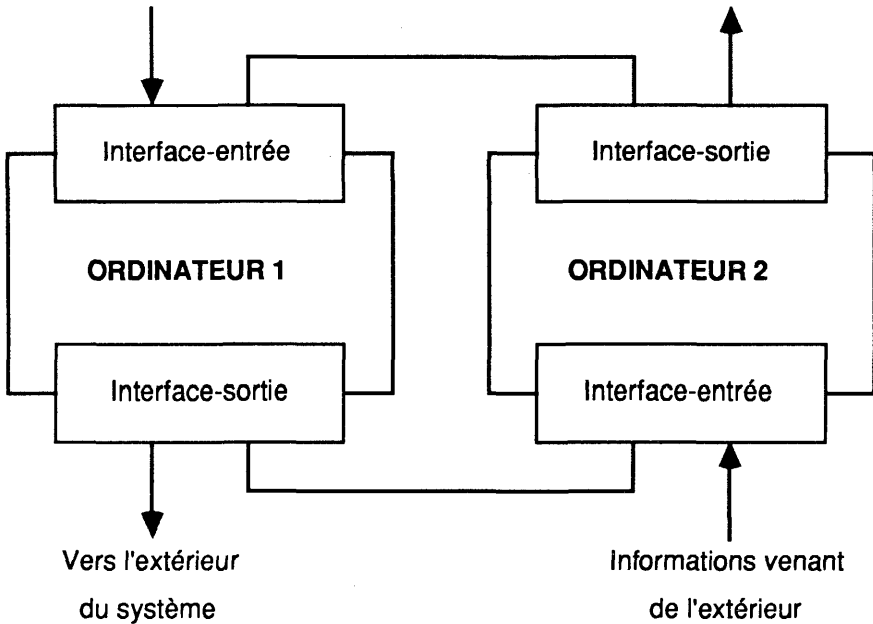


Figure 9

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).

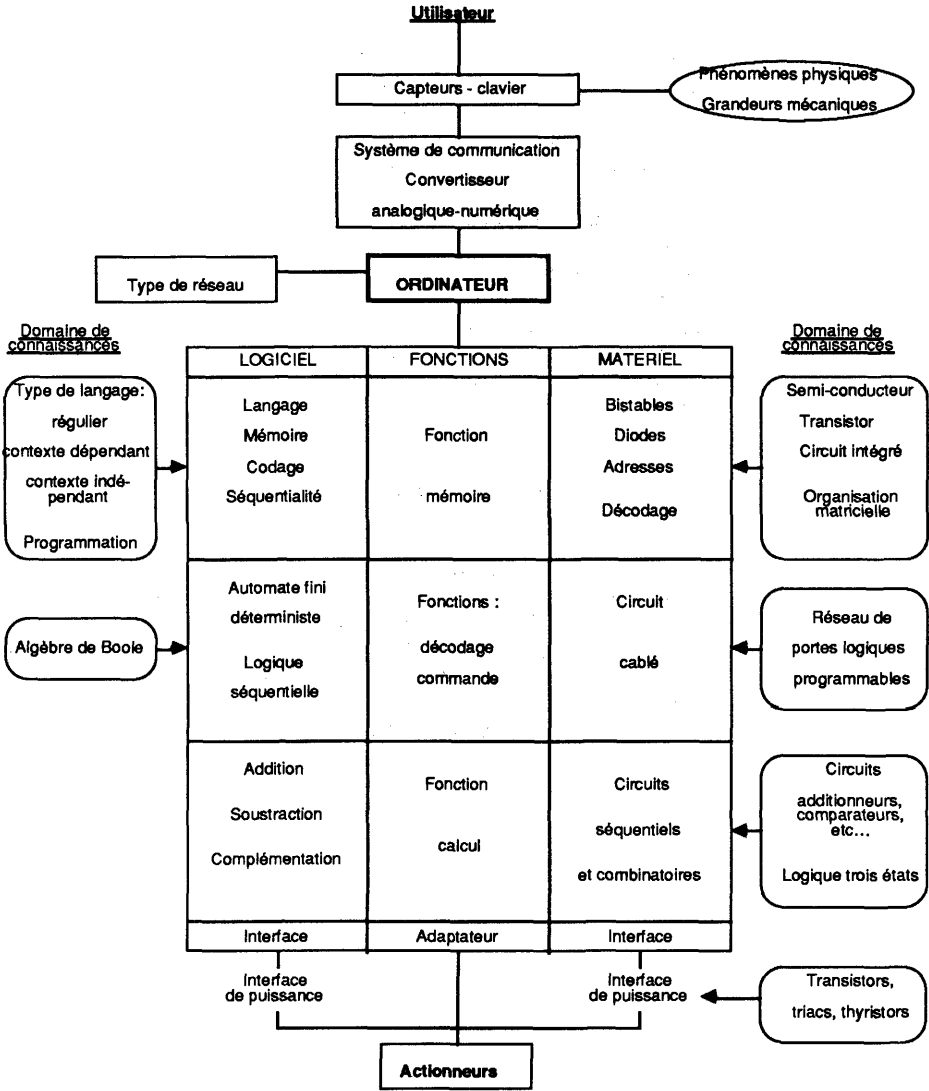


Figure 10

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.

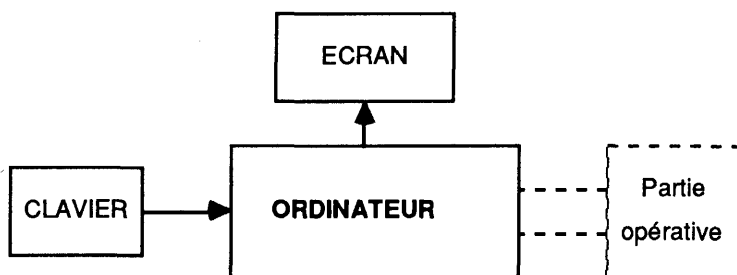
(11) Une entrée est dite active lorsqu'elle fournit une information à l'ordinateur indiquant un changement dans le milieu extérieur.

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

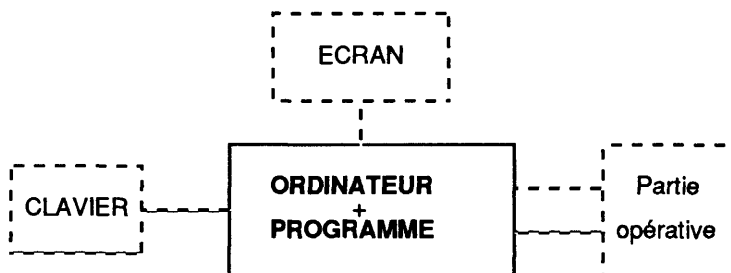
La même stratégie utilisant un autre matériel nous a permis également de faire accéder les enfants à cette notion de machine reprogrammable et de capteurs.

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

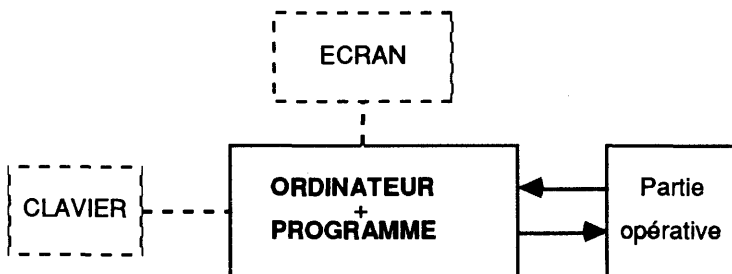
Finalement, la représentation des enfants devrait être homomorphe de la suivante :



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 :

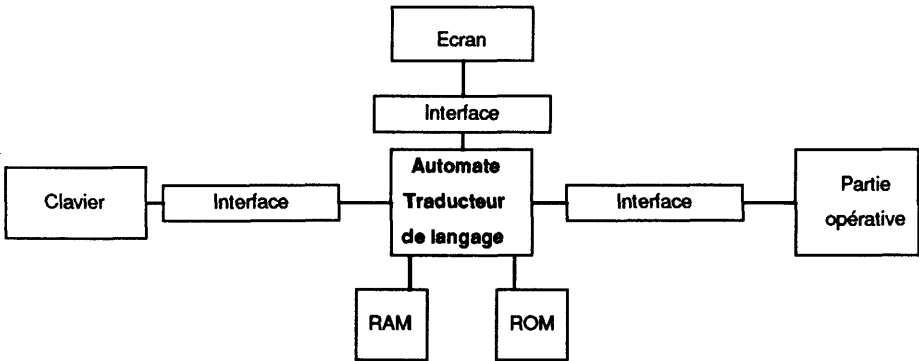


Figure 12

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

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 :

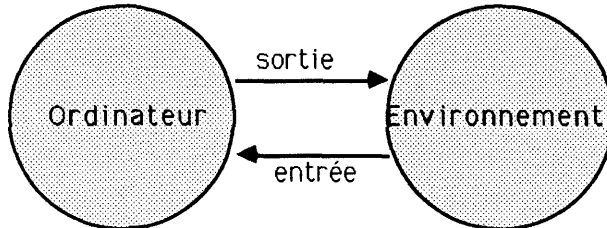


Figure 1

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.

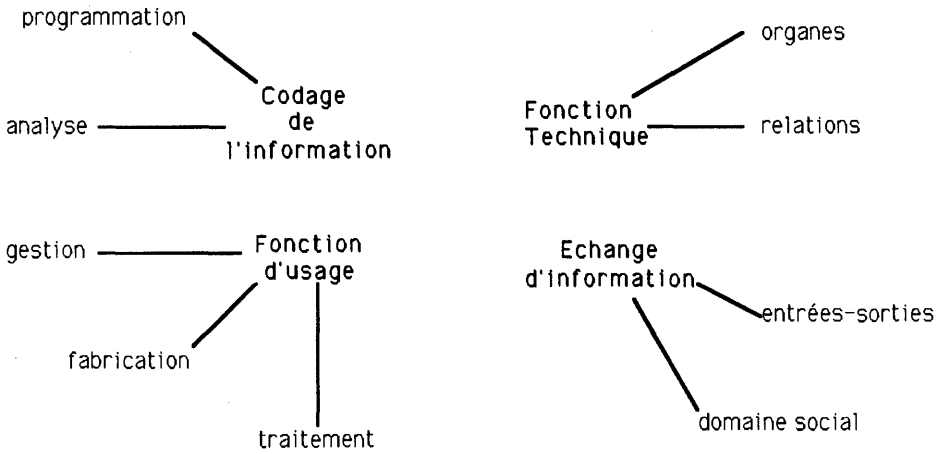


Figure 2 : croisement des deux concepts

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⁾ :

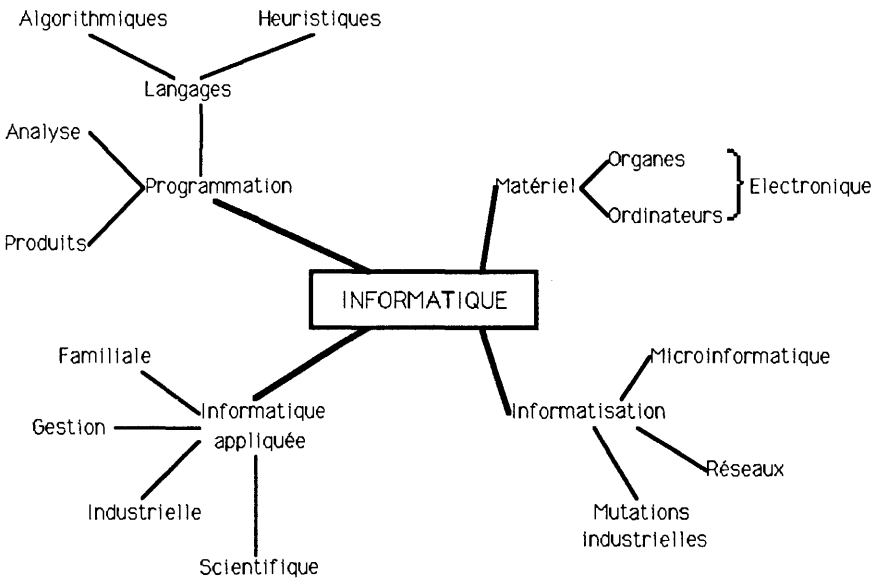


Figure 3

(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.

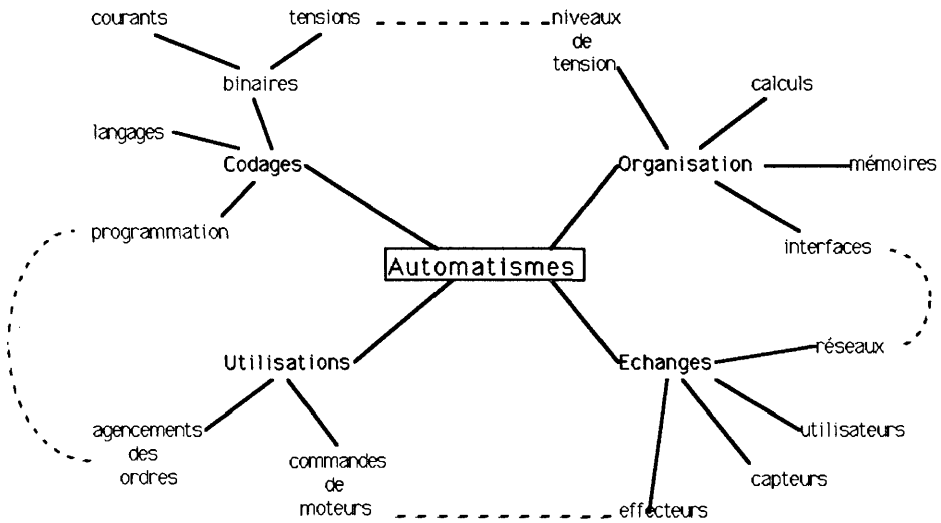


Figure 4 : schématisation des automatismes

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) :

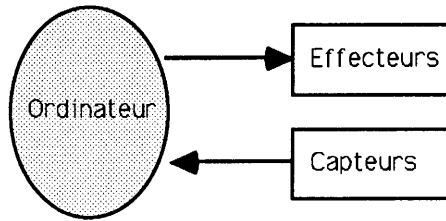


Figure 5

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

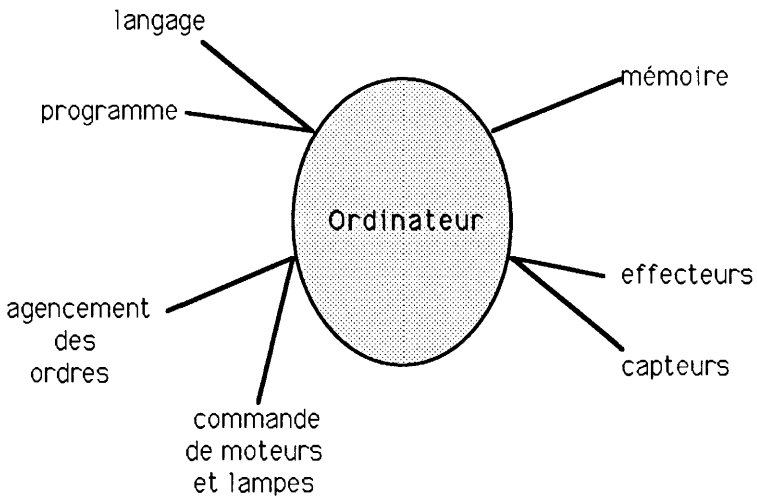


Figure 6

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
futurs 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 :

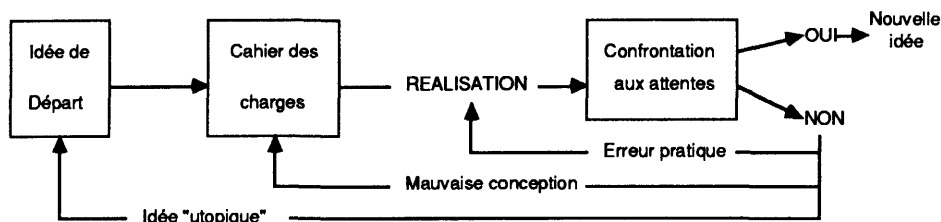


Figure 7 : schématisation de la démarche de projet

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 circulaire" 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 circulaire 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 circulaire, 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 circulaire, 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.

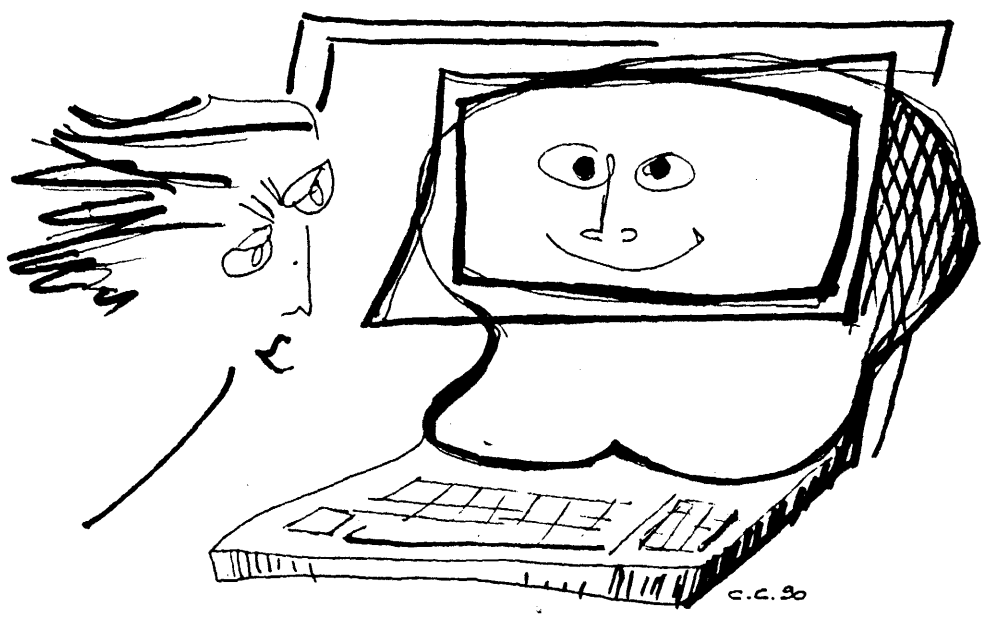
Dans le cas des automatismes, que nous avons voulu détailler dans cet article, il apparaît clairement que les champs disciplinaires de la physique et de la technologie sont concernés au premier chef... à condition d'avoir de ces champs disciplinaires une lecture moins figée que celle qui s'applique habituellement. 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.



ANALYSE D'UNE IMAGE SATELLITAIRE

François Carlou
Rudolf Le Gall

Dans un cadre pluridisciplinaire (physique, biologie, géographie) des élèves de Première B ont étudié la réserve naturelle de Grand-Lieu en Loire-Atlantique, d'après une image numérique Spot de la région nantaise datée du 26 juin 1986. L'outil informatique permettra de traiter les données numériques et d'obtenir une carte de la végétation en période estivale. Ce document servira ensuite de base de travail pour l'étude de cet écosystème et de son évolution.

l'étude d'un milieu

Une classe de Première B du lycée Guy Moquet a étudié dans le cadre d'une progression pluridisciplinaire (physique, biologie, géographie) une réserve naturelle, le lac de Grand-Lieu, pour son intérêt écologique : une réserve biologique stricte qui offre un site tout à fait exceptionnel, et d'après une image numérique Spot (datée du 26.06.86) de la région nantaise.

... dans le cadre des programmes

Le travail de l'image de Grand-Lieu s'insère parfaitement dans les programmes de biologie et de géographie (in BO spécial n° 3 du 9 juin 1987) : "la mise en évidence des différents milieux de vie incitera les professeurs à poser le problème de l'utilisation écologique de l'espace. Deux grands problèmes actuels s'insèrent particulièrement dans les objectifs du programme :
- la place de l'homme dans les écosystèmes
- les problèmes d'aménagement et de gestion du milieu".

grâce à l'ordinateur

Il permet d'approcher les problèmes d'environnement en relation avec l'étude d'un écosystème protégé. Pour cela nous utilisons un nouvel outil, une nouvelle technologie grâce à l'assistance de la physique et de l'informatique. L'observation de la Terre par les divers satellites fournit essentiellement des images numériques permettant une analyse des zones observées qui va au-delà de la photo-interprétation traditionnelle. Dans le cadre de l'expérimentation "Utilisation pédagogique des images satellitaires" menée par le bureau des Innovations Pédagogiques et des Technologies Nouvelles de la Direction des lycées et collèges du Ministère de l'Éducation Nationale (DLC 15), nous utilisons en classe le logiciel de traitement d'images TITUS mis au point par l'INRP ⁽¹⁾.

- (1) L'expérimentation fait suite à une recherche INRP. Elle a permis à 28 lycées (un par académie) d'être dotés du matériel adéquat : un micro-ordinateur avec écran couleur (type PC-AT), une imprimante couleur et le logiciel TITUS mis au point par une équipe de l'INRP. Chaque académie dispose donc d'une équipe pilote auprès de laquelle il est possible de s'adresser pour toutes les questions concernant la télédétection (matériel, aspects pédagogiques, stages...). La DLC 15 va publier en 1990 un document reprenant les travaux des équipes engagées dans cette expérimentation. Le logiciel TITUS a évolué récemment : les noms de fichiers évoqués dans cet article sont différents dans la version actuelle du logiciel.

... et à la pluridisciplinarité	<p>Nous adaptons cet outil aux besoins de nos différentes disciplines. Et nous nous adaptons nous-mêmes puisque cette expérience pédagogique nécessite un travail pluridisciplinaire, ce qui représente une chance pour nos élèves.</p>
le travail en amont	<p>Dans le corps de cet article nous insisterons sur l'utilisation de l'outil informatique. Mais il faut avoir à l'esprit que les deux séances à l'ordinateur arrivent au milieu d'une progression interdisciplinaire.</p>
... pour l'acquisition des concepts	<p>Dans le cadre du programme de physique, le professeur a traité deux thèmes : fusées et satellites, spectroscopie. Il a réalisé, conjointement avec la biologie, une séance de travaux pratiques avec des radiomètres ⁽²⁾ permettant de dégager la notion de pixel ⁽³⁾ et de signatures spectrales ⁽⁴⁾. En biologie, le professeur a introduit le cours sur le rôle et la responsabilité scientifique de l'homme dans la gestion des équilibres de la biosphère. C'est donc naturellement qu'en géographie, le professeur va faire une approche de cet écosystème choisi pour son caractère régional, son caractère "naturel" (on précise aux élèves que l'expression "où l'homme est moins intervenu qu'ailleurs" est plus juste) et surtout à cause des menaces de disparition qui pèsent sur lui, menaces liées aux activités humaines périphériques.</p>
... et la motivation	<p>Les élèves comprennent que pour gérer un écosystème, il faut un suivi et des interventions quand il y a lieu. C'est donc logiquement, étant donné la grande taille de ce milieu, qu'on leur propose cette technique actuelle qu'est la télédétection. Celle-ci permettant d'obtenir une carte de végétation, bien sûr très simplifiée, qui va servir de support aux problèmes de gestion abordés ensuite.</p>
la télédétection pour créer un document	

1. APPROCHE DE L'IMAGE NUMÉRIQUE ET DE SON TRAITEMENT

comprendre une technique	<p>Avant d'utiliser un outil (le logiciel TITUS) sur un matériau (l'image numérique), l'élève doit comprendre le fonctionnement du premier et la structure du second. Pour cela il va réaliser "manuellement" le traitement d'une petite partie de l'image. De la sorte, et même si ce travail est un peu fastidieux, il va comprendre d'une part la nécessité de l'ordinateur et d'autre part le fonctionnement du logiciel.</p>
--------------------------	---

-
- (2) Radiomètres : ce sont des capteurs qui analysent l'énergie réfléchie (principalement dans le visible et l'infrarouge proche et moyen) ou l'énergie émise (infrarouge thermique) grâce à des détecteurs électroniques (photodiodes) sensibles à ces radiations.
 - (3) Pixel : surface élémentaire analysée par un radiomètre. Elle est de 20 m x 20 m en mode multispectral pour le satellite SPOT.
 - (4) La notion de signature spectrale sera explicitée plus loin dans le paragraphe 1.2.

1.1. La structure de l'image satellitaire

• Le système Haute Résolution Visible de Spot

le satellite ne
photographie pas

Son télescope forme l'image du sol sur des barrettes de photodiodes détectrices qui mesurent la réflectance des surfaces correspondant à chacune d'elles. La résolution est de 10 m en panchromatique et de 20 m en mode multibande (vert, rouge, infra-rouge proche) le long d'une ligne de 60 Km qui balaie le sol du fait du mouvement orbital du satellite (document 1).

• La structure de l'image

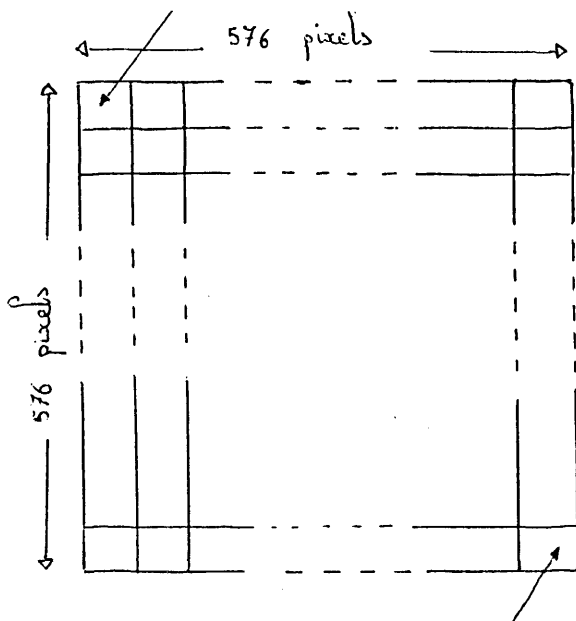
... il donne un
tableau
numérique

En mode multibande, chaque ligne est donc constituée de 3 000 carrés élémentaires ou pixels de 20 m x 20 m, chacun d'entre eux étant affecté d'une valeur radiométrique qui caractérise sa réflectance codée de 0 à 255 (sur un octet).

L'image observée dans un canal donné est en fait un tableau numérique où chaque pixel est défini par sa position géographique en lignes et colonnes et par sa réflectance qui dépend de sa nature.

Nous utilisons des sous-scènes de SPOT dont le côté est de 576 pixels, soit environ 330 000 données numériques pour chacun des trois canaux (document 2).

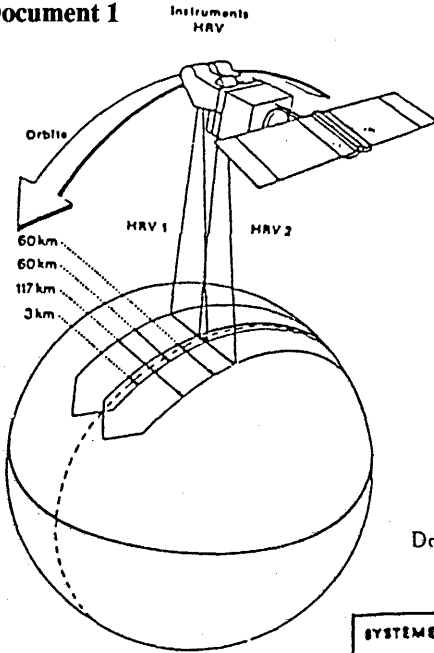
Document 2. Structure de l'image satellitaire pour un canal donné



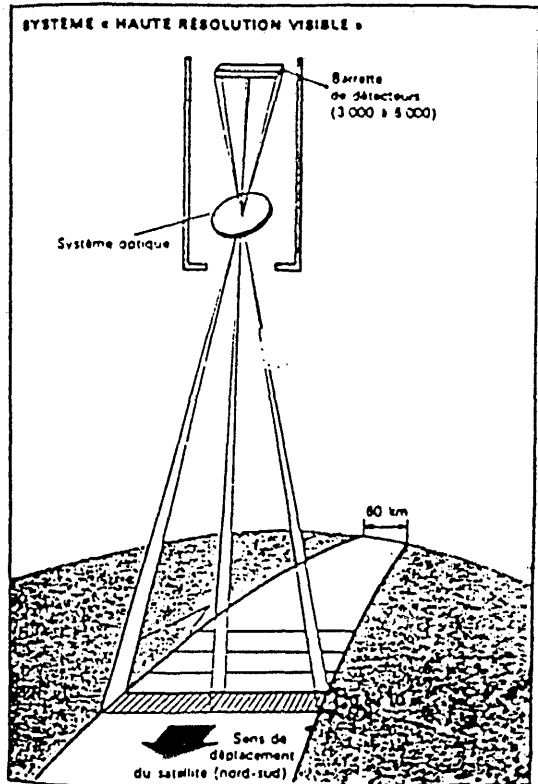
Un pixel correspond à une surface au sol de 20 m sur 20 m.

A chaque pixel est affecté une valeur radiométrique mesurée par le satellite et correspondant à la "lumière" émise ou réfléchié par la surface correspondante au sol.

Document 1



Document CNES.



1.2. Principe de l'analyse statistique de l'image numérique

- Choix d'un site contrasté de dimensions restreintes

Nous avons extrait un site de 121 pixels de l'image NANTT du lac de Grand-Lieu. La sortie imprimante respectant mal la forme carrée du tableau, il est nécessaire de le rebâtir géométriquement. On obtient ainsi une matrice reproduisant les pixels et leurs réflectances. Elle sera utilisée pour la suite du travail, sans aucune connaissance de la réalité du terrain qu'elle représente, en ne disposant que de sa distribution mathématique (document 3A).

- Réalisation manuelle de l'histogramme

Ce travail graphique est fastidieux mais indispensable : il consiste à classer les pixels selon la fréquence de leurs valeurs radiométriques (document 3B). La pratique montre qu'il est nécessaire de fournir rapidement aux élèves une méthodologie pour le tri des données, en relation avec le calcul d'équipopulation demandé ultérieurement.

l'élève fait en petit ce que l'ordinateur fera en grand

Le fait de réaliser, sur une faible population de pixels, ce que le logiciel fera sur l'image entière permet à l'élève de s'approprier "l'outil" : étape obligatoire si on veut que l'élève l'utilise correctement par la suite. De plus cela permet de réactiver les notions d'histogramme et d'équipopulation, notions souvent utilisées mais pas toujours dominées. Ce sont des notions indispensables au traitement d'image.

L'histogramme ainsi réalisé est ensuite comparé à celui réalisé par l'ordinateur qui se révèle alors un instrument performant capable d'effectuer rapidement une tâche peu complexe mais laborieuse (document 3C).

- Observation de l'histogramme : notion de seuillage

le seuillage confronté au document géographique

L'observation élémentaire de l'histogramme permet de distinguer deux groupes de pixels de part et d'autre de la valeur radiométrique 65. Les élèves reportent cette observation sur la première matrice du document 3 et créent ainsi un seuillage a priori arbitraire (document 4) qu'ils peuvent comparer à un document visuel comme la carte IGN. Le dessin obtenu en distinguant les deux groupes de pixels fait apparaître la délimitation entre l'eau et la terre recouverte de végétation.

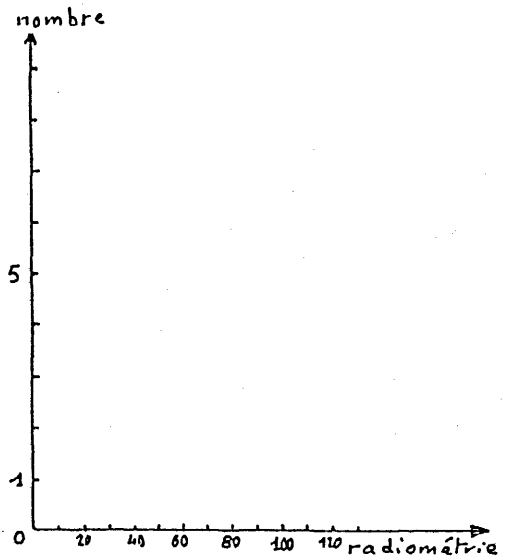
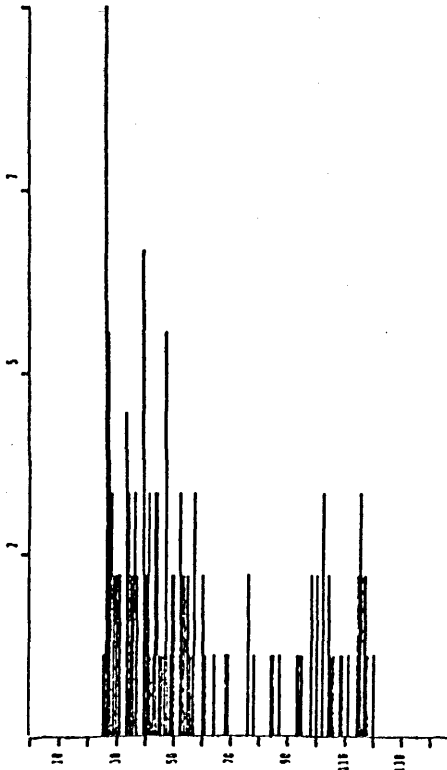
Document 3

25	26	30	33	30	27	25	27	26	26	27
28	34	41	43	44	42	41	35	29	26	26
31	41	43	44	47	47	50	47	37	34	40
27	33	39	43	52	56	55	47	44	47	48
26	28	39	61	95	104	85	60	49	57	54
26	26	35	52	93	115	109	84	55	57	53
28	27	33	49	60	100	116	100	76	69	68
36	29	33	50	57	87	115	116	102	98	94
36	34	39	47	52	78	114	120	108	102	102
36	40	39	39	53	76	104	117	115	105	106
31	37	39	45	54	64	98	117	118	114	111

3A. Matrice du site de 121 pixels
(*extrait de l'image NANTT*)

- lignes 175 à 185
 - colonnes 357 à 367
- canal infrarouge

3B. Histogramme à construire manuellement



3C. Histogramme du site de 121 pixels
réalisé par l'ordinateur

Canal 3
Minimum : 25
Maximum : 120

Document 4. Seuillage du site de 121 pixels

25	26	30	33	30	27	25	27	26	26	27
28	34	41	43	44	42	41	35	29	26	26
31	41	43	44	47	47	50	47	37	34	40
27	33	39	43	52	56	55	47	44	47	48
26	28	39	61	95	104	85	60	49	57	54
26	26	35	52	93	115	109	84	55	57	53
28	27	33	49	60	100	116	100	76	69	68
36	29	33	50	57	87	115	116	102	98	94
36	34	39	47	52	78	114	120	108	102	102
36	40	39	39	53	76	104	117	115	105	106
31	37	39	45	54	64	98	117	118	114	111

On a donc ici décidé d'un seuil (valeur radiométrique 65) simplement en observant la répartition des valeurs. Des documents géographiques sur la même zone indiquent que ce seuil correspond à la limite entre l'eau du lac (valeurs inférieures à 65) et les berges (valeurs supérieures à 65). C'est le premier rapport que l'élève réalise entre les valeurs radiométriques et leur correspondance avec une réalité biologique précise.

réinvestissement
des notions de
réflectance et de
signature
spectrale

Toutefois il faut se souvenir qu'en travaux pratiques de biologie et de physique, l'élève a utilisé des radiomètres pour mesurer la réflectance⁽⁵⁾ d'objets biologiques ou non : mesures faites, comme sur les satellites, dans des canaux précis (vert, rouge et infrarouge pour SPOT). Les résultats (document 5) montrent que chaque objet a une réponse particulière et propre à lui, que l'on appelle signature spectrale.

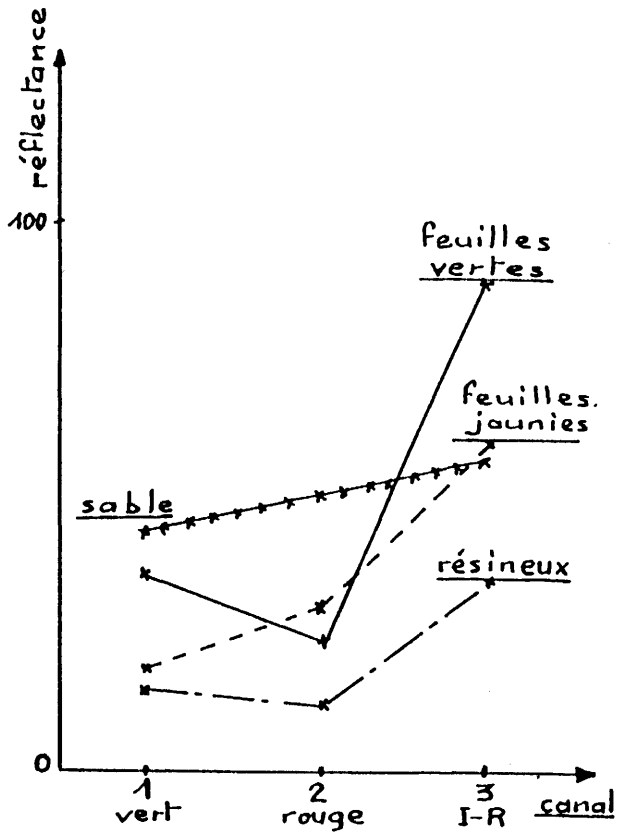
Le recours à cette notion de signature spectrale permet d'établir la correspondance entre les valeurs radiométriques et leur signification sur le terrain, introduisant ainsi la possibilité d'analyse supervisée.

(5) Réflectance : on définit la réflectance totale d'un objet, pour une longueur d'onde donnée, comme le rapport de l'énergie totale réfléchie par l'objet par unité de surface, sur l'énergie incidente totale reçue par ce même objet par unité de surface.

Document 5. Mesure des réflectances

Surface \ Filtre	Vert 500-600 nm	Rouge 600-700 nm	I-R 800-1000 nm
blanc	93	93	93
noir	9	11	10
gris	19	24	86
vert	19	20	30
rouge	15	66	91
feuilles vertes	35	23	89
feuilles jaunies	18	30	60
résineux	13	11	34
sable	43	50	57

Réponses spectrales



• Réalisation d'une équipopulation en quatre classes

Le seuillage précédent est nettement tranché : il ne rend pas compte du passage progressif de l'eau à la végétation. Afin de visualiser le tableau numérique, nous proposons de regrouper les pixels en plusieurs groupes d'importance équivalente. Le faible nombre de pixels du site retenu limite la partition ; il permet cependant de réaliser une équipopulation en quatre classes. Le logiciel TITUS admet, quant à lui, 8 ou 16 classes d'équipopulation.

l'équipopulation pour rendre compte de variations progressives de végétation

En principe, chaque groupe de pixels doit comporter une trentaine d'individus. On comptabilise donc les pixels par ordre croissant de réflectance jusqu'à obtenir un premier groupe de trente, puis on passe à la classe suivante. On constate la nécessité de choix arbitraire pour le classement de certaines valeurs radiométriques, les effectifs de chaque classe ne pouvant être rigoureusement identiques.

Le résultat de cette équipopulation est visualisé sur la matrice du document 6 en attribuant à chaque classe soit une nuance de gris dans l'échelle blanc-noir, soit une couleur ou tout autre code. La limite des classes sur cette matrice dessine des arcs de cercles concentriques que l'élève interprète assez facilement comme une zonation de la végétation en passant de l'eau à la terre ferme.

Document 6. Équipopulation en quatre classes du site de 121 pixels

25	26	30	33	30	27	25	27	26	26	27
28	34	41	43	44	42	41	35	29	26	26
31	41	43	44	47	47	50	47	37	34	40
27	33	39	43	52	56	55	47	44	47	48
26	28	39	61	95	104	85	60	49	57	54
26	26	35	52	93	115	109	84	55	57	53
28	27	33	49	60	100	116	100	76	69	68
36	29	33	50	57	87	115	116	102	98	94
36	34	39	47	52	78	114	120	108	102	102
36	40	39	39	53	76	104	117	115	105	106
31	37	39	45	54	64	98	117	118	114	111

Document 6. Équipopulation en quatre classes du site de 121 pixels (suite)

Classe	1	2	3	4
Borne inférieure	25	35	48	85
Borne supérieure	34	47	84	120
Effectif	31	32	28	30
Code				

Pour autant, cette analyse plus affinée que le seuillage précédent reste liée à l'arbitraire statistique et ne livre pas la signification biologique des différentes classes. Des informations complémentaires doivent être fournies à l'élève : cartes I.G.N., sortie sur le terrain...

L'élève a néanmoins réalisé une cartographie sommaire de ce petit site. Il va pouvoir aborder la cartographie de toute l'image, l'ordinateur se chargeant cette fois-ci des calculs.

Le travail décrit dans ce chapitre est préparé en cours, réalisé à la maison et exploité au cours suivant.

2. Le va-et-vient entre l'ordinateur et la réalité-terrain

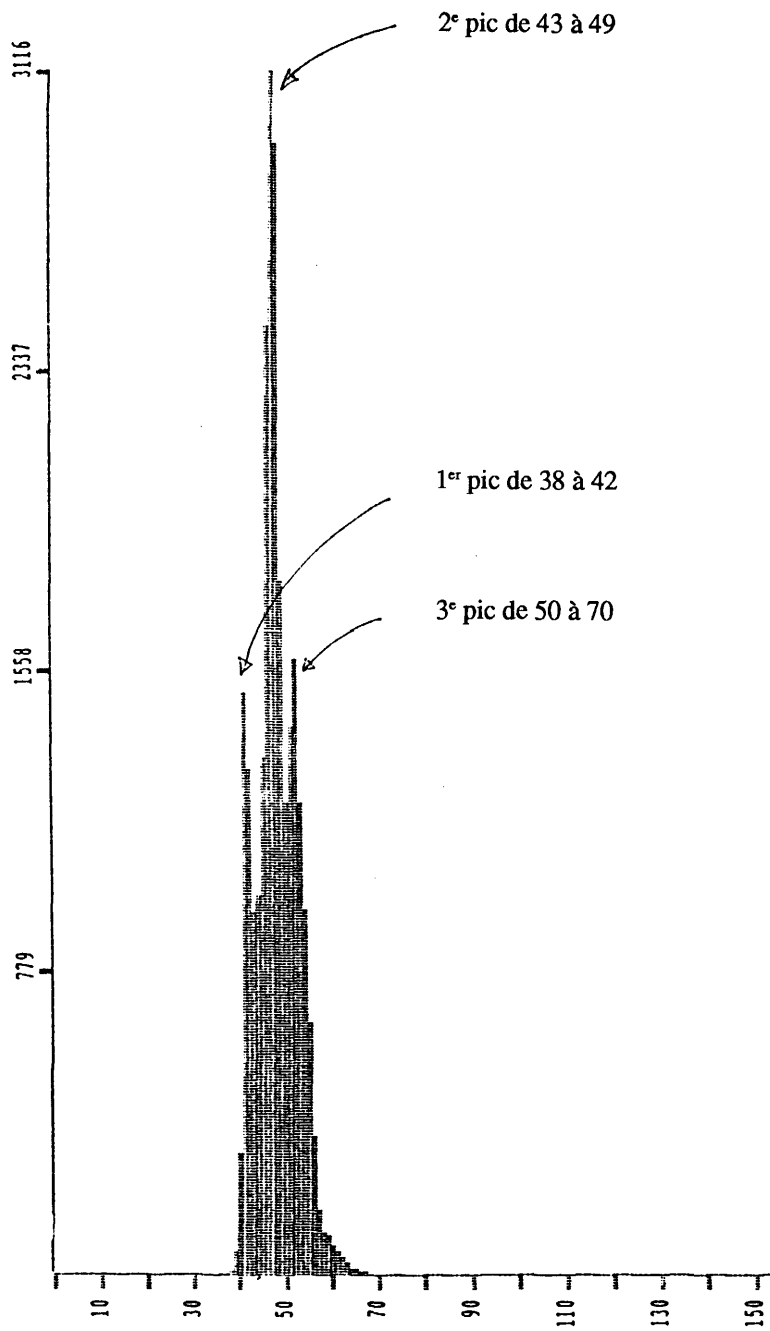
L'élève a maintenant compris le travail effectué par l'ordinateur ; il va pouvoir s'attacher à la classification des valeurs radiométriques, analyse supervisée, en vue d'établir une carte thématique. Donc il va devoir corréliser la valeur des pixels et la réalité-terrain.

2.1. Première phase, le seuillage : rechercher les seuils pour un canal donné afin d'établir une classification

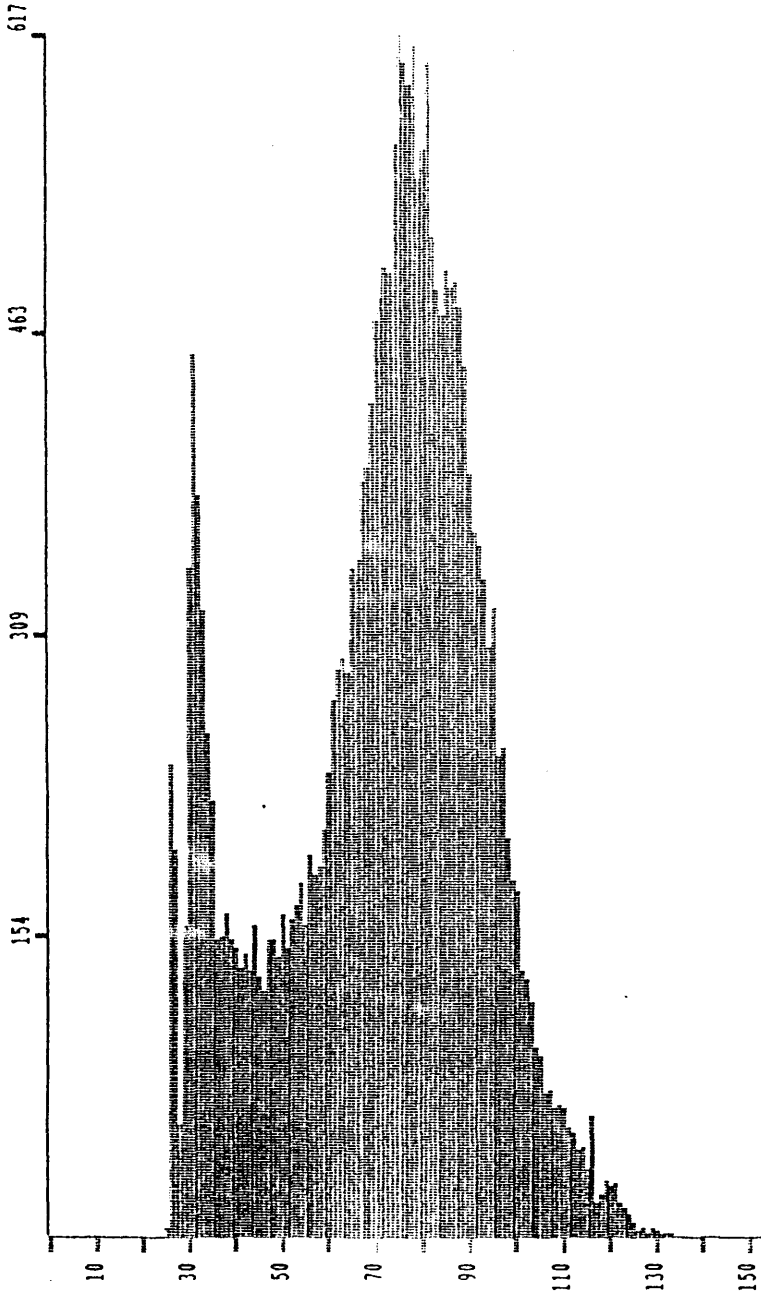
faire correspondre des valeurs radiométriques à une réalité-terrain

Après avoir étudié l'écosystème de Grand-Lieu avec les moyens traditionnels de la géographie, les élèves ont réalisé le zonage de la région étudiée d'après l'image satellitaire. Hormis ce zonage, ils disposent des sorties à l'imprimante des histogrammes des deux canaux choisis (ici les 1 et 3 de Spot) (documents 7A et 7B) et de documents sur la répartition de la végétation.

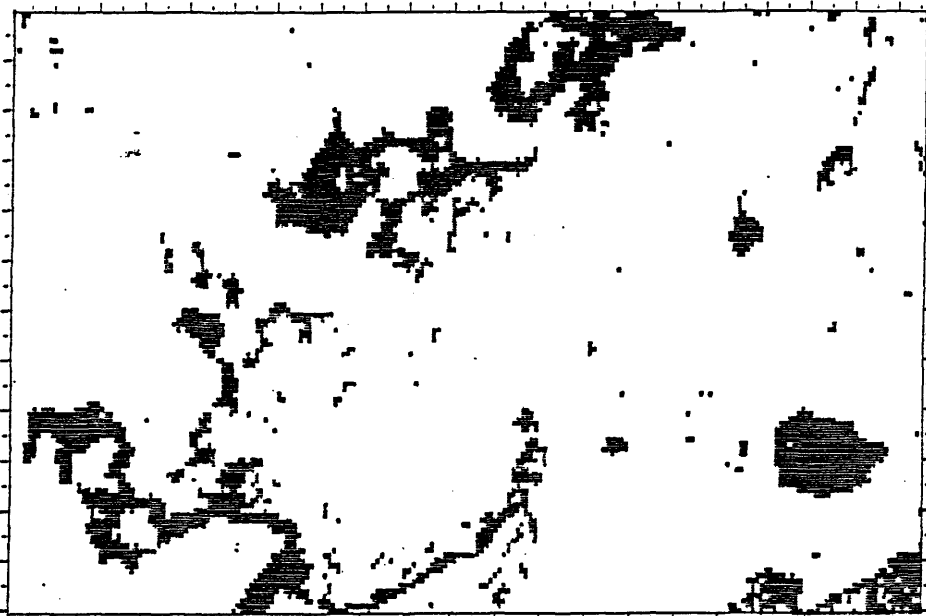
Document 7A. Histogramme du canal 1 (réflectance dans le vert)
Minimum : 38 - Maximum : 70



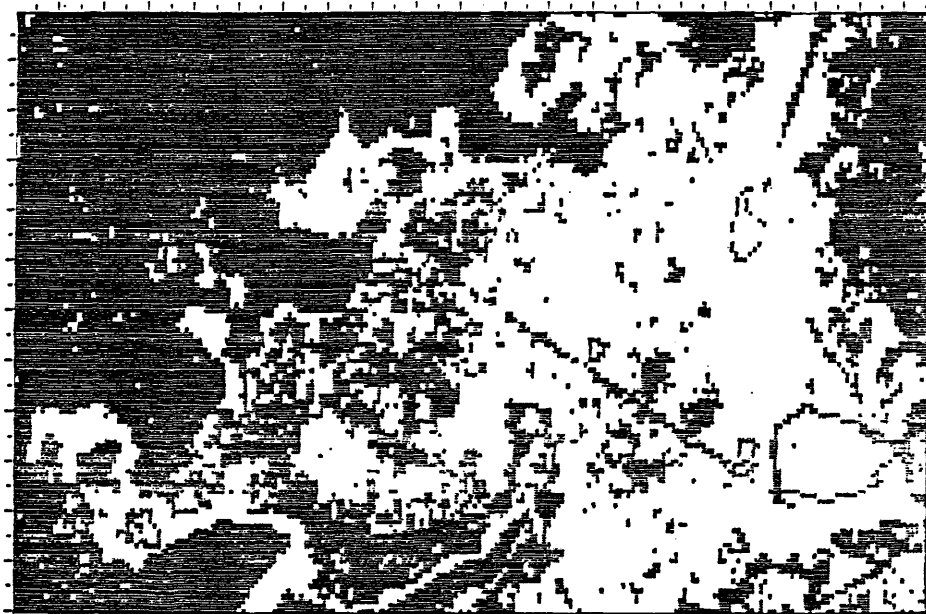
Document 7B. Histogramme du canal 3 (réflectance dans l'infrarouge)
Minimum : 25 - Maximum : 133



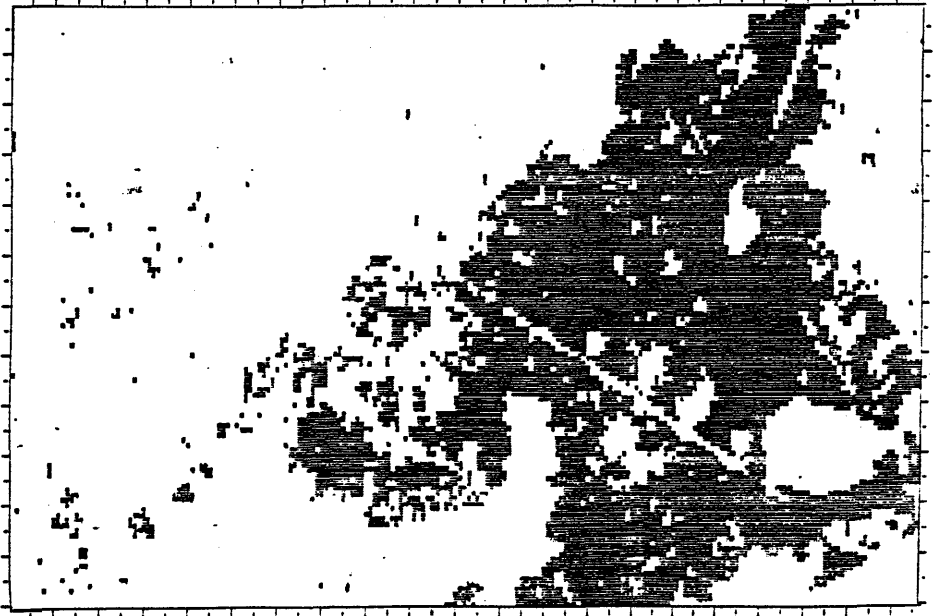
Document 8A. Canal 1, seuillage 38-42
Eau non recouverte de plantes annuelles



Document 8B. Canal 1, seuillage 43-49
Roselière et nénuphars



Document 8C. Canal 1, seuillage 50-70
Autres plantes annuelles flottantes



Les élèves vont étudier successivement les deux histogrammes grâce au module HISTO du logiciel TITUS. Le but est de rechercher les seuils, pour un canal donné. Ces seuils vont être testés grâce au module AFIMA qui permet de n'afficher que les pixels dont les valeurs sont comprises entre deux seuils (seuillage) : l'ordinateur affiche sur l'écran tous les pixels compris entre les deux seuils choisis. On localise donc géographiquement ces pixels (documents 8A, 8B et 8C).

La comparaison avec les documents concernant la répartition de la végétation permet d'associer un groupe de valeurs radiométriques à une végétation précise, par exemple sur le canal 1 (document 7A) :

- de 38 à 42 : eau non recouverte de plantes annuelles,
- de 43 à 49 : roselière et nénuphars,
- de 50 à 70 : autres plantes annuelles flottantes.

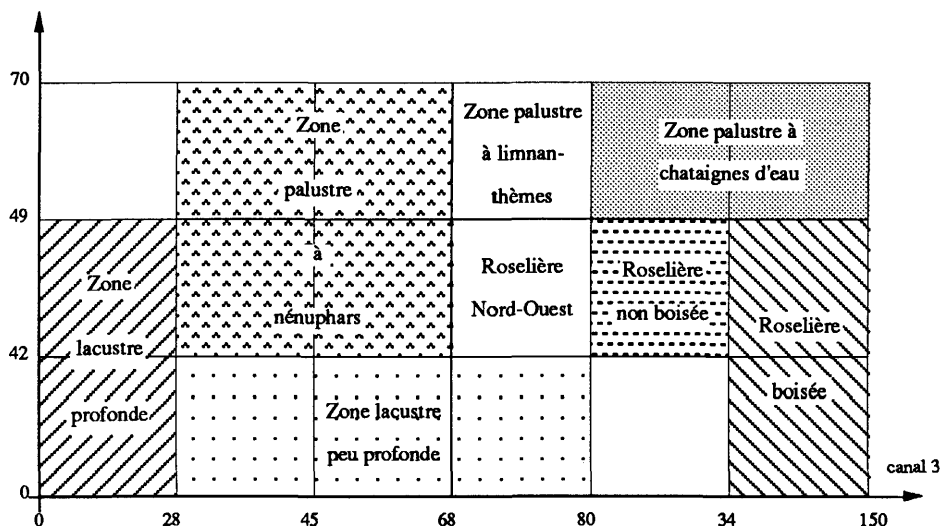
**2.2. Exploitation des résultats de seuillage :
 réalisation d'une classification**

Le travail de l'élève se poursuit en dehors du cours. À l'aide d'un tableau ayant pour abscisses les différents seuils du canal 3 et pour ordonnées les différents seuils du canal 1 (les intersections formant des cases qu'il faut identifier) les élèves vont bâtir une

isoler chaque
 type de
 végétation

classification des valeurs radiométriques selon les deux canaux en utilisant les résultats des seuillages précédents, c'est souvent pour l'élève la partie la moins concrète du travail et pourtant elle est fondamentale. En effet, elle va permettre d'isoler des thèmes non différenciables sur un canal (document 9).

Document 9. Lac de Grand-Lieu, classification



Les seuils pour chaque canal et la signification des cases sont fixés par l'élève et résultent de son travail de seuillage

... grâce à sa réflectance dans un ou plusieurs canaux

L'identification des cases ainsi créées doit être la plus poussée possible. Les cases non identifiées sont repérées par des signes distinctifs (x, y,...). L'élève dispose de quelques sites-tests correspondant aux thèmes retenus (ex : eau, roselière...) avec pour chacun les valeurs radiométriques moyennes, l'écart-type et le minimum et maximum (voir document 10). Cela lui permet de résoudre le problème des limites et les problèmes d'extensions d'un thème à plusieurs cases.

Document 10. Exemples de sites-tests : l'ordinateur fournit les valeurs radiométriques

Parcelle no : 3				
<u>ROSELIERE MIXTE</u>				
mois : 6		coordonnées : 55~65~20~30		
canal	moyenne	écart-type	minimum	maximum
NANE1	48.1	0.8	46	50
NANE2	30.9	0.6	29	32
NANE3	85.8	5.0	75	99
NANEV	187.0	3.3	178	194
Parcelle no : 1				
<u>ZONE LACUSTRE</u>				
mois : 6		coordonnées : 85~95~179~189		
canal	moyenne	écart-type	minimum	maximum
NANE1	41.0	0.4	40	42
NANE2	27.1	0.4	26	28
NANE3	26.4	0.5	26	28
NANEV	125.5	1.4	122	129

Seuls les canaux 1 et 3, notés ici NANE 1 et NANE 3 sont utilisés.

Le site-test correspond, en général, à une zone de quelques dizaines de pixels repérée sur le terrain.

2.3. Réalisation de la carte thématique

Les élèves arrivent à cette séance avec leur classification. En utilisant le module HYPIC du logiciel, ils entrent leurs données. Ce module va associer à chaque pixel une réalité sur le terrain (exemples : eau libre, nénuphars, roselières...). Systématiquement chacun des 24 000 pixels (taille de la sous image utilisée avec les élèves) va ainsi être identifié grâce à la classification établie.

La sous-image a été choisie pour que le calcul par l'ordinateur n'exède pas cinq à dix minutes (avec PC-AT ; avec PC-XT tous les temps sont augmentés). Au cours du calcul, le suivi sur l'écran est possible et permet, entre autres, de localiser les cases non identifiées (grâce aux signes) et parfois de les identifier.

l'ordinateur
remplace les
valeurs
radiométriques
de chaque pixel
par leurs
significations sur le
terrain

Le module AFIMA, en associant une couleur à chaque réalité-terrain, va permettre d'afficher à l'écran la carte réalisée. L'affichage par AFIMA de la classification permet de vérifier la valeur de la carte établie et donc éventuellement de remanier la classification (la sous-image est de taille réduite, le calcul par ordinateur rapide, donc au cours de la séance d'une heure les élèves peuvent remanier, refaire, calculer leur classification : identification de nouvelles cases, modifications de certaines...).

le résultat : une
carte de
végétation en
deux heures !

La sortie sur imprimante en noir et blanc ou en couleur constitue l'accomplissement du travail de l'élève. On a ainsi une carte de la région étudiée, avec en légende les thèmes choisis, et ceci après deux heures de travail sur ordinateur (document 11).

CONCLUSION

Le traitement de l'image numérique est une démarche riche pour l'élève. D'abord, ce qui précède l'a montré, il nécessite une grande rigueur. Mais en même temps, il montre un aspect permanent de la recherche scientifique : le passage des faits, réalité non critiquable (comme l'est l'image numérique), à l'interprétation nécessaire pour créer une carte de végétation (arbitraire dans le choix des seuils, précision plus ou moins grande des relevés sur le terrain...). Même si son document final est critiquable, l'élève l'a réalisé lui-même. L'appropriation est immédiate. La suite du cours, basée sur ce document, n'aura pas besoin d'autres motivations.

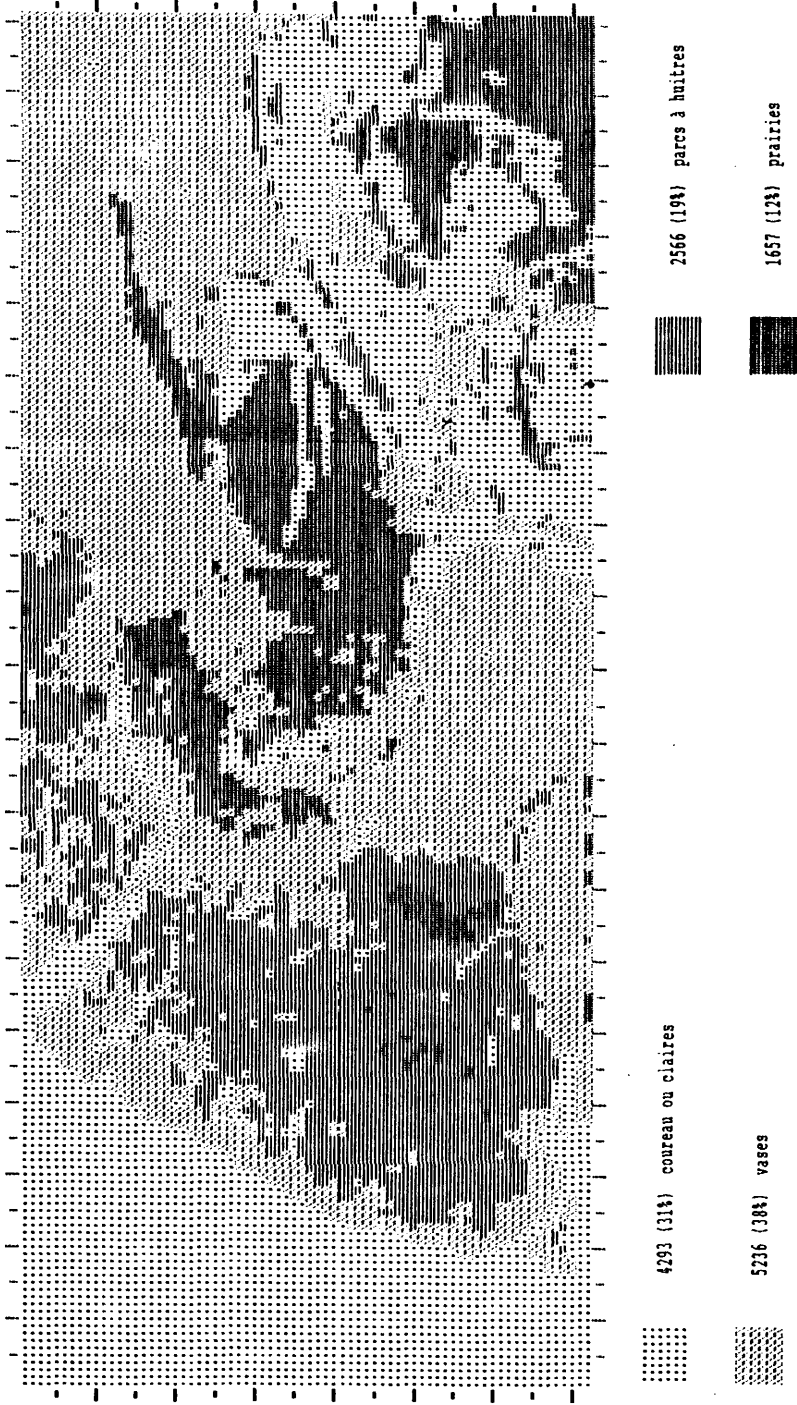
acquisition de
savoir mais surtout
développement
d'une attitude
scientifique

Ensuite cette technique amène à utiliser l'ordinateur, qui ici s'impose : une image de soixante kilomètres sur soixante kilomètres représente neuf millions de pixels ; à chacun correspond trois valeurs radiométriques (une dans le vert, une dans le rouge et une dans l'infra-rouge), soit en tout vingt-sept millions de chiffres à manipuler ! L'ordinateur garde auprès de l'élève une dimension ludique motivante.

Les images satellitaires, si elles font partie du quotidien (images météorologiques; illustrations de revues...) gardent néanmoins un certain mystère. Le travail réalisé par l'élève concrétise ce type de document en le rendant immédiat. A partir de là, cet outil peut être réutilisé pour d'autres parties des programmes sans perte de temps : par exemple, les multiples documents d'imageries médicales seront facilement appréhendés.

Enfin la pluridisciplinarité s'impose comme en beaucoup de domaines actuellement. Pluridisciplinarité des connaissances mais aussi pluridisciplinarité dans la démarche pédagogique. L'ensemble décloisonne les connaissances et les attitudes des élèves de lycée.

Document 11. Exemple de carte thématique obtenue par les élèves d'après une image SPOT de la région d'Oléron .
Cette réalisation a été faite au cours d'un thème sur l'ostréiculture.



Si au terme de cette progression, l'élève a acquis un nombre certain de savoirs, il a aussi appris des démarches : passer du fait à l'hypothèse, de l'ordinateur au terrain, du cadre disciplinaire à l'équipe pluridisciplinaire.

François CARIOU
Lycée agricole et horticole
Angers - Le Fresne
Rudolph LE GALL
Lycée Guy Moquet
Chateaubriant

BIBLIOGRAPHIE

BAKIS H., *La photographie aérienne et spatiale*, Que sais-je ?, n° 1700, P.U.F., 1978.

CASSANET J., *Satellites et capteurs*, Collection télédétection satellitaire, 128 pages, Editec Caen, 1984.

CHABREUIL A. et M., *Exploration de la Terre par les satellites*, 156 pages, Paris, Hachette, 1979.

DIZIER J.-L. et LÉO O., *Télédétection*, 275 pages, FORHOM, 1986.

Du satellite à la classe, INRP, Collection Rencontres pédagogiques, n° 17, 1987, 128 pages

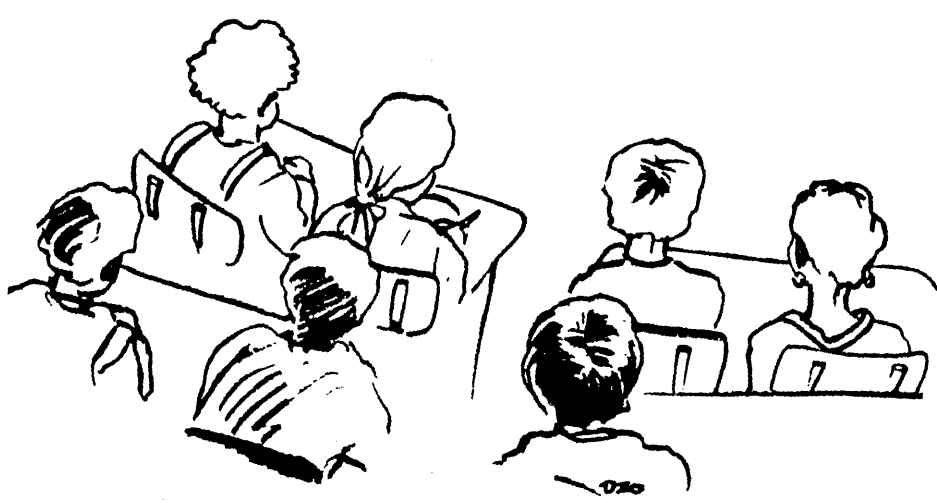
FOIN P., *Cours de télédétection*, 78 pages, 1985.

GAUTHIER A. et VAUZELLE M., *La télédétection spatiale : un nouveau visage de la Corse*, 25 diapos, 72 pages, Ajaccio CNES-CRDP, 1986.

JOLY G., *Les données image*, collection Verger télédétection satellitaire, 133 pages, Editec Caen, 1984.

RICHARD Y., "Les images satellitaires au lycée", *Bulletin APBG*, n° 3, 1989.

VERGER F., *L'observation de la Terre par les satellites*, Que sais-je ?, PUF, 1978.



SUR L'UTILITÉ D'UNE FORMATION D'ENSEIGNANTS AU DIALOGUE ÉLÈVE-ORDINATEUR

Michel Collette

Les espoirs placés dans l'ordinateur susceptible de favoriser les apprentissages des élèves semblent retomber faute d'une qualité et d'une pertinence (pédagogique) suffisantes des didacticiels disponibles dans l'enseignement et d'une formation des enseignants à l'utilisation de l'informatique (pédagogique) en classe.

Dans ce contexte, nous avons choisi de développer, pour la formation d'instituteurs, les trois aspects suivants :

1 - présenter un type de didacticiel plus performant car conçu par l'enseignant et adapté aux difficultés de ses élèves,

2 - en corollaire, donner aux enseignants une formation à la conception de ces didacticiels en s'affranchissant le plus possible des contraintes (langages et programmation) purement informatiques à l'aide d'un système auteur en l'occurrence,

3 - grâce au relevé des réponses d'élèves, amener les enseignants à suivre et analyser leurs cheminements pour mieux les aider à franchir les obstacles de l'apprentissage.

La formation d'instituteurs dont ce texte décrit et analyse le dispositif permet d'engager avec les participants une réflexion didactique sur les apprentissages.

la situation
actuelle...
de l'utilisation de
l'informatique en
pédagogie

... des élèves

L'informatique pédagogique a fait massivement son entrée, il y a quelques années, dans l'Education Nationale, notamment par le biais du "Plan Informatique pour tous" (1985)⁽¹⁾. A l'heure actuelle, l'enthousiasme originel semble retomber : en France, nombre d'enseignants et l'inspection générale, en Europe, le C.E.R.I. (le Centre pour la recherche et l'innovation dans l'enseignement, organisme de l'O.C.D.E.)⁽²⁾, donnent des éléments de diagnostic à propos du manque :

- de didacticiels de qualité qui répondent aux besoins des enseignants dans le cadre de leur enseignement,
- d'enseignants formés à l'utilisation des ordinateurs pour des applications pédagogiques,
- de recherche et d'évaluation à propos des deux points précédents.

Simultanément, le contexte socio-économique nécessite l'accès d'un plus grand nombre d'élèves au baccalauréat et, en général, à un niveau de culture de plus en plus élevé : or, une fraction

(1) Les dernières instructions officielles (1985) précisent pour l'école élémentaire : "Le logiciel (analyse et modification de logiciels simples ; début de programmation dans une perspective logique)".

(2) Pour une meilleure qualité des logiciels d'enseignement. Note du secrétariat - O.C.D.E. - Centre du recherche et d'Innovation dans l'enseignement - 1988.

... de la formation
des enseignants

non négligeable de ceux-ci connaît des difficultés d'apprentissage importantes et les enseignants malgré leur bonne volonté ne peuvent être disponibles à tous et à chacun comme ils le souhaiteraient.

... conduit à
proposer en
premier lieu

Afin d'aider les élèves à surmonter leurs difficultés, l'idée a donc germé :

- d'agir sur la qualité et la nature des didacticiels et, grâce à l'ordinateur, de faire en sorte que, par leur conception, ceux-ci puissent suivre individuellement l'apprentissage des élèves,
- de proposer une formation complète des enseignants incluant réalisation, utilisation de courts didacticiels et d'initier une réflexion didactique, qui va de soi d'ailleurs dans le cadre du travail entrepris.

Sur ces deux points principaux, "didacticiel" et "formation", le texte ci-après, fruit d'une expérience précise, apporte une réponse possible ; en premier, il expose le type de didacticiel choisi : le mini-dialogue élève ordinateur.

1. LE DIALOGUE ÉLÈVE-ORDINATEUR RENOUVELLE LA PLACE DE L'INFORMATIQUE DANS L'ÉCOLE

1.1. Qu'est-ce qu'un dialogue élève-ordinateur ?

... un type de
didacticiel :

Un dialogue élève-ordinateur sera défini comme un ensemble de petits textes - on les appelle items - présentés successivement, selon un ordre et une logique prévus par l'auteur, à l'écran de l'ordinateur : ils apportent une information que l'apprenant devra traiter pour s'approprier un savoir au sens large du terme ; il fournit sa réponse à l'ordinateur et, selon celle-ci, l'ordinateur envoie à son tour un item de commentaire contrôlant l'acquisition, les erreurs, avant de présenter l'information suivante. Les dialogues peuvent comprendre des dessins ou graphiques, être accompagnés de documents écrits (la classification périodique des éléments pour un dialogue sur ce sujet par exemple), être couplés avec un projecteur de diapositives, une cassette audio ou vidéo pour les plus élaborés.

... le dialogue
élève-ordinateur

On verra un peu plus loin qu'il n'est pas possible, voire utile, pour l'instant, d'élaborer des dialogues importants : en général cinq ou six items suffisent pour une difficulté d'élève ; ils constituent un mini-dialogue élève-ordinateur (M.D.E.O), réalisable par un enseignant ou une petite équipe d'enseignants. Le dialogue élève-ordinateur est de l'Enseignement Assisté par Ordinateur (E.A.O.) dans la mesure où celui-ci permet le traitement de l'information, le contrôle de l'acquisition des connaissances et la correction des erreurs.

Cependant, de nos jours, l'E.A.O. recouvre des pratiques "d'assistance" différentes et nombreuses où les trois fonctions ci-dessus ne sont pas toutes remplies, par exemple : apprendre

... une des formes
de l'E.A.O.

exemple d'un
item-question et
des réponses
possibles...

l'usage d'un logiciel (à l'aide souvent d'un manuel), apprendre la programmation dans un langage donné, utiliser une disquette de démonstration d'un logiciel se limitent la plupart du temps à recevoir une bonne ou mauvaise réponse à une manoeuvre du clavier, ou à voir défiler des pages d'écran à lire (avec beaucoup d'informations difficilement mémorisables) avant de pouvoir répondre de façon opératoire.

A première vue, du côté de l'apprenant en particulier, un dialogue ne diffère guère d'un cours programmé "papier-crayon" où il faut tourner des pages au lieu de voir défiler des écrans ; cependant, contrairement à celui-ci, dans un dialogue, les questions peuvent être (très) ouvertes et l'ordinateur peut recueillir et tenir compte d'une diversité non négligeable de réponses et gérer automatiquement des parcours individualisés.

Voici à titre d'exemple ⁽³⁾, un recueil de onze réponses différentes à propos de l'item 1 sur l'Arc-en-ciel :

1 - COMMENT S'APPELLE LE PHÉNOMÈNE COLORÉ QUI APPARAÎT PARFOIS À LA FIN DES ORAGES DANS LE CIEL ?

Aide 1 : Les poètes en parlent comme d'un pont de lumière

2 :

1 : ARC-EN-CIEL

Juste

2 : ARC EN CIEL

3 : ARC EN CIEL ou ARC-EN-CIEL ou ARC EN-CIEL ou ARC EN CIEL

S'il-vous-plaît-mettez-des-tirets ARC-EN-CIEL

4 : ARC et EN et CIEL en désordre

Les trois mots ont été détectés, mais la machine n'a pas réussi à lire ARC-EN-CIEL

5 : ARCS et EN et CIEL ou CIELS ou CIEUX en ordre ou en désordre

6 : ARC et CIEL en désordre

L'ordinateur a reconnu ARC et CIEL

Vous voulez probablement parler de l'ARC-EN-CIEL

7 : ARC

8 : CIEL ou CIELS ou CIEUX

La machine a trouvé le terme se rapportant au ciel

La moitié de la réponse manque - Répondez à nouveau

9 : ARQUE ou ARQUES

Non, l'orthographe est ARC - Retapez une réponse correcte

10 : CIEL ou CIELS ou CEIUS ou CIEUX ou SIEL

11 : AURORE BORÉALE ou CRÉPUSCULE ou ou

Les aurores boréales, comme les colorations qui accompagnent le lever ou le coucher du soleil ne suivent pas les orages. Changez votre réponse

Réponses non prévues

(3) Cet exemple comme la plupart de ceux de cet article (sauf indication contraire) est emprunté au cours d'E.A.O. professé par Nicole Riche à l'Université de Paris VII, avec son autorisation. Parfois, ils ont été remodelés pour les besoins de la formation.

... avec leurs commentaires

Onze réponses ont donc été répertoriées sans compter les réponses imprévues dans la dernière case que l'ordinateur gardera en mémoire pour être exploitées ultérieurement par l'enseignant.

Les grands rectangles blancs correspondent à des commentaires de réponses qu'il faudra élaborer (il s'agit d'un exercice) ; certains d'entre eux sont déjà placés et indiqués par des flèches ; les deux premières lignes, après l'item 1, correspondent à des commentaires d'aide que l'apprenant pourra appeler en cas de difficulté. Au total les élèves peuvent recevoir treize commentaires.

l'analyse des réponses

On remarquera la finesse nécessaire de l'analyse concernant la reconnaissance par l'ordinateur de la réponse exacte, "plus ou moins exacte", ou fautive, des différentes orthographes. Un cours programmé ne peut gérer une telle complexité pour chaque item et présenter de plus des parcours différenciés (analogues à ceux d'un cours programmé ramifié). On ne s'étonnera donc pas de l'importance du travail de réflexion et d'expérimentation qui a précédé l'écriture des dialogues et de son efficacité formatrice pour l'enseignant concernant la communicabilité des items et la nécessité de bien cerner les contenus présentés. Les techniques de construction d'un dialogue font appel en grande partie à celles de l'enseignement programmé.

1.2. Quel outil, quel logiciel va pouvoir gérer une telle complexité de réponses ?

l'utilisation d'un système-auteur

Les formateurs se sont servis d'un système auteur ⁽⁴⁾, en l'occurrence Euridis (éditeur Hachette) qui avait été acquis par certaines écoles du département avec les points de la dotation ministérielle. En général, un système-auteur est un logiciel constitué ⁽⁵⁾ :

un exemple de bloc-question-réponses-commentaires

- d'un langage auteur qui permet de programmer en français un didacticiel et qui donne accès aux fonctions textes, images et formes (par exemple des "fenêtres" où l'on va placer les items, les réponses ou des schémas et dessins),

- d'un ensemble d'utilitaires pour créer des caractères d'imprimerie, vérifier la logique du chaînage des items, de la disquette-élève...

La feuille de préparation du dixième item-question (Q10) sur la physique nucléaire et le noyau de l'atome se présente ainsi :

-
- (4) Le système auteur employé dans l'expérience rapportée est Euridis (de chez Hachette) -il peut être utilisé sur T07-70 et sur nano-réseau -. Bien amélioré, avec 3 niveaux d'utilisation, il va être produit pour les ordinateurs compatibles IBM à un prix concurrentiel par rapport à des produits du même type.
- (5) Il existe une quarantaine de systèmes auteurs sur le marché. Au Centre National d'E.A.O. (CNEAO) à l'Université de Paris VII ont été développés : Arlequin, Marion,... Un système comme MACAO coûte 25 000F environ.

PHYSIQUE NUCLÉAIRE : QUESTION 10

Q Q10	les isotopes	
<p>Pour faciliter l'étude des réactions nucléaires, chaque atome est représenté avec son numéro atomique et son nombre de masse.</p> <p style="text-align: center;">exemple : ${}_{13}^{27}\text{Al}$</p> <p>27 représente le nombre de masse de l'atome aluminium, c'est-à-dire le nombre des particules de son noyau : protons et neutrons. 13 indique le nombre des protons. C'est le numéro atomique.</p> <p>Cette notation permet de distinguer aisément les isotopes. Ils ont le même numéro atomique et diffèrent par le nombre de neutrons.</p> <p style="text-align: center;">Les deux principaux uraniums sont :</p> <p style="text-align: center;">${}_{92}^{238}\text{U}$ et ${}_{92}^{235}\text{U}$</p>		
A	<p>Pour un noyau d'Uranium 235, le nombre de masse est donc 235 et le numéro atomique 92 ; on connaît donc la somme neutrons + protons et le nombre de protons.</p>	Q10
B	<p>Le nombre de neutrons s'obtient par les soustractions suivantes :</p> <p style="text-align: center;">$238 - 92 = 146$ neutrons pour l'isotope 238</p> <p style="text-align: center;">$235 - 92 = 143$ neutrons pour l'isotope 235</p>	Q11
R1	146 et 143	
C1	<p>Les résultats sont exacts -</p> <p>Il y a : $238 - 92 = 146$ neutrons dans l'isotope 235 de l'Uranium</p> <p style="text-align: center;">$235 - 92 = 143$ neutrons dans l'isotope 238 de l'Uranium</p>	Q11
E1		
R2	$92 - 92 -$	
C2	<p>Il est vrai que les isotopes ont le même nombre de protons 92, le nombre de neutrons demandé fait intervenir le nombre de masse. (Compare avec l'aluminium)</p>	Q10
E2	<p>Les nombres de masses des deux isotopes sont 235 et 238, connaissant les numéros atomiques (ou nombre de protons), il est aisé par soustraction de connaître les nombres de neutrons.</p>	Q10
R3	$238 - 235 -$	
C3	<p>238 et 235 représentent chacun le nombre de masse des deux isotopes : somme des protons et des neutrons dans le noyau : le numéro atomique va te permettre de calculer le nombre de neutrons.</p>	Q10
E3	<p>.....</p>	
R15		
C15		
E15		
X		
X		
I	<p>Ta réponse n'a pas été répertoriée : l'ordinateur en prend bonne note pour une version ultérieure du dialogue. Merci.</p>	Q10

Cet ensemble de réponses s'appelle un bloc.

On remarquera les commentaires possibles suivants :

- un commentaire d'aide (A),
- un commentaire de "sortie de boucle" (B),
- quinze types de réponses de R1 à R15 peuvent être pris en compte ; corrélativement on peut leur associer :
 - quinze commentaires directs (C1 à C15),
 - quinze commentaires "écho" (E1 à E15) facultatifs,
- un commentaire imprévu (I),
- deux commentaires boomerang (X).

Voici à grands traits quelques précisions.

Le commentaire d'aide (A) : l'élève peut y faire appel à tout moment par une touche spéciale.

Le commentaire de "sortie de boucle" (B) : il intervient quand l'élève n'arrive pas à répondre : au bout de deux essais, après les commentaires directs (C) et écho (E) ; il renvoie à la question suivante après avoir explicité la réponse ; cette procédure n'est pas obligatoire et on peut si nécessaire "boucler" à nouveau sur la question Q10 : "Désolé, il me faut une réponse - Réponds à nouveau."

Les commentaires directs (R) : comme les réponses, ils sont examinés par le système successivement dans l'ordre indiqué ; celui-ci peut aller théoriquement jusqu'à l'item "Imprévu" (I).

Les commentaires "écho" (E) sont facultatifs (de même d'ailleurs que les commentaires I imprévu, B de sortie de boucle, A d'aide... à la bonne volonté de l'auteur) ; le commentaire écho est un second commentaire associé à une réponse du même type : l'élève s'est orienté vers le même type... d'insuffisance ; le commentaire doit expliquer celle-ci ou donner une information supplémentaire.

Le commentaire imprévu (I) : sert à constater une situation que l'ordinateur prend en compte et à renvoyer l'apprenant à la question (on peut éventuellement le renvoyer en B commentaire de sortie de boucle...).

Les commentaires boomerang (X) : ces commentaires sont peu utilisés, ils ont le rôle brutal de renvoyer systématiquement l'apprenant vers la question Q10... jusqu'au moment où celui-ci voudra répondre. Les commentaires non-employés peuvent être utilisés par l'auteur à d'autres fins : pour terminer un dialogue, présenter un dessin, une instruction particulière... Après deux essais de réponses, l'apprenant est envoyé automatiquement vers le commentaire B et donc vers la question suivante Q11 (cf. plus haut).

Ces renvois sont indiqués sur la droite : la présence de Q10 signifie que, après le commentaire, l'apprenant recevra le message "Répondez à nouveau" et le texte de Q10. S'il n'y a pas de commentaire écho, ce qui est normal dans le cas de la réponse exacte R1, l'apprenant passe à la question suivante ; dans le cas de R3, l'apprenant est envoyé vers la question Q10 après C3 puis il ira en B (commentaire de sortie de boucle). Enfin le système impose une syntaxe précise pour la rédaction

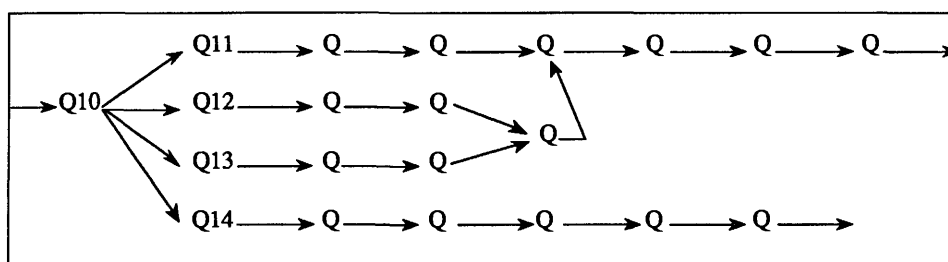
les divers
commentaires
possibles...

... diversifiés,
spécifiques... ou
même
imprévisibles

des réponses : 143 et 146 est à distinguer de l'écriture 92-92 ; 238-235... où il suffit de vérifier l'existence de 92 comme réponse incorrecte en première ou deuxième position... La présence de "et" impose évidemment et simultanément la présence de 143 et 146.

diversification des
parcours
d'apprentissage

De plus, le chaînage des questions selon les réponses données permet de réaliser des parcours individualisés : celles-ci au lieu de renvoyer après commentaires comme dans l'exemple précédent, vers Q10 ou la question suivante Q11, peuvent renvoyer par exemple vers des questions Q12, Q13 ou Q14 pour traiter spécifiquement les insuffisances des réponses R2, R3 ou R4 ; naissent ainsi des parcours individualisés qui pourront éventuellement se rejoindre, interférer :



1.3. Les propriétés essentielles du système-auteur

Elles peuvent se résumer ainsi :

- capacité instantanée à stocker toutes les réponses d'élèves, à recueillir les difficultés individuelles et à les traiter de façon différenciée,
- pour l'apprenant, souplesse de parcours individualisés et convivialité,
- pour le concepteur, possibilité d'écrire les dialogues directement en français sans souci informatique et de les modifier pour les améliorer, de réaliser des schémas et dessins,
- pour un item-question, possibilité de prendre en compte jusqu'à quinze réponses possibles d'apprenants, éventuellement dans un temps limité, et trente commentaires correspondants,
- existence d'un éditeur de textes, avec création de fenêtres pour réponses et commentaires, de mises en page et en couleurs, de différents types de caractères,
- création automatique du chaînage des items et vérification de la logique du chaînage (c.a.d. de leur présentation ordonnée selon la logique du contenu analysé par l'auteur).

les propriétés de
l'ordinateur et du
système auteur

Le système peut aussi éditer les réponses des apprenants : "historique" d'une passation et bilan comparé des passations des apprenants. Ce dernier est fondamental pour l'amélioration du dialogue et le suivi des apprenants.

l'important : le
relevé des
réponses des
apprenants

La richesse et la finesse de l'analyse de réponses qu'offre un système auteur constituent son principal intérêt : elle ouvre des

possibilités d'études et de recherches qu'il était difficile d'entreprendre sans ordinateur, des possibilités de réflexions précises en formation.

A la suite de ce parcours technique à propos d'un système auteur, il paraît naturel d'aborder les retombées pédagogiques et didactiques : qu'est-ce que le dialogue élève-ordinateur permet de différent ?

1.4. Les possibilités pédagogiques ouvertes par le dialogue élève-ordinateur

les enseignants en
équipe pour aider
les élèves

En préalable, une parenthèse importante est nécessaire pour indiquer un certain nombre de choix: aux points de vue pédagogique et didactique, il est important pour les enseignants d'avoir à leur disposition des dialogues qui traitent des difficultés des élèves de leurs classes. Or, il est possible qu'un enseignant, ou mieux, une petite équipe, construise, avec un système auteur, un ensemble de cinq (ou six) items. L'expérience montre que ce nombre suffit en général pour une difficulté donnée et qu'il n'est pas utile de construire des dialogues importants dans les conditions présentes ; à vrai dire, pendant la construction, la difficulté principale pour les enseignants est de cerner le sujet avec précision et de savoir se restreindre à quelques items. De plus, en approfondissant la structure d'un dialogue, ils seront mieux à même de comprendre, d'analyser les didacticiels actuels et de mieux les exploiter éventuellement. L'utilisation de l'ordinateur prend davantage de sens pour l'enseignant et lui re-donne du pouvoir dans la gestion des apprentissages.

... par la
construction de
mini-dialogues

Le dialogue élève-ordinateur est donc une possibilité de mise en situation pertinente, un outil parmi d'autres utilisé en fonction d'objectifs définis dans une séquence pédagogique : quelles activités d'élèves, quelle gestion des apprentissages et quel modèle pédagogique le dialogue élève-ordinateur rend-il possible ?

propriétés d'un
mini-dialogue

Avec un système auteur, répondre à ces interrogations, c'est exposer des qualités qu'on attend d'un didacticiel d'apprentissage :

- respect du rythme individuel des apprenants (le système est également capable de donner les temps de passation de chacun pour chaque item) ;
- individualisation des parcours d'apprentissage : les chaînages (cf. ci-dessus) établis en fonction des réponses constituent autant de parcours possibles pour les apprenants ;
- réponse quasi-immédiate : dans le cas d'une question fermée (cf. ci-dessus) elle arrive après deux commentaires et une recherche effective de l'apprenant, elle encourage à continuer ;
- participation active : l'apprenant est amené à concevoir et élaborer une réponse qui exigera d'autant plus de réflexion que la question aura été mieux préparée (parfois, il faut dépenser beaucoup de matière grise avant de répondre par un oui ou un non) ;

- progression par (petites) étapes : il s'agit d'avancer progressivement en fonction de la logique du contenu mais en tenant compte des difficultés d'élèves ; une méthode "algorithmique" de chaînage des items permet de repérer puis de traiter celles-ci (on est frappé de constater que cet enseignement convient bien aux cas d'élèves en grande difficulté).
- Si on a comme objectif la recherche de l'autonomie des apprenants, celle-ci passe par une utilisation des dialogues élève-ordinateur qui la rendra possible :
- passations individuelles par les élèves dans la salle des ordinateurs, avec des durées différentes, (et évaluations individuelles ou par petits groupes, mise en commun des acquisitions et questions...),
 - travail par atelier, l'un des ateliers étant réservé à l'utilisation de l'ordinateur par un groupe d'élèves,
 - accès en libre service de l'ordinateur placé dans la classe, c'est le coin ordinateur au même titre qu'il existe un coin bibliothèque, d'activités d'éveil, ou d'arts plastiques ; l'élève peut à tout moment prendre ou reprendre l'étude d'un dialogue.

quand, comment
utiliser un mini-
dialogue ?

La prise en compte de la différenciation en terme de contenu et de caractéristiques d'apprentissage d'élèves entraîne non seulement la diversité des cheminements d'élèves mais également la diversité des dialogues : chaque élève ou chaque groupe d'élèves n'étudie pas le même dialogue au même moment. De plus, des questions, même très ouvertes, d'évaluation des acquis ou des cheminements peuvent être posées :

- *quel est l'aspect qui te fait le plus difficulté ?*
- *qu'est-ce qui te paraît le plus difficile dans l'explication des opérations de remontage du carburateur d'une 2CV ? Dans la description du fonctionnement de celui-ci ?*

La collecte (instantanée) des réponses par l'ordinateur permettra de connaître les difficultés qui subsistent en vue d'améliorer l'apprentissage.

des questions

L'ordinateur ainsi employé introduit un élément de souplesse supplémentaire et un paramètre d'ouverture enrichissant la palette des interventions possibles dans le modèle pédagogique de l'enseignant.

des hypothèses
de didactique

L'aspect didactique porte sur le questionnement qui préside à la création et à l'usage scolaire des dialogues élève-ordinateur. Plus précisément, les hypothèses de travail pourraient s'énoncer ainsi : l'enregistrement des passations des apprenants permet-il de suivre et de vérifier les apprentissages des contenus, des méthodes abordés par un dialogue élève-ordinateur ? A travers ceux-ci comment peuvent être pris en compte les représentations des élèves, la conception du savoir scientifique, la différenciation, le traitement des erreurs, le conflit socio-cognitif, la modélisation, l'algorithmique et l'heuristique, la simulation... ? Bref, chacun de ces points mérite d'être abordé (certains d'entre eux ont déjà reçu une réponse précédemment en terme de système auteur).

• Contenus et méthodes

... dont les divers aspects

Les dialogues peuvent être relatifs à des contenus (notion d'atome, de courant électrique ou de circuit électrique, de gaz, de pression...) ou à des méthodes (comment formuler une situation problème, rédiger un compte rendu d'expérience, établir une loi à partir de données numériques...) ; tous les savoirs auxquels il faut remédier ne relèvent certainement pas d'un traitement par l'ordinateur, soit parce qu'ils sont de l'ordre du vécu, de la réalisation pratique, effective, (apprentissage de la prise de parole in vivo...) soit parce que d'autres outils pédagogiques sont plus pertinents (documents audio-visuels... bien que le disque vidéo accompagne de plus en plus l'ordinateur). Des questions restent à étudier quant à la nature des savoirs choisis, à leur transposition, aux apprentissages favorisés par l'ordinateur... ainsi qu'à la conception du savoir scientifique.

... sont passés en revue

• Les représentations

Les représentations peuvent être recueillies rapidement, voici un questionnaire possible sur le thème "les atomes" :

1. A l'heure actuelle, on parle beaucoup d'atomes... Qu'est-ce qu'un atome ?
2. Beaucoup d'appareils et de machines (ordinateur, système d'alarme, téléphone, montres,...) sont dits "électroniques". Pourquoi ? Savez-vous ce qu'est un électron ?
3. Citez trois atomes que vous connaissez
4. Qu'y a-t-il à l'intérieur d'un atome ?
5. Pouvez-vous en représenter un ?
6. Qu'appelle-t-on symbole ?
7. Qu'est-ce qu'un numéro atomique ?
8. Y a-t-il un rapport entre l'électricité et l'atome ?

les aspects didactiques...

Quelle que soit la mise en situation (c'est-à-dire même sans ordinateur), à propos des représentations considérées comme des obstacles, le problème demeure de savoir comment est faite la liaison avec le contenu : quelle transposition propose-t-on de celui-ci pour construire le dialogue ? comment fait-on ?

• Conception du savoir scientifique

... du modèle scientifique

Le savoir est-il un donné exposé à travers une suite linéaire d'items questions ? Ou s'est-on efforcé de le mettre à la disposition des élèves de manière ouverte ? Permet-il des interrogations où les élèves expriment des choix par rapport à des possibilités ? Dans ce dernier cas, on prendra soin, suivant le moment considéré de la démarche, à la manière de questionner, de formuler un problème, des hypothèses, de rechercher des éléments de réponse, de présenter bilans et résultats, de structurer et contrôler les acquis, de les réinvestir... La conception du dialogue sera un reflet de la conception du savoir scientifique objet du dialogue.

La première idée qui vient à l'esprit quand on utilise l'ordinateur en apprentissage est d'y installer un cours programmé afin de recueillir des réponses d'élèves (et leurs impressions) ; ceci a été fait pour le cours (linéaire), "les atomes". Dans les extraits suivants, on remarquera la diversité des activités intellectuelles demandées à l'élève pour résoudre les questions posées à l'aide de "la table des atomes" (table comportant la liste des atomes par ordre alphabétique) :

- les items 36 et 37 (sur des écrans différents - le commentaire de réponse n'apparaît qu'après que l'élève ait lui-même répondu) :

36

Le nombre de protons d'un atome est très important à connaître. Ce nombre s'appelle le NUMÉRO ATOMIQUE de l'atome et se représente par la lettre Z.
Ex. : le numéro atomique de l'aluminium est $Z = 13$

Il a 13 protons.
Le carbone a 6 protons dans son noyau, il a donc pour numéro atomique $Z =$

37

La table donne le numéro atomique de chaque atome.
Chercher le numéro atomique des atomes suivants :

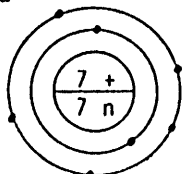
Calcium : $Z =$
Sodium : $Z =$
Argent : $Z =$

- les items 53-54-55 : les activités sont un peu plus riches et complexes :

53

Pour les premières couches, une couche ne comporte pas d'électrons si la couche précédente n'est pas complète.
Voici le modèle de BOHR de l'atome d'azote.

Il a en tout _____ électrons
Sur la couche K il y a deux électrons
Sur la couche L _____



54

Dessiner le modèle de BOHR de l'atome d'oxygène :

$Z = 8$
 $M = 16$

55

Dessiner le modèle de BOHR de l'atome de sodium
Dans la table

$Z =$
 $M =$

Ces exemples montrent aussi - nous y reviendrons - l'utilisation d'un modèle scientifique et la nature possible d'items qui font travailler sur le modèle lui-même.

Un exemple d'un autre type sera donné plus loin à propos de la simulation.

- Différenciation, traitement des erreurs

La différenciation selon les réponses a été évoquée plus haut (cf. item question sur l'Uranium) ; le traitement des erreurs lui est lié et on peut en définir l'esprit : l'erreur est-elle conçue comme une faute à réprimer à tout prix ou le dialogue va-t-il la traiter en terme d'obstacle à affronter et à franchir, moteur de l'apprentissage ? Va-t-il discriminer différents types d'erreurs selon les élèves ?... Le questionnement qui présidera (cf. plus haut) à la décision de construire et d'utiliser ensuite un tel dialogue ne pourra pas faire l'économie de ces questions.

le modèle
pédagogique

- Conflit socio-cognitif

Le dialogue prévoit-il un arrêt (en groupe) pour favoriser les échanges d'idées à propos d'un obstacle, le questionnement à propos des divergences et leur prise en compte ensuite par le système ? On peut imaginer une telle démarche à propos de la réponse sur les deux noyaux d'Uranium.

- La modélisation

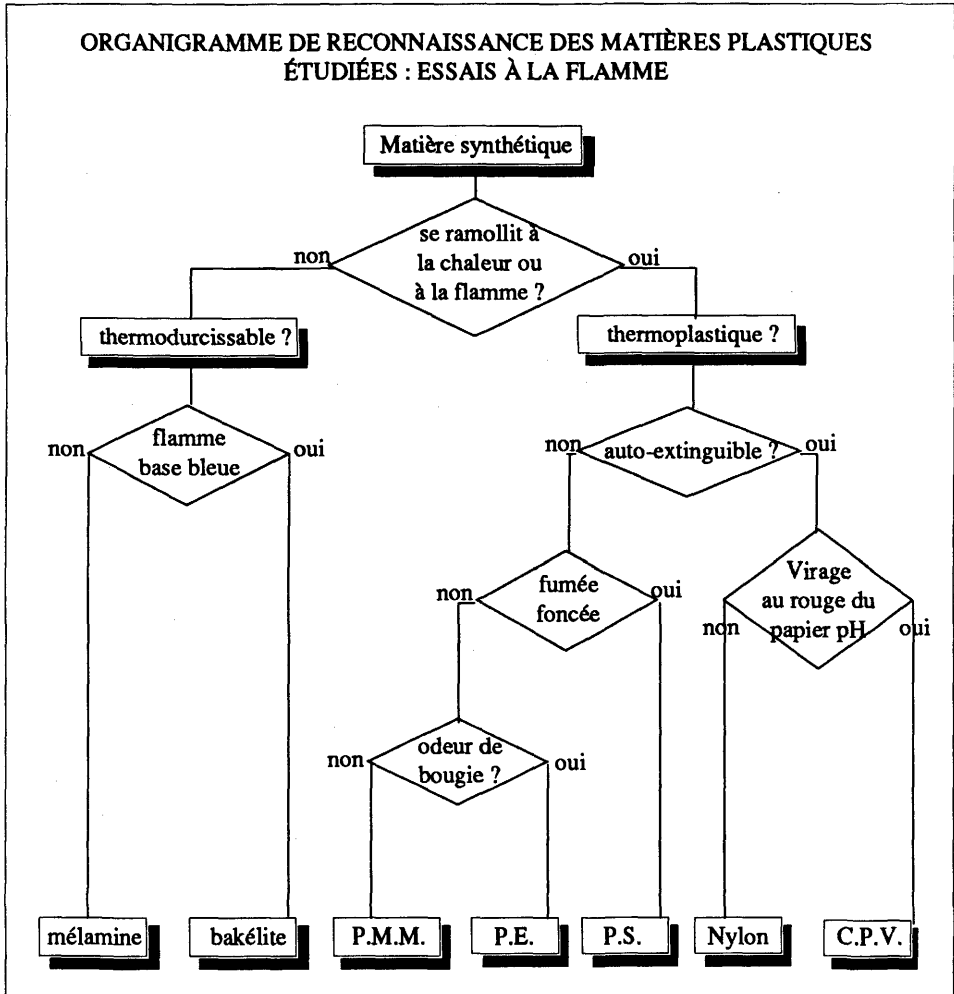
Dans le cadre du modèle de Bohr, les items font acquérir la notion d'atome en faisant travailler ce modèle sous les aspects les plus divers : donner le numéro atomique, le nombre de masse, calculer les nombres d'électrons, de protons, de neutrons, en jouant sur le remplissage des orbites, en donnant tout ou partie des informations, en utilisant le schéma de l'atome et en le faisant dessiner. Le dialogue oblige à bien cerner le modèle, à en marquer les limites (il s'agit de l'atome de Bohr pour les atomes de numéro atomique $Z < 20$) qui prépareront les futurs modèles énergétiques ou à orbitales... Des choix sont à faire et à expliciter qui font évoluer le modèle ; il n'est pas une description mais une création incessante dans un aller-retour entre la théorie et l'expérience (observations précises, mesures rigoureuses) création qui conduit à des options didactiques : faut-il employer de suite la classification périodique simplifiée (à 8 colonnes) ou plus complète (à 18 colonnes) ?... Bien souvent, à l'heure actuelle, le modèle est d'abord postulé puis mis en cause.

- L'algorithme et l'heuristique, la simulation

L'algorithme est un enchaînement logique d'opérations destinées à résoudre un problème (exemple : l'algorithme de la multiplication est une suite d'opérations intellectuelles qui permet de la résoudre) et qui se matérialise sous la forme d'un organigramme, souvent utilisé en informatique ; il est bien connu sous sa forme linéaire ou ramifiée. Une démarche algorithmique d'enchaînement des items localise plus facilement l'endroit où se trouve l'erreur ; l'apprentissage risque de prendre un aspect systématique, les opérations successives consti-

exemple
d'analyse
algorithmique de
contenu

tuent les (petites) étapes de la progression, elles font faire des activités intellectuelles variées, fouillées (cf. plus haut "les atomes"). On peut prendre comme exemple l'apprentissage d'un algorithme lui-même, celui de la reconnaissance des matières synthétiques par l'essai à la flamme :



Les losanges indiquent des choix selon les résultats des essais, les rectangles les noms des catégories et des matières : P.M.M.= polyméthacrylate de méthyle, P.E.= polyéthylène, P.S.= polystyrène, C.P.V.= chlorure de polyvinyle.

On imagine bien que le dialogue puisse aborder successivement chaque branche en "remontant" à partir de chacune des matières synthétiques. L'apprentissage sera plus aéré si l'élève réalise les expériences au fur et à mesure ; si celles-ci sont déjà faites, ce sera un dialogue de synthèse, de vérification ou de

révision. En fin d'apprentissage, on arrive à des items synthétiques et riches (sans utilisation du document reproduit ci-dessus car il a été mémorisé par le travail réalisé à son sujet).

Voici un échantillon de matière synthétique. Déterminez expérimentalement son nom :

Indiquez aussi les critères d'identification et l'ordre dans lequel vous les avez utilisés :

- 1 -
- 2 -
- 3 -
- 4 -

Aucun document n'est autorisé

... de didacticiel
de simulation et
d'invention

Cet apprentissage risque cependant de laisser peu de place à l'heuristique, c'est-à-dire à l'invention, à l'expression créative, davantage présente en simulation : ainsi un didacticiel comme Microscillo donne à l'apprenant la possibilité de créer des circuits électriques (types R,L,C série parallèle au autres) et de les étudier en fonctionnement grâce à la simulation d'un oscilloscope. Le dialogue élève-ordinateur peut bien entendu utiliser dans la simulation ⁽⁶⁾ outre le fonctionnement d'appareillage, un phénomène physique : "... il faut citer un logiciel REF... où le modèle est au contraire inconnu de l'élève. L'objectif de ce type de logiciel est double : permettre à l'élève de découvrir une expression de la loi qui régit le modèle (image virtuelle pour la loi de la réflexion dans REF...) et le placer dans une situation de recherche autonome..."⁽⁷⁾.

Par conséquent, du traitement des représentations jusqu'à la simulation, le but est de susciter la création de dialogues élèves-ordinateur même si on ne peut répondre à toutes les questions soulevées, ni parfois les formuler autrement que de manière générale : quelles sont les questions de l'ordre de la didactique qui se posent lors de la création d'un dialogue ? Dans quelles conditions celui-ci peut-il les aborder de façon plus efficace et fine que les séquences d'enseignement habituelles en classe ?

Il reste que l'intérêt des dialogues réside dans le fait de pouvoir, grâce à l'emploi d'un système auteur, recueillir et analyser les réponses d'élèves. Encore faut-il donner la possibilité aux enseignants de créer des mini-dialogues de cinq ou six items sur une difficulté d'élèves.

C'est ce second point qui va être abordé.

(6) Euridis Système auteur, créer-modifier-lire, Hachette, 1984 p. 70, livret d'accompagnement (un peu touffu) du logiciel.

(7) Voir dans la bibliographie les articles de DUREY et de BEAUFILS.

2 - LA FORMATION D'ENSEIGNANTS À LA CONCEPTION DE DIALOGUES ÉLÈVE-ORDINATEUR EST EN MÊME TEMPS NÉCESSAIREMENT UNE FORMATION À LA DIDACTIQUE

2.1. Quel cadre de référence choisir pour cette formation ?

Si l'emploi d'un système auteur rend possible l'élaboration de petits dialogues élève ordinateur pour mettre en situation des élèves à propos de leurs difficultés et les aider à les vaincre de manière autonome, une formation d'enseignants s'impose : quel cadre de référence peut-on lui définir ?

deuxième
proposition : une
formation
d'enseignants

La formation doit tracer un processus global d'élaboration d'un dialogue et élargir la réflexion en le mettant en rapport avec l'acte pédagogique de l'enseignant... et la réalité de la classe. Concernant le thème strict de la formation au dialogue, la démarche fonde sa cohérence à l'articulation de trois axes :

- 1) le choix et l'analyse d'un contenu disciplinaire (ou éventuellement interdisciplinaire),
- 2) la conception et l'élaboration d'un projet de mini-dialogue,
- 3) l'évaluation (formative) de celui-ci : régulations successives par essais auprès des apprenants suivis de remaniements.

• Premier axe : le choix et l'analyse d'un contenu

Comme on l'a vu plus haut, les difficultés auxquels on voudrait remédier ne relèvent certainement pas tous d'un traitement par didacticiel mais quels contenus est-il possible de mettre en oeuvre ?

Les contenus les plus divers sont certainement abordables (cf. plus haut) :

quels contenus
choisir ?

- des contenus de l'ordre des savoirs : les savoirs structurés, aisément modélisables sont certainement les plus faciles à mettre sous forme de didacticiels : notion d'atome, de courant électrique, de gaz, de pression ou des présentations d'objets techniques : engrenages, balances,

- des méthodes ou des savoir-faire, par exemple : comment formuler des situations problèmes ? comment rechercher des éléments de réponses ? comment formuler des hypothèses ? comment critiquer un document ? comment rédiger une expérience de chimie ? comment établir une loi à partir de données ?

Dans tous les cas, avant d'écrire, il sera nécessaire d'approfondir le contenu ou la méthode, de tenir compte de sa logique d'exposition, de celle de l'élève et des enseignants concepteurs, des aspects didactiques : recueil des représentations préalables, nature du modèle scientifique à présenter, obstacles...

• Deuxième axe : La conception et l'élaboration du mini-dialogue

Dans le cadre de la formation, elles donnent lieu à :

des aspects techniques

- un travail technique : la connaissance de l'utilisation du système auteur, des instructions qui permettent de saisir le dialogue, de créer des fenêtres questions, de réponses interactives ;

- une initiation à la rédaction des items : étude psychologique de ce qui se passe dans la tête de l'élève (au sens de la psychologie cognitive), analyse de la tâche ; propositions d'activités mentales diversifiées pour traiter les informations (qui ne soient pas... uniquement de la mémorisation) ; présentation de celles-ci sous des angles différents et enrichissement des questions qu'on pose ; il s'agit d'aider l'apprenant à construire son savoir (et de ne pas se contenter de dire un discours à propos duquel on pose des questions).

• Troisième axe : l'évaluation du mini-dialogue

Au long de l'élaboration, les équipes de stagiaires s'échangent leurs productions pour les critiquer et les testent ensuite dans les classes au cours du stage.

une évaluation formative

Les deux premiers axes "choix du contenu" et "conception et élaboration du mini-dialogue" constituent des passages obligés, le troisième axe est une option des formateurs destinée à donner du sens, en situation, au travail accompli ⁽⁸⁾ ; il en est de même de *l'ensemble de la démarche* mise au point qui ne diffère guère d'ailleurs d'une séquence d'apprentissage en classe et dont voici les principales phases :

- définir la situation de départ : quel(s) savoir(s) sont envisagés ? pour qui ? dans quel contexte va s'insérer le dialogue ? quelle difficulté aborde-t-il ? quelles sont les représentations des élèves à propos du thème choisi ? ...

- formuler le problème posé, les objectifs visés : répondre par un mini-dialogue à une difficulté d'élève, c'est par exemple faire comprendre la continuité nécessaire d'un circuit électrique en fonctionnement,

- rechercher des éléments pour la construction du dialogue et la mettre en oeuvre : la mise en forme concrète conduit à s'interroger encore sur les contenus et des recherches précises sont nécessaires avant de passer à la rédaction,

- expérimenter la production auprès des enseignants puis des élèves pour essais et améliorations,

- présenter les résultats au groupe et faire une évaluation : bilan des acquis de la formation et réinvestissement du dialogue, des aspects pédagogiques, didactiques et du modèle de formation, en classe.

... au long d'une démarche

L'hypothèse est qu'en expérimentant ce modèle de démarche, le stagiaire le transférera plus facilement, le modifiera éventuel-

(8) Voir DUREY, Actes des Journées Internationales pour l'Education Scientifique de Chamonix, 1984, 1987.

... dont le modèle est transférable	<p>lement, l'améliorera, pour transformer son modèle pédagogique personnel.</p> <p>L'ensemble de la formation recherche un équilibre entre les phases :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'apports de connaissances, de synthèses, - de travaux de groupes et d'échanges inter-personnels, - d'expérimentation et de retour en classe (aspect de socialisation) <p>On trouvera dans la bibliographie d'autres modèles de formation possibles ⁽⁹⁾.</p>
attentes des stagiaires	<p>Les deux formations réalisées (en 1988 et 1989) constituaient une partie de deux stages dont le thème général portait sur l'utilisation pédagogique de l'ordinateur.</p> <p>Les attentes des stagiaires ont été exprimées dans ce cadre et montrent bien leurs perceptions; leurs réponses visent essentiellement :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le fonctionnement de l'ordinateur dans ses aspects matériels, - l'informatique vue sous l'angle de la programmation (en BASIC), discipline nouvelle à enseigner (aspect qui ne figure pas comme tel dans les instructions officielles), - l'utilité de l'informatique en classe.
objectifs du stage	<p>Ces attentes mettent en évidence la nécessité de sensibiliser les stagiaires au dialogue élève-ordinateur qu'ils ne connaissent pas, avant de leur présenter les objectifs de la formation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - construire un petit dialogue à l'aide d'un système auteur, l'expérimenter en classe et analyser les résultats aux points de vue pédagogique et didactique, - analyser la pratique d'élaboration, de construction et d'utilisation du dialogue proposé : <ul style="list-style-type: none"> • pour être capable de construire par la suite en équipe, d'autres dialogues, • pour réfléchir à la notion de modèle pédagogique et de modèle de formation mis en oeuvre, • pour mieux évaluer les didacticiels existants et les insérer éventuellement dans ses séquences pédagogiques.
hypothèses concernant l'utilisation des mini-dialogue et la formation	<p>Corrélativement, en terme d'hypothèse, on peut formuler les quelques propositions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'utilisation des dialogues élève-ordinateur améliore le traitement de l'information et l'acquisition des connaissances, - l'enregistrement des passations permet de suivre et de vérifier les acquisitions (méthode, contenus, concepts...), - la construction du dialogue et l'analyse de la formation imposent d'approfondir, à propos de l'apprentissage choisi, les connaissances, les méthodes, la réflexion pédagogique et didactique, la place du dialogue dans le modèle pédagogique de l'enseignant. <p>Les deux formations de durées inégales, huit et seize demi-journées, étaient réparties sur quinze jours et un mois respectivement. Seule, la seconde formation donna lieu à des réalisations dont certaines purent être saisies sur ordinateur</p>

(9) Voir en particulier Lesne, Ferry, Astolfi, Besnainou.

en fin de stage (deux productions scientifiques : "c'est quoi l'électricité ?" et "le système solaire"). Le choix convenu d'un dialogue de cinq ou six items seulement, donc réalisable, à propos d'une difficulté d'élève donne du sens au travail des enseignants, qui, motivés, expérimentent de suite l'utilité des dialogues dans leurs pratiques pédagogiques pour l'autonomie de l'élève, le franchissement d'obstacles... Ils les intègrent facilement dans leur modèle pédagogique. On peut cependant dire que l'apprentissage d'un système auteur prend du temps, que des progrès doivent être accomplis pour le rendre plus directement accessible, plus convivial, et que par ailleurs, l'apprentissage de l'écriture opératoire des dialogues pose des difficultés aux enseignants. L'ensemble des "objets" étudiés pendant la formation va le montrer.

2.2. Quels sont les "objets" travaillés pendant le stage ?

Pour construire un dialogue, des contenus, méthodes ou techniques spécifiques sont présentés aux stagiaires et travaillés sous forme d'exercices préparant la création effective. Ils sont autant d'"objets travaillés" au cours des différentes étapes de l'élaboration du dialogue :

- 1) choix du thème d'étude ;
- 2) détermination des caractéristiques des apprenants (représentations, prérequis, niveau d'entrée avant d'aborder le sujet) ;
- 3) analyse du contenu ;
- 4) détermination des objectifs pédagogiques ;
- 5) constructions (éventuelles) de l'épreuve d'entrée (pour vérifier le niveau d'entrée) et de l'épreuve de sortie (évaluation, contrôle) ;
- 6) décision concernant le support (type d'ordinateur, système auteur choisi) ;
- 7) trame de déroulement du contenu ;
- 8) rédaction des items ;
- 9) essais auprès des apprenants et remaniements avant validation.

• Rappel des étapes déjà évoquées

- Le choix du thème : il dépend de la difficulté d'élève envisagée par les stagiaires (cf. plus haut).

- La détermination des caractéristiques des apprenants :

- leur environnement,
- leurs représentations à propos du thème,
- les prérequis : connaissances indispensables avant d'aborder la séquence.

Ces différents aspects peuvent être cernés par des enquêtes, des questionnaires (cf. ci-dessus "les atomes", le courant électrique, des observations, non seulement en début mais aussi en cours d'apprentissage. Les instituteurs connaissent bien leurs élèves et leurs difficultés.

sur quoi portent les activités de formation au cours des différentes phases de la construction du dialogue ?

exemple
d'objectifs
pédagogiques

- La détermination des objectifs pédagogiques : la méthode de détermination est bien connue. À propos de la classification périodique des éléments (niveau : classe de seconde), voici une liste possible d'objectifs pédagogiques ⁽¹⁰⁾ :

1. L'élève placera dans un tableau vide (T) représentant la classification périodique (l'élève possèdera la "table des atomes"), le symbole d'atomes dont il connaîtra soit :
 - le nom,
 - le numéro atomique,
 - la configuration électronique,
 - le noyau (y compris les isotopes).
2. Connaissant la structure d'un atome, l'élève en donnera le nom et également le nom d'un atome pouvant appartenir à la même famille.
3. Connaissant la structure électronique d'un atome, l'élève représentera la structure des atomes immédiatement voisins sur une même ligne.
4. Connaissant la structure d'un atome, l'élève donnera la structure du "gaz inerte" appartenant à la même ligne.
5. L'élève dessinera à sa place dans le tableau la structure électronique d'un autre atome de gaz inerte.
6. L'élève dira combien il y a d'électrons sur la couche externe de tous les atomes de gaz inertes.
7. L'élève donnera le nombre d'électrons externes pour les atomes de la colonne du lithium, de l'oxygène...
8. Parmi plusieurs modèles d'atomes présentés, l'élève désignera ceux qui ont des propriétés chimiques voisines.
9. L'élève fera le lien entre propriété chimiques et couche électronique. Il énoncera :
 - a) les propriétés chimiques des atomes ne dépendent que de la couche électronique externe.
 - b) les atomes qui ont des couches électroniques externes identiques ont des propriétés chimiques voisines.

Les objectifs sont énoncés en terme de comportements observables : une telle précision est nécessaire si on veut cerner la difficulté à traiter.

exemple
d'épreuve de
sortie

- L'épreuve d'entrée et l'épreuve de sortie : cette dernière (si elle est nécessaire) est liée directement aux objectifs visés comme on le constatera ci-dessous ; pour des objectifs de la "classification périodique", elle peut se présenter ainsi.

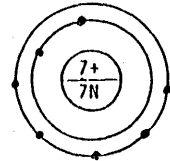
(10) Les trois documents suivants, relatifs à cet exemple, sont extraits de : Equipe "Travail autonome" GREPPO Sciences Physiques "La chimie en travail autonome et individualisé" - CRDP d'Orléans - 1978.

CLASSIFICATION PERIODIQUE _____
 CONTROLE DU _____

Les élèves prendront la table des atomes et disposeront d'un tableau I vide (ou le dessineront avant de commencer le contrôle).

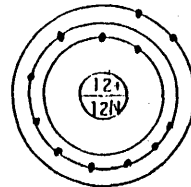
1 - Placer dans le tableau I vide, les symboles des atomes suivants :

- a) le magnésium
- b) l'atome de numéro atomique $Z = 14$
- c) l'atome dont le modèle est le suivant \longrightarrow
- d) les atomes dont les noyaux sont les suivants :

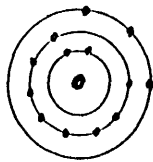


2 - Quel est le nom de l'atome dont le modèle est le suivant : _____

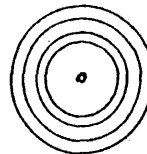
Donner le nom d'un atome appartenant à la même famille: _____



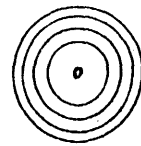
3 - Voici la représentation de la structure électronique de l'aluminium.



Représenter celle des atomes immédiatement voisins sur la même ligne.

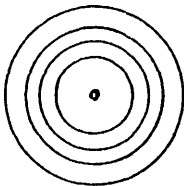


avant



après

4 - Représenter la structure électronique du gaz inerte appartenant à la même ligne que l'aluminium.



Placer les symboles de l'aluminium et de ce gaz dans le tableau I.

L'épreuve d'entrée dépend de ce qu'on veut connaître des manques possibles des apprenants. Les questions peuvent être très ouvertes (qu'évoquent pour vous les mots "classification périodique" ?) et survenir en début ou en cours de séquence pédagogique à propos d'obstacles rencontrés.

- La décision concernant le support dépend du type d'ordinateur et du système auteur disponible.

Restent trois phases importantes :

- La trame de déroulement du contenu (phase 7), liée à l'analyse de contenu de la phase 3,
- La rédaction des items (phase 8),
- Les essais (phase 9) auprès des apprenants et les remaniements avant validation.

• L'analyse du contenu et la trame de déroulement

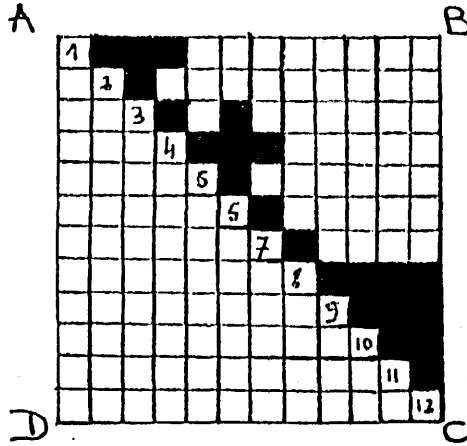
Le thème étant retenu, on a avantage à prendre une vue d'ensemble de toutes les idées importantes qui formeront l'essentiel de l'apprentissage même si une seule d'entre elles correspond à une difficulté d'élèves ; elle sera alors prise en compte pour la constitution du dialogue. Ces idées essentielles sans lesquelles un sujet ne peut être abordé à un niveau donné s'appellent les idées-clés ; après des recherches, parfois minutieuses, pour cerner chacune d'elles, les enseignants les dégagent alors rapidement ; ainsi à propos de la classification périodique (niveau seconde) et du modèle de Bohr, les idées clés suivantes ont été choisies :

exemple d'idées-clés

- 1 - Rangement des atomes par numéro atomique croissant. Z est lié au noyau et est le numéro de la case.
- 2 - Cas des isotopes : même numéro atomique Z, même case.
- 3 - Remplissage électronique par numéros atomiques Z croissants.
- 4 - On va à la ligne quand la couche en remplissage acquiert une grande stabilité, couche à 8 électrons (et réciproquement), pas obligatoirement saturée.
- 5 - Cas de l'argon : renforcement de "couche stable et non saturée".
- 6 - On va à la ligne même si la couche n'est pas saturée.
- 7 - Le modèle de Bohr devient insuffisant, il y a des électrons sur la couche n mais il va en arriver sur la couche n-1.
- 8 - Les atomes d'une même colonne ont la même structure électronique externe.
- 9 - Des atomes d'une même colonne ont des propriétés chimiques voisines (sur l'exemple d'une famille).
- 10 - Des atomes de même structure électronique externe ont les mêmes propriétés chimiques. (à mémoriser)
- 11 - La famille des gaz rares qui ont une grande stabilité chimique.
- 12 - Noter l'importance des électrons de la couche électronique externe (sauf en chimie nucléaire).
 - L'exemple des gaz rares et la stabilité des atomes à 8 électrons sur la couche électronique externe montreront le grand rôle joué par les configurations dans l'étude ultérieure des liaisons chimiques.
 - C'est vers une configuration électronique de ce type que vont tendre les couches externes des atomes qui vont se lier.

une matrice
ordonnée
d'idées-clés

L'organisation des idées-clés n'est pas le fait du hasard comme on peut le constater : on passe d'une idée à une autre en suivant un lien logique. Comment établir ce lien ou ce *chaînage* ? on utilise, par exemple, une matrice carrée -dite matrice de Davies- de a sur a petits carrés, a correspondant au nombre d'idées clés, 12 dans l'exemple choisi de la classification périodique (cf. la numérotation de 1 à 12 ci-dessous) :



On décide de noircir le carré à l'intersection d'une ligne correspondant à une idée clé et d'une colonne correspondant à une autre idée clé si elles ont une relation de continuité logique entre elles :

- la bande horizontale passant par 1 (idée clé n°1) et les bandes verticales passant par 2, 3 et 4 montrent que les idées clés 1 et 2, 1 et 3, 1 et 4, sont en rapport car les carrés d'intersection sont noirs,

- par contre 1 n'a pas de rapport logique avec les idées clés, 6 à 12 : en effet, les carrés de la ligne 1 sont restés blancs de 6 à 12.

Au début de la recherche, les petits carrés noirs sont répartis au hasard : il s'agit en déplaçant les idées clés dans la matrice de mettre le maximum de carrés noirs le long de la diagonale AC ; on obtient ainsi un chaînage complet, dans l'exemple ci-dessus, entre toutes les idées clés, et, des interversions possibles de l'ordre, entre 9, 10, 11 et 12. Il sera moins aisé de déplacer 6, 7, et 8.

On peut avoir besoin de trouver d'autres sortes de liens ("en rupture", on marquera les carrés en gris).

Il existe d'autres méthodes de chaînage issues de l'enseignement programmé ⁽¹¹⁾. Elles donnent parfois des résultats sur-

la technique de
rangement

(11) Il n'est pas possible d'exposer des méthodes d'analyse de contenu dans le détail, pour ceux qui sont intéressés, on signale 2 ouvrages :
Le Xuan -Analyse comportementale- Analyse de contenu.
Thème et pratique de l'apprentissage -Nathan- 1975.
Gérard P. Gavini -Manuel de formation aux techniques de l'enseignement programmé- Editions Hommes et Techniques, 1969.

prenants et des chaînages qu'on n'imaginait pas : ainsi, des stagiaires naturalistes étudiaient traditionnellement, il y a quelques années, la suite des différents organes intervenant dans la circulation du sang ; le chaînage d'un cours programmé a permis de re-découvrir le lien, évident a posteriori, constitué par le sang lui-même et la circulation haute et basse : une étude analytique se trouvait déstructurée au profit d'une vision plus proche du réel, plus moderne et globale.

Pour traiter une idée-clé, il est besoin de deux à six items en général mais parfois une idée-clé générale peut contenir elle-même un certain nombre d'idées-clés (de sous-idées) pour lesquelles le nombre d'items peut varier aussi de deux à six (on rappelle qu'une difficulté d'élève correspond à ce nombre en général et sera traitée comme une idée-clé sous ce rapport).

Pour chaque idée-clé (ou sous-idée ou difficulté) on construit alors la trame de déroulement de son contenu, correspondant à une colonne dans le schéma ci-dessous à propos de la notation d'un nucléide :

exemple de
trame de
déroulement

1. NOTATION D'UN NUCLÉIDE ${}^m_z A$								
	Révisions	1	Radioactivité	Isotopes	Fission	Fusion	Carbone 14	Traceurs
1	Noyau : proton neutron	Notation (Nb neu- trons ≠ Nb protons)		Alumi- nium aucun isotope				
2	proton parti- cule +	repré- sen- ta- tion du noyau par dessin		Isotope stable			C 12 pour C 14	C 14
3		lecture de la notation Tracer le noyau	Lithium			Lithium bombe H		
4	notion d'isotope	exercice sur le nombre de neutrons	Minéral naturel U 238	isotope 238				
5	notion d'isotope	"	U 235 pi- les ato- miques et bombes	isotope radioactif 235	Fission de l'ura- nium			

Chaque case d'une colonne correspond à un item dont le contenu est résumé en quelques mots brefs (dans l'exercice proposé aux stagiaires, il s'agit de compléter la trame en se plaçant dans la logique du déroulement des idées situées sur la première ligne et ensuite de rédiger les items).

une mise au point

On peut se demander, à ce stade, comment la logique des élèves ou leurs représentations sont prises en compte. Il n'est pas inutile de se souvenir que le processus de conception est global et que l'utilisation du dialogue est nécessairement intégré au modèle pédagogique de l'enseignant. Celui-ci peut avoir relevé auparavant les représentations et observé les logiques de ses élèves. De plus, le choix a été fait de traiter des difficultés d'élève, les représentations en font partie et le dialogue est destiné à les faire évoluer. L'analyse de contenu qui vient d'être présentée s'applique donc à l'analyse de difficultés d'élèves. Les représentations et les logiques qui apparaîtraient au cours du dialogue élève-ordinateur seront repérées dans les passations pour l'améliorer.

C'est aussi et surtout dans le travail de rédaction des items, questions et commentaires, que la logique de l'élève s'introduira nécessairement ; en particulier, l'expérience montre que l'item qui apporte une information, ne doit pas dépasser une trentaine de mots (pour des élèves du second cycle) ; au delà, le travail de mémorisation est trop important.

• La rédaction des items

exemple de
rédaction de
commentaires

Les types de travaux proposés pour aider à la rédaction des items, sont souvent des exercices tirés des productions des stagiaires, critiqués par eux-mêmes.

Ainsi à propos du bloc "isotope" (cf. plus haut), on obtient à la réponse R2, les commentaires suivants des stagiaires :

1	Faux. 92 est le nombre de protons de l'atome d'Uranium. Revoir la signification du nombre de masse.	ANALYSE
2	NON. Il n'y a pas toujours autant de neutrons que de protons dans les noyaux. Ceci n'est pas valable.	
3	NON. On vous demande les nombres de neutrons.	
4	NON. Revoir la définition du numéro atomique.	
5	Vous confondez le nombre de neutrons et le nombre de protons, puisque 13 dans le cas de l'Aluminium est le nombre de protons, que 27 représente le nombre total de neutrons et de protons et donc que le nombre de neutrons dans ce cas là est $27 - 13 = 14$.	
6	N'oubliez pas que le numéro atomique ne correspond qu'à une partie des particules du noyau (proton et neutron).	

progression dans
la rédaction
d'items-
commentaires

Le but est d'analyser ces textes et de donner un classement mettant en tête les versions les plus pertinentes. On remarquera, dans la réponse 5, l'utilisation de l'exemple donné de l'aluminium ce qui permettra d'améliorer les commentaires direct C2 et écho E2.

On peut donner l'exemple des versions successives du même item ; il s'agit ici d'introduire le terme (et la notion) de système optique (item n°5 après examen de "miroir", "faisceaux lumineux").

A	<p>Vous savez renvoyer la lumière du soleil sur un mur à l'aide d'une glace de poche (miroir). Le miroir est un système optique. Chaque fois que vous vous regardez dans une glace, vous utilisez un</p>
B	<p>La personne qui se regarde dans un miroir est un Le miroir renvoie dans une autre direction la lumière venant de cet objet éclairé. Le miroir est un SYSTÈME OPTIQUE.</p>
C	<p>Vous savez renvoyer la lumière du soleil sur un mur à l'aide d'une glace de poche (miroir). Le miroir est un SYSTÈME OPTIQUE. Il modifie la <i>marche</i> des faisceaux lumineux qu'il reçoit. Chaque fois que l'automobiliste regarde dans son rétroviseur il utilise un</p>
D	<p>Vous savez renvoyer la lumière du soleil sur un mur à l'aide d'une glace de poche (miroir). Le miroir est un <i>système optique</i>. Il modifie la direction de chacun des rayons qu'il reçoit. Chaque fois que l'automobiliste regarde dans son rétroviseur, il utilise un</p>

Les quatre versions sont proposées aux stagiaires. On demande l'item qui a été choisi avec justification à l'appui. La réponse à l'item est certes fermée ("système optique" en A, C, D et "objet éclairé" en B) mais l'analyse doit s'exercer avec sagacité à propos des intentions révélées par le texte pour faire les distinctions conduisant au choix demandé : réflexion sur la notion de système optique avec l'exemple du miroir. La notion de modification du trajet des rayons lumineux apparaît centrale et est réinvestie de suite dans le cas du rétroviseur. Ces éléments se précisent bien chronologiquement du premier au quatrième item.

Une autre série d'exercices concerne la formulation des questions. Ainsi, pour chacune des questions ci-dessous à propos de l'oeuf à la coque, le travail consiste à expliciter l'objectif de l'enseignant qui l'a posée :

- 1 - Quel est le temps de cuisson d'un oeuf à la coque ?
- 2 - Pourquoi 3 minutes sont-elles nécessaires pour cuire un oeuf à la coque ?
- 3 - A quel stade de sa cuisson, un oeuf peut-il prendre l'appellation "oeuf à la coque" ?
- 4 - Quand un oeuf à la coque est-il cuit ?
- 5 - Qu'appelle-t-on oeuf à la coque ?
- 6 - Que savez-vous de la cuisson d'un oeuf à la coque ?

la difficulté de
poser des
questions

On imagine les distinctions à faire avant de formuler les objectifs.

Le traitement de l'information sous des formes, des versions différentes, la formulation d'items documentaires, de questions d'apprentissage constituent donc une partie fondamentale du travail pendant la formation.

Dans un dialogue, l'activité visible demandée à l'apprenant (le travail de surface) est en général faible mais l'opération intellectuelle sous-jacente peut être importante, et ne doit pas se limiter à la seule mémorisation. L'utilisation d'une taxonomie des activités intellectuelles permet d'analyser les items et d'avoir présent à l'esprit la nécessité d'aborder des niveaux différents : comprendre, appliquer, analyser, synthétiser, évaluer, pour citer la taxonomie de Bloom ⁽¹²⁾.

L'exemple suivant est destiné, à propos d'un objectif pédagogique, à montrer la diversité des items d'évaluation possibles et de distinguer activités de l'élève et opérations intellectuelles ; celles-ci sont classées selon la taxonomie ci-dessus ⁽¹³⁾.

(voir exemple au verso)

activités
observables de
l'élève et
opérations
intellectuelles

Ce dernier travail paraît fondamental pour l'enrichissement de la rédaction des items et du travail de l'élève, il permet d'analyser les items sous l'angle de la richesse intellectuelle; sur un contenu précis, on peut avoir le même souci d'enrichir les notions de sciences en cause dans l'apprentissage à propos du système optique, du noyau de l'atome ou de la classification périodique des éléments comme on l'a vu.

• Les essais et remanements

de petits carnets
d'essais





Les productions sont d'abord écrites sur de petits carnets qui ne contiennent que les items questions (avec des apports d'informations bien entendu), un item par page et la place nécessaire pour que l'élève écrive sa réponse (éventuellement "la bonne réponse" au verso). Cette version simplifiée est destinée à recueillir des réponses d'élèves afin d'améliorer les items-questions, de construire les commentaires, de les présenter à leur tour aux élèves lors d'un second essai avant de saisir l'ensemble des textes sur l'ordinateur.

Ces allers-retours entre élèves et concepteurs sont des phases très actives et motivantes pour les uns et les autres : elles permettent une évaluation formative qui va de soi dans le déroulement du stage et une prise de conscience progressive des acquis en termes de "contenus scientifiques" (qu'il a fallu fouiller pour les présenter aux élèves), des acquis pédagogiques et didactiques, ainsi que des techniques d'élaboration du dialogue.

... avant
l'utilisation et
l'évaluation sur
l'ordinateur

(12) Benjamin S. Bloom - Taxonomie des objectifs pédagogiques - Domaine cognitif - Education Nouvelle - Montréal.

(13) COLLETTE M. - Opérations intellectuelles, objectifs, évaluation et activités d'élèves - à propos du cours de chimie et du modèle de Bohr - niveau seconde - opuscule non publié.

<p>Objectif 3 : L'élève sera capable de construire le modèle de Bohr de tout atome (on se limitera à $Z < 20$ pour des raisons pratiques) à partir du nom de l'atome, de son numéro atomique (le nombre de masse sera donné s'il y a lieu) ou de retrouver ces données (y compris le nombre de protons, de neutrons, d'électrons, ...) les protons seront représentés par + et les neutrons par N.</p>		
Épreuves	Activités de l'élève (observables)	Opérations intellectuelles présumées
<p>Épreuve 3.1. : voici le schéma d'un atome Son numéro atomique est $Z =$ _____ Son nombre de masse est $M =$ _____ Il y a _____ et _____ dans le _____ de cet atome Il y a _____ sur la couche L. Nom de l'atome : _____</p>	<p>Écrire $Z = 3$ $M = 7$ 3 protons et 4 neutrons noyau 1 électron Lithium</p>	<ul style="list-style-type: none"> - compter le nombre de protons, puis le nombre total de particules du noyau pour écrire Z, M, 3 protons et 4 neutrons (par soustraction). - discriminer les couches L et K, compter le nombre d'électrons sur L. - chercher, en utilisant Z, le nom de l'atome dans la table des atomes. - compréhension. - transposer du schéma à l'écriture.
<p>Épreuve 3.2. : représentez l'atome d'hydrogène :</p>	<p>Dessiner la configuration électronique :</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - chercher "hydrogène" dans la table des atomes pour connaître son numéro atomique Z et son nombre de masse M. Faire ensuite une application du modèle de Bohr. Comprendre le modèle de Bohr.
<p>Épreuve 3.3. : représentez l'atome de chlore :</p> <p>Symbole _____ Numéro atomique : _____ nombre de masse : 35</p>	<p>Dessiner la configuration électronique de l'atome de chlore Cl avec $Z = 17$</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Chercher le mot chlore dans la table des atomes pour avoir son symbole et Z et en déduire le nombre de neutrons (18) dans le noyau. Faire ensuite une application du modèle de Bohr. - comprendre le modèle de Bohr.
<p>Épreuve 3.4. : Représentez l'atome de numéro atomique $Z = 14$ Nombre de neutrons : $N = 14$ nom de l'atome : _____</p>	<p>Dessiner la configuration électronique de l'atome de Silicium</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - chercher le numéro atomique $Z = 14$ dans la table pour écrire Silicium. - faire une application du modèle de Bohr. - connaître des données particulières et comprendre le modèle de Bohr.
<p>Épreuve 3.5. : quel est le nom de l'atome qui possède 27 charges positives ?</p>	<p>Écrire le mot cobalt</p>	<ul style="list-style-type: none"> - chercher le numéro 27 dans la table pour trouver le nom de l'atome correspondant. - connaître des données particulières.
<p>Épreuve 3.6. : représentez l'atome dont la dernière couche électronique occupée M contient 1 électron Nom de l'atome : _____ nombre de neutrons : 12</p>	<p>Dessiner la configuration électronique de l'atome :</p>  <p>et écrire le mot sodium</p>	<ul style="list-style-type: none"> - connaître le nombre maximal d'électrons sur les couches K, L pour faire le schéma (ceci est déjà vrai en 3.3. et 3.4.) et en déduire Z qui, lu dans la table, donnera le nom de l'atome.

Épreuves			Activités de l'élève (observables)	Opérations intellectuelles présupposées																																										
<p>Épreuve 3.7. : complétez la dernière colonne du tableau suivant :</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Nom de l'atome</th> <th>Nombre de masse</th> <th>Nombre de neutrons</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>cuivre</td> <td>65</td> <td></td> </tr> <tr> <td>chlore</td> <td>35</td> <td></td> </tr> <tr> <td>soufre</td> <td>32</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Nom de l'atome	Nombre de masse	Nombre de neutrons	cuivre	65		chlore	35		soufre	32		<p>Écrire les nombres de neutrons</p> <p>36, 18, 16</p>	<p>- lire le numéro atomique de chaque atome et en déduire (par soustraction d'avec le nombre de masse) le nombre de neutrons.</p> <p>- connaître des données particulières.</p>																														
Nom de l'atome	Nombre de masse	Nombre de neutrons																																												
cuivre	65																																													
chlore	35																																													
soufre	32																																													
<p>Épreuve 3.8. : le tableau ci-contre donne le nombre de neutrons N et le nombre de masse M d'un certain nombre de noyaux d'atomes.</p> <p><u>A partir de ce tableau, remplissez celui ci-dessous demandant le nom des atomes ayant des isotopes et le nombre de ceux-ci.</u></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>M</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>14</td><td>27</td></tr> <tr><td>7</td><td>14</td></tr> <tr><td>26</td><td>50</td></tr> <tr><td>28</td><td>54</td></tr> <tr><td>36</td><td>64</td></tr> <tr><td>36</td><td>66</td></tr> <tr><td>28</td><td>52</td></tr> <tr><td>30</td><td>58</td></tr> <tr><td>32</td><td>58</td></tr> <tr><td>34</td><td>64</td></tr> <tr><td>30</td><td>54</td></tr> <tr><td>32</td><td>60</td></tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Noms des atomes ayant des isotopes</th> <th>Nombre d'isotopes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>			N	M	14	27	7	14	26	50	28	54	36	64	36	66	28	52	30	58	32	58	34	64	30	54	32	60	Noms des atomes ayant des isotopes	Nombre d'isotopes															<p>Écrire le nom des atomes :</p> <p>chrome (3)</p> <p>fer (2)</p> <p>nickel (3)</p> <p>zinc (2)</p>	<p>- calculer les numéros atomiques Z ($M - N = Z$).</p> <p>- chercher dans la table le nom de ces atomes et compter le nombre d'isotopes.</p> <p>- connaître des données particulières et comprendre (transposer et interpréter).</p>
N	M																																													
14	27																																													
7	14																																													
26	50																																													
28	54																																													
36	64																																													
36	66																																													
28	52																																													
30	58																																													
32	58																																													
34	64																																													
30	54																																													
32	60																																													
Noms des atomes ayant des isotopes	Nombre d'isotopes																																													

L'ordinateur ne comprend pas à demi-mot : il met en évidence les difficultés de la communication en situation d'apprentissage et oblige les concepteurs à la précision dans la prise en compte de leurs propres logiques, des logiques d'élèves et des contenus, objets des difficultés à surmonter.

2.3. Quelle stratégie et scénario possibles pour la formation ?

La stratégie de formation proposée :

- intègre la construction globale du dialogue et harmonise l'élaboration pédagogique et didactique, l'information technique sur le système auteur et l'adaptation du dialogue à ses contraintes,

- introduit des éléments de régulation, d'évaluation formative,
- suit un modèle en accord avec le modèle de construction du dialogue (cf. plus haut) depuis l'expression des attentes jusqu'à l'évaluation.

Les grandes lignes du dispositif se présentent ainsi :

- 1) Expression des attentes et des représentations des stagiaires par rapport au mot didacticiel (ou qu'est-ce que pour vous un dialogue élève-ordinateur ?).
- 2) Mise en situation d'étude et d'analyse de didacticiels en usage dans les classes. Grille d'analyse.
- 3) Présentation d'un modèle de construction d'un dialogue élève-ordinateur (cf. plus haut).
- 4) Etude de l'information et de son traitement en classe. Elaboration d'items d'apprentissage (questions et commentaires).
- 5) Analyse et trame de déroulement d'un contenu disciplinaire.
- 6) Choix et élaboration d'un projet de mini-dialogue par groupe (à partir des représentations, obstacles d'élèves,...)
- 7) Rédaction d'un "carnet" de quelques items-questions.
- 8) Premier essai dans les classes et améliorations, prise en compte des réponses des élèves pour la rédaction de différents commentaires possibles à un item-question. Re-écriture du carnet.
- 9) Objectifs et évaluation.
- 10) Tâches de l'élève et activités intellectuelles développées à travers les items.
- 11) Questions techniques (mise en page, création de formes, de dessins, utilitaires) concernant le système-auteur.
- 12) Deuxième essai dans les classes - Modifications, améliorations... (cf. ci-dessus).
- 13) Saisie du dialogue à l'ordinateur et essai. Modifications, améliorations...
- 14) Présentation et échange des productions réalisées (mini-dialogues).
- 15) Synthèse concernant l'apprentissage par didacticiels (et la pédagogie différenciée, le travail autonome, l'aide au travail personnel de l'élève...).

Pour ne pas alourdir ce descriptif et dans une perspective de présentation globale, on n'a pas reporté :

- les phases techniques (sauf une) concernant le système auteur,
- les séances de régulation, d'appropriation du savoir et de réinvestissement ultérieur des acquis, dont le rythme est déterminé en accord avec les stagiaires et en fonction de leurs besoins, des difficultés rencontrées, des apports nécessaires. La majeure partie des différents temps de formation figurant dans le tableau a été examinée précédemment (on n'y reviendra pas).

Restent finalement deux moments complémentaires : l'analyse de didacticiels (n°2), et la présentation et l'échange des productions à la fin de la formation (n°15).

vue globale de la formation

• L'analyse de didacticiels

l'étude de didacticiels existants...

Après l'expression de leurs attentes et de leurs représentations, les stagiaires étudient des didacticiels en usage dans l'Education Nationale.

Deux "grilles" d'analyses sont proposées :

- l'une à dominante "caractéristiques formelles" du didacticiel ⁽¹⁴⁾ :

FICHE D'ÉVALUATION DE LOGICIEL	
<p>I - Objectifs annoncés</p> <ul style="list-style-type: none"> • niveau : CP CE CM • discipline : matière • sujet : • notions abordées : • prérequis : • type de logiciel : <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> apprentissage <input type="checkbox"/> simulation <input type="checkbox"/> contrôle des connaissances <input type="checkbox"/> compétition <input type="checkbox"/> individuel • durée d'utilisation : • utilisation du crayon optique <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> choix <p>II - Documentation</p> <ul style="list-style-type: none"> • existence <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non • clarté 1 2 3 4 5 • s'adresse <input type="checkbox"/> à l'enseignant <input type="checkbox"/> à l'enfant • textes • graphisme <p>III - Analyse pédagogique</p> <ul style="list-style-type: none"> • niveau effectif CP CE CM (+ fort) (- faible) • objectif atteint <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> partiellement <input type="checkbox"/> non • possibilité d'autocorrection • temps de réponse imposé • intérêt des enfants 0 1 2 3 4 5 • nécessité-possibilité de plusieurs utilisations <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non • progression <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non • nombre de niveaux 	<p>IV - Technique</p> <ul style="list-style-type: none"> • adaptation possible <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non • impression papier des résultats individuels <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non • autonomie du logiciel/serveur <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non • noms des fichiers annexes <p>V - Analyse des erreurs</p> <ul style="list-style-type: none"> • erreurs décelées • possibilité de corriger avant validation <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non • nombre d'essais accordés : <ul style="list-style-type: none"> • aide <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non • réponse donnée <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <p>Consignes</p> <ul style="list-style-type: none"> • constantes à l'écran <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non • claires <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non • favorisant l'autonomie <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non • astuces trouvées <p>Déroulement</p> <ul style="list-style-type: none"> • autonomie de l'enfant <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non • intervention du maître nécessaire <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non <ul style="list-style-type: none"> si oui lesquelles ? quand ? <p>VI - Évaluation globale du logiciel</p>

... et leur analyse

On remarquera que les paragraphes III et IV posent d'emblée les questions de l'analyse d'erreur, de leur correction et de l'auto-correction, de l'autonomie de l'élève.

(14) Grille d'analyse conçue par des animateurs de réseaux du Loiret. En fait, elle est très formelle et permet, a contrario, de poser les problèmes didactiques d'apprentissage...

- l'autre à dominante didactique ⁽¹⁵⁾ :

Du côté	Du côté du didacticiel
De l'apprenant	<ul style="list-style-type: none"> - favorise-t-il l'autonomie de l'apprenant ? - lui permet-il d'affronter un obstacle ? - quels objectifs l'apprenant est-il censé atteindre (de connaissance, de méthode, de savoir-faire) ? - comment se fait le traitement de l'information : toute prête, à rechercher à l'extérieur, située dans le didacticiel ? - les réponses font-elles appel à des opérations intellectuelles suffisamment variées (de la mémorisation en passant par la compréhension, l'application, l'analyse, la synthèse, la créativité) ? - comment se fait le traitement des réponses (bonne réponse donnée, commentaire d'aide, plusieurs cheminements prévus) ?
Du savoir	<ul style="list-style-type: none"> - quelle est sa structure : chaînage linéaire, serré, ouvert ou ramifié ? - quelle est sa nature (apprentissage, contrôle, réinvestissement d'acquis) ? - est-il pertinent de traiter son contenu sur ordinateur ? - de quelle transposition est-il dépositaire ? - traite-t-il un obstacle d'élève ? - quel modèle opératoire (scientifique ou méthode logique) est présenté ?
De l'enseignant	<ul style="list-style-type: none"> - permet-il à l'enseignant d'avoir un suivi des élèves ? un relevé de leurs réponses (dont difficultés) ? - s'il est modifiable, prévoit-il des moments d'intervention de l'enseignant ? dans le cadre d'une évaluation formative ? - peut-il s'introduire de façon pertinente dans le modèle pédagogique de l'enseignant ? - atteint-il les objectifs prévus ? - permet-il à l'enseignant d'être disponible aux élèves en difficulté ?

proposition de
deux grilles

Cette grille aborde plus précisément les notions d'obstacle, d'autonomie, de transposition didactique, de structure du savoir présenté, de modèle pédagogique, et les aspects : traitement de l'information, chaînage, suivi des élèves (relevé des réponses)...

L'utilisation de ces grilles, en particulier de la seconde, situe le cadre du thème de la formation : elle servira de référence pour la construction des dialogues et, par ses interrogations, montrera l'intérêt d'un système auteur dans le traitement des réponses d'élèves : "le didacticiel permet-il à l'enseignant d'avoir un suivi des réponses d'élèves ? un relevé de leurs réponses ?" Elle permettra ainsi d'assurer une continuité jusqu'à l'évaluation finale.

• La séance de présentation des productions

les productions
de fin de stage

Elle constitue une évaluation très motivante pour les stagiaires et elle donne du sens à leur travail : explicitations des intentions, des difficultés et des réussites, de l'état actuel du dialogue, des acquis de l'ensemble de la formation et des découvertes.

(15) Grille fortement inspirée de travaux de Jacques Toussaint, concepteur à l'INRP.

• Le bilan du stage

la conclusion reprend...

Au long de la stratégie, on remarquera le balancement entre la présentation d'informations et la mise en oeuvre d'activités opératoires et créatives par les stagiaires, de situations de type fermé : étude de didacticiels, de grilles, modèle de construction d'un dialogue, tâches de l'élève et activités intellectuelles, questions techniques... alternant avec des situations de type ouvert : expression des attentes, élaboration d'items, d'un projet, rédaction d'un carnet, essais dans les classes... Certains énoncés tels "l'analyse de contenu" (n°5), "la trame de déroulement", "objectifs et évaluation" (n°9) expriment à la fois l'apport d'information et la mise en oeuvre de celle-ci à propos des sujets choisis par les stagiaires.

... l'ensemble des phases de la formation

En résumé, après avoir fait exprimer attentes et représentations, étudier des didacticiels existants (n°2), les analyses et les constats vont poser question : peut-on construire des didacticiels plus performants ? Proposition est alors faite effectivement d'élaborer un dialogue avec un système auteur (n°3). Les stagiaires abordent parallèlement et simultanément, les aspects techniques et pédagogiques, sous forme d'exercices (en particulier analyse de réponses et commentaires) et d'écriture de carnets d'items, de saisie des dialogues par l'ordinateur, et procèdent à des essais auprès des élèves avant de livrer un produit... relativement fini : celui-ci reste bien souvent en l'état, après le stage, faute de temps pour les enseignants de se réunir et se remettre à un travail de finition. Il n'a pas été possible d'assurer une forme de soutien aux enseignants ou d'entreprendre une étude des apprentissages des élèves utilisant ces productions en classe.

... Jusqu'au bilan des stagiaires

Le bilan du stage permet de mesurer l'évolution des attentes et les réserves des stagiaires par rapport à l'outil présenté, le système-auteur, qui a besoin d'être amélioré pour être rendu plus simple d'emploi et plus pertinent (son apprentissage est resté sommaire. "Qui va utiliser Euridis ?" ajoute un groupe de stagiaires). L'élaboration prend beaucoup de temps, car, de plus, les stagiaires n'arrivent pas à restreindre leurs dialogues à quelques items à approfondir les difficultés d'élèves plutôt que d'écrire, dans la précipitation, nécessairement plus superficiellement (le carnet sur les planètes comporte 17 items, celui sur le courant électrique, 22). Les formateurs malgré leur bonne volonté n'arrivent pas à convaincre les stagiaires du bien-fondé de leur proposition restrictive.

Les participants apprécient :

- la mise en situation, la pédagogie du travail de groupe et de la communication des travaux, la partie concernant l'élaboration des items,
- le choix de rédiger des mini-dialogues à partir de difficultés d'élèves,
- le respect de rythme de chaque groupe,
- le modèle de formation qui fait alterner phases de mises au point et d'expérimentation,

- ce qu'ils appellent la "nouvelle" démarche pédagogique pour la construction des dialogues : en effet, ils font rapidement la transposition avec leurs pratiques habituelles et désormais, dans leurs séquences pédagogiques quotidiennes, se penchent, avec un souci de précision et de communicabilité, sur les représentations, les objectifs pédagogiques, les situations problèmes...

On peut affirmer sans crainte que, d'une part, l'ordinateur obligeant à expliciter l'acte pédagogique dans le détail et, d'autre part, l'expérimentation auprès des élèves qui constitue la sanction du travail des enseignants, permettent à ceux-ci de mieux comprendre pourquoi les élèves ne comprennent pas⁽¹⁶⁾. Il ne suffit pas de faire brûler des matières synthétiques, de les classer en fonction des caractéristiques de la combustion : le dialogue doit faire réfléchir à la démarche suivie c'est-à-dire à l'algorithme qui permet de bâtir l'organigramme et donc faire travailler sur celui-ci.

influence sur la
pratique des
enseignants

De ce fait, l'élaboration d'un dialogue a en premier lieu des retombées dans la pratique quotidienne de l'enseignant... même en l'absence d'utilisation de l'ordinateur.

Cependant, il serait important qu'il en soit de même dans la confection des dialogues et leur utilisation en classe pour le plus grand bien des élèves. Il y faut les possibilités d'un investissement suffisant en temps et en moyens de la part de pédagogues pour travailler en équipe et diffuser les productions.

Ce texte est donc le compte rendu descriptif d'une première expérience de formation d'instituteurs : il cherche à relater la mise en place d'un dispositif de formation et des activités qui y ont été pratiquées.

avoir du temps
pour approfondir
la réflexion

Pour l'avenir, les formateurs misent sur des activités de formation semblables pour préciser leurs hypothèses (cf. paragraphe 1 et 2.1) et mettre en oeuvre des problématiques (bien actuelles) concernant la façon dont les élèves apprennent, leurs chemins d'apprentissage, à partir des observations et des analyses des passations : comment franchir des obstacles ? Comment présenter des situations, des savoirs, des modèles scientifiques avec pertinence ? Comment l'enseignant situe-t-il les apprentissages par mini-dialogues dans son modèle pédagogique ? Comment les introduit-il ?...

le suivi des
apprentissages
sur ordinateur...

Une équipe d'enseignants, comprenant en particulier des instituteurs de S.E.S., a continué à se réunir après le stage pour mettre au point un dialogue concernant la spatialisation des élèves à propos du repérage dans un plan. Les formateurs et les enseignants remarquent que, pour les élèves les plus démunis, les dialogues apportent motivation, envie de réussir et aide,

(16) Allusion à l'introduction de Gaston Bachelard dans "La Formation de l'Esprit Scientifique" - Vrin, 9ème édition, 1975, p. 18.

... permettra de
procéder à des
études précises
pour mieux aider
les élèves à
progresser

et les professeurs
à créer des mini-
dialogues
performants

dans cette activité autonome où l'ordinateur est d'une patience infinie.

Des didacticiels de toute provenance et de toute nature arrivent en force sur le marché de l'éducation et les élèves sont subjugués par l'ordinateur ; il suffit de les observer dans la salle d'informatique ⁽¹⁷⁾ en train de frapper sur le clavier, le regard rivé à l'écran (ils lisent), l'esprit en alerte... Cependant, pour l'enseignant, c'est l'apprentissage des sciences (ou des mathématiques...), pour elles-mêmes, sur l'ordinateur, qui doit être motivant pour l'élève et lui permettre de faire des acquisitions enrichissantes ; c'est la possibilité de suivre cet apprentissage et de l'étudier qui sera la source d'une analyse plus approfondie des difficultés de l'élève, de l'aide à lui apporter, de l'amélioration du didacticiel. Qui connaît mieux que l'enseignant, les difficultés de ses élèves et la nature des apprentissages à leur proposer ?

Il est donc important de changer de perspective grâce à l'apparition de moyens informatiques appropriés et performants, tels les systèmes auteurs, de donner aux enseignants, travaillant en équipe, la possibilité de construire des mini-dialogues à destination de leurs élèves. De plus, la formation à la création de dialogues entraîne une évolution des pratiques quotidiennes et des interrogations pédagogiques et didactiques ; elles pourront s'approfondir et donner des solutions possibles à la différenciation pédagogique, l'aide au travail personnel de l'élève ou à l'assimilation de modèles scientifiques...

Puisse cette utilisation pédagogique de l'ordinateur croître en qualité et en quantité, pour donner des possibilités de réussite supplémentaires aux élèves et aux enseignants.

MICHEL COLLETTE
Ecole Normale du Loiret

(17) Pourquoi faut-il une salle spéciale ? L'ordinateur ne peut-il avoir sa place d'auxiliaire naturel dans la salle de classe ?

BIBLIOGRAPHIE :

ANDRIEUX B., ANXOLABEHERE D., DAUGERAS M., FISZER J., LAUTHIER M., PERIQUET G., *Une expérience d'enseignement de biologie assisté par ordinateur à la Faculté des Sciences de Paris*, Enseignement programmé, Edition Dunod-Hachette n° 8, 1969, pp. 21-45.

ASTOLFI J.P., "Les recherches en didactique des sciences expérimentales à l'Institut National de la Recherche Pédagogique", in *Annales de Didactique des Sciences n°1*, Publications de l'Université de Rouen n°112, 1985, p. 95.

BARON G.L., "L'informatique en éducation", *Revue Française de Pédagogie n° 92* - Juillet, août, septembre 1990. pp. 57-77. (On trouvera à la fin de l'article une abondante bibliographie sur la question traitée).

BARON M., "Quelques problèmes de non monotonie en enseignement intelligemment assisté par ordinateur, in *Congrès européen "Intelligence artificielle et formation", 1er, Lille, France*, 1988. Actes. Lille, France, Centre régional de documentation pédagogique, 1988, pp. 143-155.

BEAUFILS D., DUREY A., JOURNEAUX R., "L'ordinateur en sciences physiques : quelles simulations ?" in *Actes des 9èmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique de Chamonix*, Paris, Université Paris VII, 1987, pp. 320-327.

BEAUFILS D., DUREY A., JOURNEAUX R., "La simulation sur ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques, quelques aspects didactiques", in *Actes des 9èmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique de Chamonix*, Paris, Université Paris VII, 1987, p. 507.

BEAUFILS D., DUREY A., JOURNEAUX R., "L'ordinateur en sciences physiques", in *Feuilles d'Epistémologie appliquée et de Didactique des Sciences*, à paraître.

BEAUFILS D., SALAME N., "Quelles activités expérimentales avec les ordinateurs dans l'enseignement des sciences ?", *Aster n° 8*, INRP, 1989, p. 55-79.

BEAUFILS D., "Conception de manipulations de physique avec ordinateur, approfondissement d'une expérimentation", in *Actes des 10èmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique de Chamonix*, Paris, Université Paris VII, 1988, pp. 379-386.

"Bilan et perspectives de dix années d'utilisation de l'informatique pédagogique au C.U.E.P.P". in *Les Cahiers d'études du C.U.E.P.P.*, n° 6 - Université des Sciences et des Techniques de Lille, janvier 1986.

BERGOMI N., VEGNI G., "L'ordinateur dans la didactique de la physique moderne", in *Actes des 11èmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique de Chamonix*, 1989, pp. 439-445.

- BESNAINOU Ruth, MULLER C., THOUIN C., *Concevoir et utiliser un didacticiel, guide pratique, manuel pour les concepteurs et les utilisateurs de didacticiels*, les éditions d'organisation, 1988.
- BLONDEL F.M., SCHWOB M., "Etude des utilisations de l'informatique dans l'enseignement de la physique des lycées", *Revue Française de Pédagogie*, n° 72, juillet, août, septembre 1986, pp. 5-12.
- BOULLE F., *L'informatique, l'enfant, l'école*, Armand Colin-Bourrelier, 1988, p. 203.
- CHAUVET S., "Typologie des didacticiels", *Formation et prospective*, n°2, 1987, pp. 19-21.
- CHEVALLARD Y., *La transposition didactique du savoir savant au savoir enseigné*, La pensée sauvage, Grenoble, 1985, 126 pages.
- CRAHAY M., "Logo, un environnement propice à la pensée procédurale", *Revue Française de Pédagogie*, n° 80, juillet-août-septembre 1987, pp. 37-56.
- DEMAIZIERE F., *Enseignement assisté par ordinateur*, Ed. Ophrys, 1986.
- DEPOVER C., "L'ordinateur média d'enseignement : un cadre conceptuel", *Culture Technique* n° 20, p. 86.
- DUFOYER J.P., *Informatique, éducation et psychologie de l'enfant*, PUF, Le Psychologue, Paris, 1988, p. 233.
- DUREY A., *Vers des activités didactiques de mise au point de modèles de physique avec des micro-ordinateurs. Exemples : trajectoires, frappés et rebonds de balles en rotation*, Thèse, Université Paris VII, 1987.
- DUREY A., "La notion de modèle en physique, la modélisation et son apprentissage", in *Actes des 6èmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique de Chamonix*, Paris, Université Paris VII, 1984, pp. 487-492.
- DUREY A., "Modèles en physique", in *Actes des 9èmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique de Chamonix*, Paris, Université Paris VII, 1987.
- DUREY A., SCHWOB M., *Les utilisations du micro en Informatique*, n° 20, mars-avril 1984, pp. 33-38.
- FERRY G., *Le trajet de la formation, les enseignants entre la théorie et la pratique*, Dunod, Paris, 1983.
- FIRPO J.L., NEEL P., BOYER L., "Manipulations assistées par ordinateur", in *Actes des 11èmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique de Chamonix*, Paris, Université Paris VII, 1989, pp. 165-169.

FISZER F., "Elaboration de didacticiels : étapes, problèmes, difficultés", *Bulletin enseignement public et informatique*, n° 39, 1985, pp. 90-103.

HERMANT C., *Enseigner, Apprendre avec l'ordinateur*, Cedic-Nathan, 1985.

JOBERT G., "Pour une approche sociologique de l'utilisation de l'EAO en formation professionnelle", *Formation et prospective*, n° 2, 1987, pp. 22-25.

JOBERT G., PERRIAULT J., "L'enseignement assisté par ordinateur", in *Education permanente n°70 - 71*, décembre 1983.

LAFOND G., LOPATA G., "Informatique et enseignement", *Les Cahiers rationnalistes*, n° 351, 1979, pp. 238-253.

LANDSHEERE G. de , "Formation des enseignants à l'E.A.O. : vers un contrôle de qualité des didacticiels" - *Education permanente n° 70-71*, Paris, 1983, pp. 73-82.

LEFEVRE J.M., *Guide pratique de l'enseignement assisté par ordinateur*, Cedic-Nathan, 1984.

LESNE M., *Travail pédagogique et formation d'adultes, éléments d'analyse*, P.U.F., 1977.

L'informatique à l'école, Association Enseignement public et informatique, Paris, 1984, p. 224, 1.

MARTINAND J.L., "Quelques remarques sur les didactiques des disciplines", *Les sciences de l'éducation*, n° 2, 1987, pp. 23-24.

NAU J., "Intégration de l'EAO dans une politique de formation", *Le journal de la Formation Continue et de l'EAO*, n° 216, 1987, pp. 8-13.

OCDE, CERI, *Technologies de l'information et l'éducation ; choisir les bons logiciels*, OCDE, Paris, 1989, p. 137.

Ordinateurs en physique et chimie ou comment s'en servir dans l'enseignement, INRP - U.D.P, 1985, 248 pages.

PAIR C., *Apport de l'informatique pour remédier aux difficultés scolaires*, compte rendu de fin de recherche, Centre de recherche en informatique de Nancy, CNAM, INETOP, juin 1988, p. 33.

PAPERT S., *Jaillissements de l'esprit, ordinateurs et apprentissages*, Flammarion, Paris 1981, p. 298.

PICARD M., BRAUN G., *Les logiciels éducatifs*, Paris, Presses universitaires de France, 1987, p. 127.

RICHE N., "La simulation dans l'apprentissage", in *Actes des 9èmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique de Chamonix*, Paris, Université Paris VII, 1987, pp. 639-644.

ROMAINVILLE M., "Une analyse critique de l'initiation à l'informatique - Quels apprentissages et quels transferts ?", in *Actes du premier colloque francophone sur la didactique de l'informatique*, Paris 1988, dossier Enseignement Public et Informatique, Paris 1989, pp. 223-242.

TATIN J., "Réflexions sur sept ans d'enseignement assisté par ordinateur (E.A.O.)", *Revue Française de Pédagogie*, 2ème trimestre 1985.

TATIN J., *Un exemple d'utilisation du micro-ordinateur dans un enseignement de Biochimie : étude comparée de deux systèmes analytiques complexes*, Thèse de 3e cycle en didactique des Sciences à Paris VII.

TATIN J., "Communication sur l'EAO", in *Actes des 4èmes Journées Internationales de l'Education Scientifique sur Chamonix*, Paris, Université Paris VII, 1982.

TATIN J., "Communication sur la modélisation" in *Actes des 9èmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique de Chamonix*, Paris, Université Paris VII, 1987.

TATIN J., "Modélisation et enseignement assisté par ordinateur", *Bulletin enseignement public et informatique*, n° 48, 1987, pp. 102-106.

Union des Physiciens - INRP, *Actes des Journées Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques, 1984-86-88*, INRP, Paris, 1984-86-88.

WINTHER J., DUREY A., "Mise au point d'outils informatiques pour la modélisation de données expérimentales en électricité dans le second cycle des lycées", in *Actes des 11èmes Journées Internationales sur l'Education Scientifique de Chamonix*, 1989, pp. 433-437.

TRANSPPOSITION DU CONCEPT D'HÉTÉROSI DU MAIS AUX PROFESSIONNELS AGRICOLES

Analyse lexicale et phrasique

Patricia Marzin

La recherche qui est présentée ici a été menée en mémoire de DEA de didactique des disciplines scientifiques à Lyon 1.

Nous avons effectué une analyse linguistique de textes de professionnels du milieu agricole. Par ce travail nous voulons analyser la transposition didactique d'un savoir biologique, agronomique dans le cadre non formel de l'information professionnelle, les transformations que ce savoir subit et le type d'information qui parvient aux agriculteurs.

1. INTRODUCTION

La recherche que nous présentons ici a pour thème l'analyse de textes de vulgarisation scientifique en milieu agricole. Quelles sont les transformations linguistiques que subit le concept d'hétérosis, qui est un concept de génétique, en fonction du support écrit où il est publié ? Quels sont les facteurs de cette transformation ? Voilà les questions qui ont servi de fil conducteur à notre recherche. Nous nous sommes uniquement intéressés à l'information écrite, c'est-à-dire les livres, les revues, les brochures ... Un échantillon de l'information de vulgarisation scientifique qui peut passer entre les mains d'un agriculteur, d'un technicien agricole, d'un ingénieur agronome.

une analyse de la
transposition
didactique en
milieu agricole...

Notre hypothèse est double : nous sommes parti des travaux de Daniel Jacobi et de Yves Chevallard. Selon Yves Chevallard, dans le milieu qu'il a étudié, c'est-à-dire le milieu scolaire, lors du passage du savoir savant au savoir enseigné il se produit une transformation de ce qu'il a appelé le cœur du concept, il y a une rupture du sens du concept. Au contraire Daniel Jacobi montre que le savoir vulgarisé, et non enseigné, subit des transformations notamment dans le métalangage ; il dit : "on observe une série de glissements de sens, de transformations par légères touches, les unes anodines les autres plus drastiques, qui petit à petit à partir du noyau référentiel, conduisent à conférer une forme nouvelle" (Jacobi D., 1987a, p. 111), mais le sens du concept est conservé.

Au plan méthodologique nous avons effectué une analyse linguistique de différents textes en nous appuyant sur les

travaux que Daniel Jacobi (Jacobi D., 1987) a effectués à propos de la vulgarisation scientifique. Nous voulons déterminer les caractéristiques du discours de vulgarisation scientifique en milieu professionnel agricole. En quoi la pratique intervient-elle dans la mise en texte du savoir savant et dans sa transformation ?

Selon Yves Chevallard, pour le didacticien la transposition didactique est "un outil qui permet de prendre du recul, d'interroger les évidences, d'éroder les idées simples, de se déprendre de la familiarité trompeuse de son objet d'étude" (Chevallard Y., 1985, p. 13). A l'aide de cet outil nous voulons étudier le fonctionnement du savoir à l'intérieur d'un corps de métier : l'agriculture. C'est-à-dire qui transmet le savoir, qui le diffuse, sous quel forme, quel est le type de savoir transmis à quel public.

par l'analyse de
textes
d'information
scientifique et
technique
"agricole"

Nous nous sommes aussi référés aux travaux de Jean-Pierre Darré (Darré J. P., 1985) pour sa recherche sur l'univers de pensée d'un groupe d'agriculteurs, et de Alain Jeantet et Henri Tiger (Jeantet A. et Tiger H., 1988) pour leur étude sur l'acquisition des connaissances des ouvriers et les savoirs en jeu dans leur pratique professionnelle. Notre recherche se situe dans le cadre, peu étudié en didactique des sciences expérimentales, de l'éducation non formelle.

Selon Jean-Louis Martinand (Martinand J. L., 1987) il existe en physique un autre savoir que l'on peut appeler savoir professionnel, qui fait appel à des pratiques professionnelles, à des savoir-faire, qui prennent leur source chez les chercheurs, l'ingénierie, la production.

Cette recherche se situe dans le cadre de la didactique, puisque nous nous intéressons à la vulgarisation d'un savoir biologique, mais elle ne peut se passer d'une réflexion sociologique. Car en milieu agricole, comme pour beaucoup de milieux professionnels, le savoir n'existe pas "pour rien", mais il est fortement relié à une pratique, à une tâche à faire, à une rentabilité à atteindre comme l'a montré Jean-Pierre Darré.

2. L'ANALYSE FORMELLE COMME OUTIL D'ANALYSE DU FONCTIONNEMENT DU SAVOIR

Nous avons effectué une analyse linguistique de notre corpus, en utilisant l'analyse formelle (Jacobi D, 1987 b) dont l'idée de départ est qu'à partir des formes de la communication, on peut rendre compte de tout le fonctionnement d'une situation de communication. Il s'agit d'analyser le lexique utilisé. On utilise pour cette étude le même noyau référentiel : le concept d'hétérosis chez le maïs. Nous effectuons une analyse lexicale, sémantique, du cœur du concept (au sens de Yves Chevallard, c'est-à-dire le sens et la fonction que donne son auteur à un concept). Par exemple dans "la transposition didactique" Yves Chevallard a

montré que, en mathématiques, si le mot "distance" a été conservé lors du processus de transposition didactique, le sens et la fonction que lui avait donnés les mathématiciens avaient été dénaturés. L'usage qui était fait du concept après sa transposition n'était plus du tout le même que celui prêté par les auteurs.

2.1. Le savoir savant de référence

le savoir savant :
le concept
d'hétérosis du
maïs

Nous avons pris notre savoir savant de référence dans l'ouvrage de Yves Demarly. *"L'hétérosis résulte d'une hybridation (ou méliage) entre deux parents homozygotes (possédant des caractères génétiques commandés par deux paires d'allèles identiques) obtenus par autofécondations successives, l'organisme hétérozygote résultant de ce croisement est uniforme comme ses parents mais il est très vigoureux et très productif. Plus les caractères génétiques des parents sont de nature différente et plus le phénomène d'hétérosis sera fort."* A propos du concept d'hétérosis, l'auteur cite le généticien Schull. *"Je suggère que ce soit l'interprétation de l'accroissement de vigueur, de taille, de fertilité, de vitesse de croissance, de résistance aux maladies et aux insectes ou accidents climatiques de tous ordres, manifesté par les organismes croisés par rapport aux lignées inbred correspondantes, et résultant spécifiquement d'une différence de constitution des gamètes parentaux qui s'unissent."*

Puis il complète cette citation à propos de l'hétérozygotie, de la vigueur hybride, c'est-à-dire des effets de l'hétérosis : *"L'hétérosis qui résulte de l'hybridation est d'autant meilleure que les lignées comprendront, dans leur linkats homologues, des séquences d'allèles de nature différente."* (Demarly Y., 1977).

A propos de la vigueur hybride l'auteur dit ceci : *" Cette diminution de vigueur dans l'inbreeding, et l'accroissement correspondant dans l'hétérosis, ont ceci de particulier qu'ils concernent l'ensemble des caractères d'un végétal : poids de matière sèche, poids de graines, vitesse de croissance, résistance aux parasites et aux accidents climatiques, etc... et affectent les divers organes (racines, tiges, feuilles, épis). Autrement dit, la plante a un niveau général de métabolisme conditionné par sa structure plus ou moins hétérozygote."* (ibid., p. 44).

Les termes pivots (qui vont nous servir de marqueur) utilisés par l'auteur sont les suivants :

hétérosis	lignée
allèle	croisé
inbred (inbreeding, consanguins)	hétérozygotie
hybride (hybridation)	vigueur hybride
linkats	gamète

Nous avons retenus ces termes dans notre analyse lexicale.

2.2. Les textes du corpus

1 - GAY J. P., Fabuleux maïs, histoire et avenir d'une plante, AGPM <i>public varié</i>
2 - Encyclopédie pratique du maïs, GAY J.P., AGPM <i>public varié et étendu</i>
3 - DUPONT P., <i>Les semences de maïs : public : agriculteurs et techniciens agricoles</i>
4 - Les cahiers techniques France Maïs, N°2 <i>public : agriculteurs et techniciens agricoles</i>
5 - MAISCOPE, Guide technique 87, <i>public : agriculteurs</i>
6 - RIVES M., L'amélioration des plantes, La recherche N°155 <i>public ayant une culture scientifique</i>
7 - GAY J. P., <i>Le Maïs, La Recherche N°187, public ayant une culture scientifique</i>
8 - RIVES M., Sélection : technique, objectifs et perspectives, Cultivar, <i>public : milieu agricole</i>
9 - LAFFONT C., Production des semences : technique et économie, Cultivar, <i>public : milieu agricole</i>
10 - VINCENT M. H., quand 1 + 1 = 3 !, Entreprises agricole N°187 <i>public : agriculteurs</i>
11 - TALLON P., Amélioration du maïs : le classicisme performant <i>public : milieu agricole</i>
12 - Coopérative agricole dauphinoise, 1983, Informations maïs récolte 1982 - semis 1983, <i>public : agriculteurs et techniciens agricoles</i>

Les références précises des textes analysés figurent en fin d'article.

Nous avons sélectionné ces textes de façon à avoir un échantillon des différents supports d'information dont disposent les agriculteurs, les techniciens agricoles, les agronomes et les chercheurs. Certaines revues touchent un large public, varié, d'autres sont plus ciblées.

En plus de la variable support d'information nous avons introduit dans notre corpus des articles provenant du même auteur mais touchant un public différent, afin de vérifier les changements existants en fonction du support utilisé.

Dans ce corpus on distingue les textes provenant des revues scientifiques (6, 7), qui devraient être proches du "savoir savant" ; des revues de vulgarisation (8, 9, 10, 11) ; des firmes semencières ou des groupes de producteurs destinés à un large public (1, 2, 3, 4), ou à un public d'agriculteurs (5, 12).

2.3. Analyse lexicale

On relève les termes pivots utilisés dans chacun des textes du corpus. A partir de ces données on cherche les reformulations éventuelles, on analyse le lexique utilisé pour chaque texte. On

entend par *reformulation* la traduction en *langage commun* d'un terme scientifique. Par exemple fils ou fille à la place de génération F1.

- Termes pivots

On constate que trois termes pivots du texte de référence ne sont pas réemployés dans les textes du corpus. Ces termes pivots sont **allèle**, **gamète** et **linkat**. **Hétérozygotie** est employé une seule fois dans le texte 1. Les termes pivots que l'on retrouve dans le plus grand nombre de textes sont **hétérosis** (dans 9 textes sur 12), **croisé** (dans 8 textes sur 12), et **hybride** (dans 8 textes sur 12). Tous les textes utilisent des termes scientifiques spécifiques autres que les termes pivots. Certains textes n'utilisent aucun des termes pivots du texte de référence. Il s'agit des textes 5 et 12. Les textes qui utilisent la plus grande variété de termes pivots sont les textes 1, 6, 8, 10.

respect du
vocabulaire
scientifique
"savant"

On remarque une utilisation importante de termes biologiques, aussi bien des termes pivots que d'autres termes scientifiques. Les deux textes où l'on note l'absence de termes pivots sont du même type, c'est-à-dire des revues techniques destinées aux agriculteurs. Le résultat montre un certain respect de la définition référence car les auteurs changent très peu le vocabulaire technique, presque la majorité des termes pivots est présente dans ces textes. Des changements sont effectués dans quelques cas précis, c'est ce que nous allons voir dans le résultat des reformulations.

- Reformulations et termes ajoutés

Nous avons observé quatre grands types de reformulation. La reformulation du terme pivot **allèle**, reformulé par **origine génétique**, **constitution génétique**, **origine**, **famille**, **parents**, **plante**. Une deuxième reformulation à propos de la plante. Les termes **matière sèche** et **poids de graine** sont reformulés par **organe**, **récolte**, **végétatif**, **gabarit**, **plante**. La troisième reformulation concerne le mécanisme de l'hétérosis. La quatrième concerne la croissance de la plante.

Les termes ajoutés sont analysés dans l'étude des champs sémantiques. Nous pouvons dire que ces termes ne sont pas du domaine biologique ni agricole.

Reformulation d'allèle

mais d'autres
termes non
scientifiques sont
aussi présents

Il existe deux niveaux de reformulation. Les reformulations qui emploient le terme "génétique" (d'origine génétique, éloignement génétique). Cette utilisation massive du terme "génétique" est peut-être liée à un phénomène de mode. En effet on entend beaucoup parler dans les journaux de manipulations génétiques, de code génétique. En biologie le génie génétique constitue la recherche de pointe. L'utilisation de ce terme donne à l'article une image sérieuse, scientifique. Le terme "génétique" est en quelque sorte un symbole scientifique utilisé à des fins publicitaires, ce sont les textes 1, 2, 3, 4, 8, 10. Il s'agit de publications très variées. .

le public visé a
une influence sur
le type de
vocabulaire utilisé

Le deuxième niveau est celui où **allèle** est reformulé par famille, parent, plante. Ces termes sont très généraux. Ici le terme gène n'apparaît plus explicitement, mais il est suggéré. Le deuxième groupe est plus homogène car il s'agit de deux journaux agricoles : les textes 9 et 11.

Enfin le troisième groupe est constitué par les textes où il n'y a pas de reformulation.

Reformulation de " matière sèche et poids de graine "

On retrouve ici aussi deux niveaux de reformulation. Un premier niveau est constitué par une reformulation plus générale que matière sèche et graine, qui est organe (1, 2). Et un deuxième niveau où les termes employés sont encore plus généraux : développement végétatif, récolte, plante (1, 3, 5, 10). Le troisième groupe est celui où il n'y a pas de reformulation.

Reformulation à propos du mécanisme en cause

On retrouve trois fois stimulation physiologique (textes 1, 2, 7), il s'agit bien entendu du même auteur.

Si l'on compare les deux premiers types de reformulation, il apparaît qu'il n'existe pas de termes communs entre les différents niveaux de reformulation, sauf pour les textes 1 et 2 écrits par le même auteur.

• Termes biologiques et reformulations

Le tableau n°1 donne le nombre et le pourcentage des termes biologiques et des reformulations.

Les textes utilisant le plus d'occurrences biologiques sont les textes 8, 6, 4, 10. Les textes 6 et 8 sont écrits par le même auteur. Les textes utilisant le moins de termes biologiques sont les textes 5 et 12. Ces deux textes sont aussi ceux qui n'utilisent aucun terme pivot. Nous les avons caractérisés plus haut. Le rapport $X1/X2$ exprime la quantité de lexies biologiques utilisées par rapport aux reformulations et aux termes ajoutés ($X2 = \text{reformulations} + \text{termes ajoutés}$). On observe que ce rapport est très élevé dans les textes 6 et 8, qu'il est très bas dans les textes 5, 9, 10, 11, 12, et qu'il est très au-dessus de 1 dans les textes 1, 3, 4, 7, 10.

Le vocabulaire employé change en fonction du public visé : opposition 6-8 / 5-12. Il semble que dans ces textes le contenu scientifique, explicatif du concept, soit peu différent du texte de référence. Nous le vérifierons dans la troisième partie de notre analyse.

• Conclusion

Cette analyse des termes pivots et de leurs reformulations a mis en évidence une utilisation importante de termes biologiques, et de la majorité des termes pivots ainsi que la présence de termes biologiques autres que les termes pivots, et d'autres termes non biologiques. Ces lexies seront analysées plus loin car cette analyse ne permet pas de les identifier.

TERMES BIOLOGIQUES ET REFORMULATIONS

Tableau n°1

		nombre total de mots	termes biologiques lexies (X1)		reformulations lexies (X2)		X1/X2
			nbre	%	nbre	%	
Fabuleux maïs	1	100	11	11	5	5	2,2
Encyclopédie pratique	2	69	10	14	5	7	2
Semences de maïs	3	72	9	12	8	11	1,09
Cahiers techniques	4	93	14	15	12	13	1,15
Maïscope	5	39	2	5	5	13	0,38
La Recherche M. Rives	6	92	15	16	5	5	3,2
La Recherche J.P. Gay	7	50	3	6	4	8	0,75
Cultivar M. Rives	8	82	16	19	6	7	2,7
Cultivar C. Laffont	9	55	6	11	7	13	0,85
Entr.agricoles M.H. Vincent	10	92	12	13	9	10	1,3
France agricole	11	103	13	13	12	12	1,08
Coopérative agr.dauph.	12	47	4	8	3	6	0,75

Les résultats sont donnés en nombre et en pourcentage d'occurrences.

POURCENTAGE D'OCCURRENCES PAR CHAMPS SEMANTIQUES
Tableau n°2

	Biologique						autres	agricole	économique	publicitaire	anthropo- morphique	autres
	génétique	agronomique	autres	agricole	économique	publicitaire						
Fabuleux maïs 1	50	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	-	-	-	25
Encyclopédie pratique 2	20	7	14	14	14	14	13	7	-	7	7	32
Semences de maïs 3	31	-	13	13	13	13	6	25	13	-	-	12
Cahiers techniques 4	41	7	-	-	-	-	15	7	15	11	11	18
Maiscope 5	-	28	-	-	-	-	43	-	14,5	14,5	14,5	-
La Recherche M. Rives 6	75	-	-	-	-	-	5	10	-	5	5	5
La Recherche J.P. Gay 7	29	-	14	14	14	14	14	14	-	29	29	-
Cultivar M. Rives 8	68	-	-	-	-	-	4,5	4,5	-	4,5	4,5	18,5
Cultivar C. Laffont 9	23	8	-	-	-	-	8	15	-	31	31	15
Entr.agricoles M.H. Vincent 10	33	14	-	-	-	-	19	5	-	19	19	10
France agricole 11	32	20	-	-	-	-	12	12	4	4	4	16
Coopérative agr.dauph. 12	14	14	14	14	14	14	14	14	-	-	-	30

Les chiffres indiquent le pourcentage d'occurrences par rapport au nombre total de termes sélectionnés.

Nous avons montré deux niveaux de reformulations : un niveau où le vocabulaire biologique est présent; un autre où les termes employés sont très généraux, et appartiennent au langage courant.

Il faut compléter cette analyse lexicale par une analyse phrasique, c'est-à-dire l'analyse de la structure de la phrase, et une analyse à propos du sens du concept d'hétérosis.

2.4. Analyse des champs sémantiques

Pour chaque texte nous relevons les principaux champs sémantiques que nous avons déterminés au départ, c'est-à-dire que nous "regroupons" des termes en fonction de leur sens, présents dans le cotexte (texte qui se trouve autour du terme pivot) du concept d'hétérosis et nous avons compté le nombre d'occurrences par champ sémantique. Puis nous évaluons quantitativement par texte, l'importance de chacun des champs sémantiques. (Tableau n°2)

- Analyse par champ sémantique

Génétique

On constate de grandes variations dans le champ sémantique génétique. Le pourcentage de termes génétiques employés varie de 14 à 72 %. Les textes 6, 8 et 11 sont ceux qui emploient la plus grande proportion de termes génétiques. Les autres textes ont tous la même proportion de termes génétiques sauf le 12.

Agronomique

Le champ sémantique agronomique est important dans les textes 5, 10, 11 et 12. Ces textes s'adressent directement aux agriculteurs. Il s'agit de journaux agricoles, d'un document publié par la Coopérative Agricole Dauphinoise, qui est une présentation des nouvelles variétés (catalogue).

Agricole

Tous les textes du corpus emploient des lexies appartenant au champ sémantique agricole. Le texte 5 possède un pourcentage très fort. Les autres textes ont un pourcentage équivalent autour de 10 %. On remarque que les textes ayant un important champ sémantique agronomique ont aussi un champ sémantique agricole important.

Economique

Tous les textes sauf le 5 utilisent des termes économiques. C'est le texte 3 qui détient le plus fort pourcentage de termes économiques. Il n'existe pas de différences significatives entre les autres textes, ils se situent tous autour de 10 %.

Publicitaire

Il y a un champ sémantique publicitaire dans les textes 3, 4, 5 et 11. Les publications 3, 4, et 5 sont produites par des firmes dont la finalité est le commerce des semences de maïs. Le texte 11 est publié par un journal agricole. En dehors de ces deux groupes de textes, les autres n'utilisent pas de termes appartenant au champ sémantique publicitaire.

Anthropomorphique

Les lexies employées sont anthropomorphiques, on trouve les termes parents, mâle, femelle, famille... Les termes anthropomorphiques sont souvent utilisés dans les textes de vulgarisation. Les textes 7, 9 et 10 utilisent beaucoup de termes anthropomorphiques.

Autres

On trouve dans cette rubrique beaucoup de termes imprécis. Ce sont des termes du langage courant, employés par l'auteur, à la place d'un terme biologique ou d'une paraphrase explicative. On trouve par exemple : différents, dépasse, chance...

de la publicité
dans les textes
savants

- Analyse par texte

Voici ce que produit l'analyse du champ sémantique pour le texte 1.

TEXTE 1

Génétique	hétérosis (2), croisé, lignée, croisement, génération, F1, hétérozygotie
Agronomique	vigueur hybride
Biologique	physiologique, origine
Agricole	récolte
Economique	
Publicitaire	luxuriance
Anthropomorphique	
Autres	dimension, nombre, différente

On remarque une grande utilisation des termes appartenant au champ sémantique génétique et l'absence du champ sémantique publicitaire et psychologique. Les autres champs sémantiques sont présents dans des proportions comparables.

- Conclusion

Le champ sémantique génétique est le plus représenté, globalement mais aussi dans chaque texte du corpus, sauf le 5. Dans notre corpus les auteurs emploient un vocabulaire scientifique spécialisé à tous les niveaux de la transmission du savoir. En général dans les revues agricoles la part des termes scientifiques spécialisés est plus faible que dans "La Recherche" ou "Fabuleux maïs". Mais le texte 7, qui est un article publié dans "La Recherche" possède peu de lexies biologiques spécialisées. L'auteur semble jouer un rôle important car les résultats des textes 6 et 8 (du même auteur) sont très ressemblants, et les textes 6, 7 et 8, 9 (même revue mais auteurs

mais aussi de
l'économie et de
l'anthropomorphisme

différents) sont très dissemblables concernant les champs sémantiques utilisés.

Le champ sémantique publicitaire est présent dans trois publications qui sont émises par des firmes semencières. Il est absent dans les autres publications exceptée la 11. Les champs sémantiques agronomique et agricole sont importants dans les publications s'adressant directement aux agriculteurs : 5, 10, 11 et 12. Il existe des ressemblances entre les différents types de revues (produites par les firmes, journaux agricoles, revues techniques).

la science utilisée
comme
argument de
vente...

Dans les textes publiés par les firmes, la science et ses progrès sont utilisés comme argument de vente. En effet nos résultats montrent l'existence de champs sémantiques publicitaires et économiques dans le cotexte des termes pivots comme : "le sélectionneur recherche l'hétérosis maximum pour offrir une gamme complète d'hybrides productifs et adaptés à vos besoins." (Texte 4) Ici l'auteur s'adresse directement aux agriculteurs par le biais des semences hybrides. L'utilisation du terme "offrir" présente le fruit du travail de la sélection comme un cadeau porté à l'agriculteur par la firme.

Cette analyse fait apparaître des champs sémantiques publicitaire, économique et agricole dans le cotexte du concept d'hétérosis. Les champs varient en fonction de l'organisme qui publie l'article. Malgré l'apparition de ces champs sémantiques, on remarque que le champ sémantique biologique et le champ sémantique génétique en particulier, sont présents dans tous les textes et en quantité importante. *Le texte du savoir est "habillé"*, et certain termes biologiques sont remplacés par des expressions du langage commun ou anthropomorphique, mais un nombre important de termes biologiques spécialisés sont employés par les auteurs. Ces termes sont en nombre moins important dans les revues agricoles (9, 10, 11) que dans les revues scientifiques, et on en trouve très peu dans les publications techniques destinées directement aux agriculteurs (5 et 12).

2.5. Le sens du concept

Le but de cette analyse est de vérifier si le sens du concept est conservé dans les différents publications destinées aux professionnels de l'agriculture.

Nous avons pris comme définition de référence du concept d'hétérosis la définition de Yves Demarly citant Schull.

Nous analyserons pour chaque texte la définition donnée pour expliquer le concept et nous vérifierons si le sens global du concept donné par Demarly est respecté.

c'est aussi vrai
dans le domaine
agricole

Le tableau 3 indique la répartition des trois parties du concept : effets, mécanismes, cause. Les résultats sont donnés en pourcentage d'occurrences.

ANALYSE DU COEUR DU CONCEPT
Tableau n°3

		effets	cause	mécanismes	autres
Fabuleux maïs	1	32	20	4	44
Encyclopédie pratique	2	23	9	19	49
Semences de maïs	3	19	7	11	62
Cahiers techniques	4	15	6	15	63
Maïscope	5	-	-	-	-
La Recherche M. Rives	6	4	5	-	90
La Recherche J.P. Gay	7	-	-	-	-
Cultivar M. Rives	8	26	14	17	43
Cultivar C. Laffont	9	33	33	-	34
Entr.agricoles M.H. Vincent	10	10	10	16	64
France agricole	11	26	7	22	44
Schull (texte référence)		41	16	22	21

Les résultats sont donnés en pourcentage d'occurrences.

• Interprétation

Concernant le cœur du concept on remarque que dans tous les textes (sauf 5, 6, 7 et 9), les trois parties effets, cause, mécanismes sont présentes. Les faibles résultats observés dans les textes de " La Recherche " sont dus à la méthode qui consiste à analyser une partie de texte. Le texte 7 traite en détail les mécanismes de l'hétérosis dans une autre partie de l'article. Le texte 6 traite très rapidement du concept d'hétérosis car ce n'est pas le sujet de l'article. Nous pouvons donc dire que dans la majorité des textes le sens du concept est conservé par rapport à la formule initiale de Schull. Concernant la répartition des trois parties on remarque que les effets occupent une place plus importante (en pourcentage) que la cause et les mécanismes, sauf dans le texte 10. Il existe pourtant une rupture concernant le sens du cœur du concept. Dans les textes 5 et 12 le concept n'est pas expliqué. Dans notre corpus soit le concept est présent, et dans ce cas le sens est correct, soit il est absent.

il s'agit bien de transposition didactique : le savoir est décontextualisé et dogmatisé

Le texte de référence est général, théorique, s'appliquant à la plante dans son ensemble et à toutes les espèces. Les textes de vulgarisation que nous avons étudiés sont appliqués à un savoir-faire, à une pratique. Dans de nombreux textes les auteurs s'intéressent à une plante en particulier (le maïs), et à la partie exploitée de la plante (l'épi, les feuilles). Ils s'intéressent aussi aux revenus que la plante est susceptible de leur procurer. Le savoir est appliqué à une pratique, il n'y a pas théorisation, ni généralisation. On constate aussi une absence d'argumentation, il y a une dogmatisation du savoir : le concept est affirmé sans limite, sans discussion, sans controverse. Sauf dans le texte 7 où l'auteur contextualise le concept dans la communauté des chercheurs. Cette façon de faire est une des règles de la publication de recherche, l'auteur écrivant dans ce contexte adopte les règles existantes. En général le cœur du concept est conservé.

La cause (le croisement de deux lignées inbred) et les mécanismes (la différence de constitution des gamètes parentaux qui s'unissent) sont présents et peu transformés, à part l'utilisation massive du mot " génétique ". On remarque des différences concernant les effets du concept. Il semble que le contexte dans lequel est placé l'article étudié influe sur le contenu. Il existe des points communs entre certains des textes étudiés. On remarque une dogmatisation du savoir avec une déshistorisation, une décontextualisation, une dépersonnalisation et une absence d'argumentation. Les explications sont succinctes et transformées selon le contexte dans lequel se trouve le concept. S'il s'agit d'un texte produit par une firme semencière le concept sera entouré de termes économiques, dans une revue technique agricole les termes seront techniques... Il y a deux exceptions, l'article de J.P. Gay paru dans "La Recherche" où l'auteur contextualise et personnalise le concept, et celui de M. Rives, qui est chercheur à l'INRA, paru dans " Cultivar ", où l'auteur produit une argumentation. Ces deux articles constituent

peut-être un échelon intermédiaire entre les publications de recherche et les publications de vulgarisation.

3. DISCUSSION ET CONCLUSION

3.1. Les résultats

le contenu scientifique n'est pas modifié en fonction du public visé

Nous avons constaté une importante utilisation de lexies biologiques aussi bien dans les revues scientifiques, comme "La Recherche", que dans des revues agricoles, et particulièrement de lexies appartenant au champ sémantique génétique. En général les termes biologiques employés sont les mêmes que dans le texte de référence. Seuls les termes pivots allèles, gamètes, linkats et hétérozygote sont reformulés, les autres termes pivots figurent sans changement. On constate des variations du pourcentage de termes biologiques utilisés dans les différents textes.

Plusieurs paramètres déterminent la "coloration" des textes, c'est-à-dire la présence ou non d'un vocabulaire biologique, le niveau de reformulation, les champs sémantiques présents... Ces paramètres sont l'auteur, l'organisme qui publie le texte, la forme du support (livre, revue technique...), le public visé.

Concernant le vocabulaire utilisé, l'analyse lexicale montre que l'auteur joue un rôle déterminant. Dans le tableau n°1, les résultats des textes 6 et 8 sont semblables alors que les résultats des textes 8 et 9 (même revue) sont dissemblables. De même dans les textes 1, 2 et 7, l'auteur emploie les mêmes reformulations. Concernant les champs sémantiques utilisés, il semble que l'organisme joue un rôle important. On observe ceci dans le tableau n°2 concernant le champ publicitaire (textes 3, 4, 5) et agricole (5, 10, 11, 12).

mais le savoir a la couleur de l'auteur

Nous avons montré une utilisation de la science comme argument de vente (texte 4 en particulier). Et la présence dans de très nombreux textes de termes publicitaires ou économiques. En particulier dans les textes édités par les firmes semencières, et dans les journaux agricoles, mais aussi dans les revues scientifiques. L'agriculture étant un métier, une source de revenus, il est logique que l'on retrouve des termes comme "productivité", "rendement" dans le texte. En nous appuyant sur ces résultats nous pouvons dire que l'organisme qui produit un texte, y laisse une empreinte correspondant à son activité, à sa finalité. L'empreinte de l'auteur sera différente suivant sa fonction (chercheur, journaliste).

En général il y a une décontextualisation, déshistorisation, dépersonnalisation, une dogmatisation du savoir. Sauf pour les textes 7 et 8. Le texte 7 est publié dans "La Recherche" et l'auteur adopte la règle de publication des scientifiques. Le texte 8 est écrit par un chercheur, il continue à adopter les règles de la publication scientifique dans un journal "non

scientifique". Mais il ne semble pas que le contenu scientifique soit modifié selon le public visé. Selon que l'auteur s'adresse aux chercheurs, aux techniciens, aux agriculteurs ou aux ingénieurs, la définition d'hétérosis qui est donnée ne change pas. Par contre selon le producteur du document le concept va être présenté sous un angle différent. Chaque organisme, le syndicat qui cherche à promouvoir le maïs, la firme semencière, laisse une empreinte caractéristique sur le texte, qui fait que l'on peut reconnaître le producteur du texte presque sans en avoir lu la signature. Dans les textes analysés on observe deux cas de figure : soit le concept d'hétérosis est traité et le sens du concept donné par Y. Demarly (Y. Demarly, 1977, p. 37) est conservé; soit le concept est tout à fait absent. Ceci est vrai dans les textes de notre corpus par rapport à un concept donné mais on ne peut pas, bien entendu, généraliser cette affirmation. Nous n'avons pas trouvé d'intermédiaire entre ces deux extrêmes. S'il y a une rupture du savoir elle est entre la présence et l'absence de texte du savoir. Les documents où le texte du savoir est absent sont directement destinés aux agriculteurs. A travers cette absence de texte théorique ne faut-il pas voir l'idée que se fait la société et les organismes agricoles en particulier, des agriculteurs et de leur rôle ?

pas de savoir
savant pour les
agriculteurs

3.2. Des champs sémantiques non scientifiques : économique, publicitaire, présents dans le texte du savoir vulgarisé

Cette analyse montre *une utilisation importante de termes biologiques, et de la majorité des termes scientifiques pivots*, utilisés dans le texte du savoir savant de référence. On trouve des lexèmes du langage commun dans le cotexte des termes pivots.

On constate que le champ sémantique génétique est largement représenté. Et l'on trouve *un vocabulaire scientifique spécialisé à tous les niveaux de la transmission du savoir*, dans les revues scientifiques, dans les publications destinées aux cadres de l'agriculture, dans les revues distribuées par les firmes aux praticiens de l'agriculture.

Les champs sémantiques publicitaires, économiques et agricoles sont présents dans le cotexte du concept d'hétérosis. La présence de l'un ou l'autre de ces champs varie en fonction de l'organisme qui publie l'article. Cette introduction de champs sémantiques publicitaires nous semble une des caractéristiques principales de la vulgarisation scientifique du milieu des professionnels agricoles. En effet la notion de pratique, de travail, de rentabilité, sans être propre au milieu étudié, est de la responsabilité du praticien. Cette notion transparait aussi dans le discours scientifique vulgarisé.

Il y a des reformulations de termes biologiques, mais elles sont peu nombreuses. *On trouve plus de termes biologiques spécialisés dans les revues scientifiques que dans les publications techniques destinées aux agriculteurs*.

L'auteur semble jouer un rôle important en ce qui concerne la transformation et la reformulation du texte scientifique en fonction du public visé.

3.3. Continuité et rupture dans la diffusion de l'information

le concept est soit présent soit absent mais pas transformé

Il existe un continuum dans les pratiques de diffusion du concept d'hétérosis, *il ne semble pas que le contenu scientifique soit modifié selon le public visé*. Selon que l'auteur s'adresse aux chercheurs, aux techniciens, aux agriculteurs la définition du concept d'hétérosis qui est donnée ne change pas.

Par contre *selon l'auteur de l'article, le concept va être présenté sous un angle différent, il est habillé*.

Dans les publications techniques, à propos de la sélection du maïs, destinées aux agriculteurs, le concept d'hétérosis n'apparaît plus, il n'est plus expliqué. Il n'est pas non plus reformulé. Il existe une rupture dans la transmission du savoir : *dans notre corpus soit le concept est présent dans le texte de vulgarisation et le sens est conservé, soit il est absent*.

de quel savoir a besoin un praticien ?

Ici la vulgarisation vient renforcer l'image de la science inaccessible, on constate une absence d'argumentation, *il y a une dogmatisation du savoir*.

CONCLUSION

À l'intérieur de notre corpus, concernant le concept d'hétérosis, nous avons deux types de publications pour les professionnels agricoles.

Des publications de vulgarisation scientifique où le concept est présent et expliqué. Des publications techniques à propos des sélections variétales où le concept peut être présent mais n'est jamais expliqué.

Ces dernières publications sont en relation avec des pratiques de l'agriculteur, elles lui expliquent un savoir-faire. Elles ont une fonction pédagogique, mais en réalité après une première lecture, elles nous semblent d'une utilisation très difficile et parfois illisibles. Pour tester la véritable valeur de ces publications il faudrait demander l'avis des agriculteurs et des techniciens agricoles à qui elles sont destinées.

Nous avons aussi été frappé par le fait qu'une très grande part des publications provient des firmes (semences, engrais, machines agricoles...) et par la qualité luxueuse de ces écrits (papier glacé, nombreuses photos couleurs).

Par l'analyse textuelle nous avons montré que les firmes utilisent la science pour valoriser leur produit et leur image. D'où la présence de champs sémantiques économique et publicitaire dans le texte du savoir.

la transmission
orale : un des
principaux
moyens
d'information en
milieu agricole

Ceci pose le problème de l'appropriation du savoir par les marchands pour vendre, par les agriculteurs qui reçoivent souvent une information scientifique transformée par les organismes qui la diffuse.

Mais quel est le savoir nécessaire à un praticien ?

Est-ce un mode d'emploi dont il a besoin, sans information théorique, et doit-on considérer le savoir savant comme une question annexe faisant éventuellement partie de la culture générale de l'agriculteur ou du technicien agricole ?

Il me semble que le savoir scientifique est indispensable et que les savoir-faire, tout ce qui est du domaine du senti, de l'expérience, que l'on acquiert avec le temps et la pratique quotidienne d'un métier doivent venir compléter ce savoir de base.

Pour travailler il faut les deux savoirs mais l'un ne va pas sans l'autre. Or nous n'avons pas trouvé de publication reliant savoir et savoir-faire. Les auteurs placent le savoir savant d'un côté et le savoir-faire d'un autre côté, mais *aucun lien* n'est fait entre les deux.

Le praticien acquiert une grande partie de son savoir savant de façon orale par le technicien agricole, qui passe dans sa ferme pour lui vendre des engrais, des semences, des machines et qui lui explique oralement le mode d'emploi, par ses enfants qui suivent une formation agricole. Nous n'avons malheureusement pas analysé ce type de savoir qui est pourtant pour l'agriculteur un important moyen de construction de sa connaissance.

Patricia MARZIN
LIRDIS, Lyon 1
Laboratoire d'Intelligence Artificielle,
Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon.

BIBLIOGRAPHIE

ASTOLFI Jean-Pierre, DEVELAY Michel, (1989), *La didactique des sciences*, Paris, PUF, 125 p.

CHEVALLARD Yves & JOHSUA M.A., (1982), Un exemple d'analyse de la transposition didactique, la notion de distance, in *Recherche en didactique des mathématiques*, 3.2, pp 157-239, Grenoble, la Pensée sauvage.

CHEVALLARD Yves, (1985), *La transposition didactique*, Grenoble, la Pensée sauvage, 126 p.

DARRÉ Jean-Pierre, (1985), *La parole et la technique*, Paris, L'Harmattan, 196 p.

DEMARLY Yves, (1977), *Génétique et amélioration des plantes*, Paris, Masson, 290 p.

DEVELAY Michel, (1987), "A propos de la transposition didactique en biologie", in revue *Aster*, N°4, pp 119-138, Paris, Publication INRP.

GAILLARD Sylvie, (1986), *Changements techniques et industrialisation capitaliste de la culture du maïs en France depuis 1945 : éléments pour une approche systémique*, Thèse de doctorat de troisième cycle, Lyon II, pp 20-75.

GALLAIS André, (1988), *Quelques définitions relatives à l'hétérosis*, Gif-sur-Yvette, CNRS-INRA-UPS, 4 p.

GEORGE Susan, (1981), *Les stratégies de la faim*, Genève, ed Grounauer.

JACOBI Daniel, SCHIELE Bernard, (1988), *Vulgariser la science*, collection milieux, Champ vallon, Seyssel, PUF, 284 p.

JACOBI Daniel, (1985), "Diffusion et vulgarisation des savoirs scientifiques", in *La Pensée*, N°246, Juillet-Août 1985, pp 55-64.

JACOBI Daniel, (1987a), "Quelques formes du savoir savant dans les discours de vulgarisation scientifique", Paris, in revue *Aster*, N°4, pp 91-117, Publication INRP.

JACOBI Daniel, (1987b), *Textes et Images de la vulgarisation scientifique*, Berne, Peter Lang, 170 p.

JEANTET Alain, TIGER Henri, (1988), *Des manivelles au clavier*, Paris, Syros alternatives, coll.alternatives sociales, 152 p.

MARTINAND Jean-Louis, (1983), "Questions pour la recherche : La référence et le possible dans les activités scientifiques scolaires", *Atelier international d'été : recherche en didactique de la physique*, La Londe les Maures.

MARTINAND Jean-Louis, (1987a), *Connaître et transformer la matière*, Berne, Peter Lang, 315 p.

MARTINAND Jean-Louis, (1987b), Pratique de référence, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences et techniques, Exposé au congrès AIPELF.

ROQUEPLO Philippe, (1974), *Le partage du savoir*, Paris, Seuil, Coll science ouverte, 255 p.

RÉFÉRENCES DES TEXTES ANALYSÉS

Les références des textes qui constituent notre corpus sont les suivantes :

- 1 - GAY J.P., **Fabuleux maïs, histoire et avenir d'une plante**, AGPM, Pau, 295 p., 1984, pp 208-209.
- 2 - Ouvrage collectif (dont J.P. GAY), **Encyclopédie pratique du maïs**, AGPM, Pau, 1981.
- 3 - DUPONT P., **Les semences de maïs**, Agri Nathan, 96 p., 1986, p 27.
- 4 - LES CAHIERS TECHNIQUES FRANCE MAIS, **Bien semer pour récolter plus**, deuxième série n°2, France maïs, 36 p., 1987, p. 6.
- 5 - MAISCOPE, **Guide technique 87**, 51 p., n° 19 décembre 1986, pp. 35 et 39.
- 6 - RIVES M., L'amélioration des plantes, **La Recherche n° 155** mai 1984, numéro spécial : la génétique et l'hérédité, p. 756.
- 7 - GAY J.P., Le maïs, **La Recherche n°187**, avril 1987, pp.. 460, 464, 465.
- 8 - RIVES M., Sélection : technique, objectifs et perspectives, **Cultivar spécial maïs**, 206 p., novembre 1980, p 25.
- 9 - LAFONT C., Production des semences : technique et économie, **Cultivar spécial maïs**, 206 p., novembre 1980, p 35.
- 10 - VINCENT M.H., Quand $1 + 1 = 3$!, **Entreprises agricoles n°187**, 87 p., Février 1986, p 45.
- 11 - TALLON P., Amélioration du maïs : le classicisme performant, **La France agricole**, 44 p., supplément au n°2167 du 9 janvier 1987, p 17.
- 12 - Coopérative agricole dauphinoise, 1983, **Informations maïs récolte 1982 - semis 1983**.

L'ÉMERGENCE DE LA DIDACTIQUE DE LA BIOLOGIE, UN ITINÉRAIRE

Jean-Pierre Astolfi

Depuis une quinzaine d'années, la didactique de la biologie se développe, et tente de se constituer comme une discipline autonome, générant ses concepts spécifiques. L'équipe de recherche de l'INRP est l'une des plus anciennes dans ce domaine, et l'auteur, actuellement responsable de cette équipe, décrit ici l'itinéraire et les évolutions intellectuelles qui ont conduit à l'émergence d'une didactique spécialisée, à partir d'une "pédagogie des sciences". Laquelle développait plutôt alors dans son champ propre, des préoccupations de pédagogie générale (pédagogie par objectifs, travail autonome ...).

Ce texte tente d'identifier les ruptures théoriques et les problèmes nouveaux auxquels s'affronte cette discipline en développement. Il est issu d'une note de synthèse, rédigée pour la soutenance d'une Thèse sur travaux, à l'Université Lyon II, en 1989.

la description
d'un parcours
intellectuel

La relation d'un itinéraire de recherche en didactique de la biologie, telle qu'elle est tentée ici, propose une analyse de l'évolution des problématiques de toute une équipe, sans doute la plus ancienne en France dans ce domaine. A travers un parcours à caractère inévitablement subjectif, ce texte tente de décrire un certain nombre de phases, de ruptures théoriques, de moments-charnières, à travers lesquels s'est progressivement constituée et autonomisée une discipline récente, encore en émergence.

Il ne s'agit évidemment que d'une contribution, d'autres lectures complémentaires restant à écrire.

D'abord, parce que l'analyse ne porte volontairement que sur une partie des travaux de l'équipe de recherche, ceux qui concernent le niveau du premier cycle secondaire. Alors que la réflexion sur l'enseignement scientifique à l'école élémentaire a cheminé de manière interactive, et a fourni, sous l'impulsion amicale de Victor Host, nombre de clés décisives. Pourtant, cette limitation délibérée à l'un des niveaux de la scolarité est apparue utile, pour pouvoir décrire avec une précision et une contextualisation suffisantes une telle évolution. Le contexte du collège depuis quinze ans est tout à fait singulier dans le système éducatif ; il n'est pas réductible à celui des "activités d'éveil" à l'école élémentaire lesquelles méritent d'autres développements et d'autres références.

Aussi, parce qu'a été adopté un parti pris "internaliste" qui pourra surprendre, comme si la didactique de la biologie n'avait subi nulle influence ni bénéficié d'aucun apport. Evidemment il n'en est rien, mais ce serait un autre travail (lequel reste

centré sur la
didactique de la
biologie au
Collège

largement à faire) que de caractériser les emprunts, les passages et ruptures conceptuelles d'une didactique à l'autre. Incontestablement, celles des mathématiques et de la physique se sont développées avec quelque avance, et cela a pesé (pèse encore aujourd'hui) sur les concepts, les problématiques, les méthodologies, en usage pour la didactique de la biologie. Pourtant, même si nous avons quelque intuition de telles dettes et interactions, il nous est apparu préférable, au moins dans un premier temps, de les réfréner quelque peu, pour tenter d'abord un travail à caractère plus "monographique", sur lequel on pourra appuyer utilement comparaisons et confrontations. Commencer par une fresque évolutive trop large eût été hasardeux, car on est tenté d'y insuffler à son insu, des mouvements tendanciels et évolutifs, lesquels n'ont de valeur que locale, mais que l'on généralise abusivement. Comme si l'ampleur du mouvement descriptif encourageait les effets "ethno-centriques".

On pourra aussi lire cet essai, comme une façon disciplinaire de décrire l'évolution générale des idées pédagogiques depuis une quinzaine d'années, des tendances programmatiques ou non-directives de l'époque, à la centration actuelle sur la construction des concepts et l'importance des obstacles.

1. L'ANALYSE DES OBJECTIFS ET LA CONSTRUCTION D'ÉPREUVES D'ÉVALUATION, COMME RÉGULATEURS D'UN CURRICULUM OUVERT

d'abord la
définition des
objectifs

Une des premières recherches conduites par l'INRP, au début des années 70, a concerné la définition des objectifs de l'enseignement de la biologie, pour le niveau de la Sixième et de la Cinquième des collèges. ⁽¹⁾ Il prend sens dans un contexte et des perspectives qu'il faut d'abord rappeler.

1.1. Le renouvellement curriculaire

le renouvellement
curriculaire de
1968

Cette recherche se situe dans une phase importante de renouvellement curriculaire de l'enseignement français de la biologie dans les collèges d'enseignement secondaire (C.E.S.). En effet, la circulaire ministérielle du 17 octobre 1968, tout en conservant intacts les termes des programmes en vigueur,

(1) Jean-Pierre ASTOLFI, Anne COULIBALY, Victor HOST. *Biologie (initiation expérimentale) dans les CES expérimentaux* (analyse des objectifs). Paris : INRDP, Coll. *Recherches pédagogiques*, 55. 1972.

introduit de fait une véritable rupture méthodologique et curriculaire. (2)

de
l'enseignement
monographique
à la pédagogie
du problème
biologique

A une pédagogie monographique, centrée sur l'observation et son instrument privilégié, le dessin, elle substitue une pédagogie thématique, largement ouverte à l'initiation expérimentale. A un contenu principalement orienté par une perspective d'anatomie comparée (et, de ce fait, centré sur l'observation puis le dessin des pièces anatomiques squelettiques et de la denture), fait place une perspective biologique plus ouverte et plus variée, permettant d'aborder la diversité des fonctions biologiques, mais aussi d'approcher les domaines écologique et éthologique. Elle balaye une forme de travail répétitive, morcelée, voire ritualisée, pour laisser place subitement à des recherches s'inscrivant dans des temps plus longs, instaurant le dialogue dans la classe comme moteur de l'avancée de la connaissance. Surtout peut-être, elle essaie d'instaurer une **pédagogie du problème biologique** se substituant au traditionnel titre de la leçon et orientant l'activité pédagogique, les connaissances apparaissant in fine comme le résultat d'un processus de recherche et la réponse à une question scientifique ayant fait l'objet d'investigations.

Une telle transformation curriculaire au C.E.S., parallèle à la mise en place des activités d'éveil scientifiques pour l'école élémentaire, s'inscrit bien, comme on le voit, dans le contexte idéologique des années 68.

1.2. Le cadre des C.E.S. expérimentaux

dans les classes
hétérogènes des
collèges

En avril 1970, le protocole dit de Saint-Quentin, signé entre l'INRP et le ministère de l'Education nationale, constitue le point de départ d'une vaste innovation contrôlée, destinée à rechercher des modalités nouvelles et moins sélectives d'organisation des C.E.S., notamment par la suppression des filières prévues par la réforme Fouchet (sections classiques longues, sections modernes courtes, classes de transition ...). Sous la direction de Louis Legrand, alors directeur du département de la recherche pédagogique de l'INRP, s'élaborent et s'expérimentent de nouvelles structures qui s'efforcent de limiter le caractère ségrégatif des groupements d'élèves, de conserver autant que faire se peut l'hétérogénéité des classes mais de rendre celle-ci viable, afin d'éviter que ne perdurent des

(2) MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE. Circulaire n°IV-68-521 du 17 octobre 1968. Ce texte, signé du recteur Henri Gauthier, doit en réalité beaucoup au doyen de l'inspection générale de sciences naturelles, Firmin CAMPAN. Il est à situer dans la lignée de la "pédagogie de la redécouverte", telle que l'a décrite Charles BRUNOLD. Esquisse d'une pédagogie de la redécouverte dans l'enseignement des sciences. Paris : Mouton. 1948.

Firmin CAMPAN. "L'enseignement de la biologie et de la géologie, une révolution permanente", in : "Biologie-Géologie", *Cahiers pédagogiques*, 97. 1971.

... alors pilotées
par l'INRP

filières reproductrices des inégalités sociales. Tout un dispositif d'accompagnement tel que groupes de niveaux-matières, tutorat, enseignements de soutien, options ... est alors mis en place, ainsi qu'un dispositif global d'évaluation de l'innovation, sous forme d'épreuves normalisées communes à l'ensemble des C.E.S. expérimentaux et aux établissements de référence qui leur étaient appariés. ⁽³⁾

C'est précisément par rapport à cette nécessité d'épreuves-bilans normalisées, en fin de sixième d'abord, puis de façon montante pour les classes suivantes, que la construction d'un tableau d'objectifs s'est révélée indispensable.

1.3. Une taxonomie disciplinaire

Comment concilier en effet la liberté de choix des thèmes recommandée par les nouvelles instructions avec les exigences d'une évaluation commune, voilà quel a été le premier problème à résoudre.

Le bulletin de l'association des professeurs (A.P.B.G.) ainsi que multiples publications de C.R.D.P. diffusaient alors de nombreuses propositions thématiques, faites par des professeurs qui les ont expérimentées personnellement et qui les proposent à l'ensemble des collègues. Les sujets en étaient des plus variés et on peut en donner un certain nombre d'exemples pour mieux fixer les idées :

- Le Hérisson.
- L'apprentissage chez la Souris blanche.
- Etude de la croissance pondérale chez le Cailleteau en fonction du régime alimentaire.
- De la denture de l'Homme aux mathématiques modernes.
- La chasse des Vertébrés.
- L'alimentation des Oiseaux carnassiers.
- Air, respiration, combustions.
- Respirer dans l'eau.
- Le développement de la Truite.
- Les Vertébrés passent l'hiver.
- La peau des Vertébrés.
- Biologie des Chauves-souris des Pyrénées orientales.

concilier libre
choix des thèmes
et évaluation
commune

Pour résoudre le conflit indiqué entre libre choix des sujets par chaque établissement et homogénéité de l'évaluation, est entreprise la construction d'un **tableau synoptique des objectifs possibles** de l'enseignement de la biologie en Sixième et Cinquième. ⁽⁴⁾ Bien sûr en prenant appui sur la littérature déjà

(3) Cf. Louis LEGRAND (dir.). *Vers l'individualisation de l'enseignement dans le premier cycle secondaire*. Paris : INRP, Coll. *Recherches pédagogiques*, 58. 1973.

- *Pour une politique démocratique de l'éducation*. Paris : PUF. 1977.

- "Les apports des Collèges expérimentaux", in : *Pour un collège démocratique*, Rapport au Ministre de l'Education nationale. Paris : La Documentation française. 1982. pp. 281-288.

(4) Le travail précurseur en ce domaine fut une modeste publication de M. PRUDHOMME. *Biologie (initiation expérimentale)*. Lille : CRDP. 1970.

disponible sur les objectifs (moins abondante qu'aujourd'hui en langue française), mais avec un parti fondamentalement différent de l'orientation dominante.

premier effort
épistémologique
d'analyse des
contenus
disciplinaires

En effet, le problème n'est pas pour nous de construire un nouveau modèle hiérarchisé à la manière des taxonomies de Bloom ou Guilford, dans lequel chaque objectif d'un niveau déterminé englobe les objectifs de rang inférieur ⁽⁵⁾, mais de fournir aux enseignants un tableau des possibles didactiques en biologie. Les familles d'objectifs proposées résultent plutôt d'un premier effort épistémologique d'analyse des contenus disciplinaires et distinguent ce qui relève des langages, des méthodes, des techniques et des connaissances (le domaine des attitudes sera ajouté dans des publications postérieures). La raison principale en est que la finalité première de notre taxonomie n'est pas, comme souvent, de faciliter la construction d'épreuves d'évaluation, de situer chaque item de questionnement par rapport à d'autres et d'en favoriser la réécriture si nécessaire, mais bien plutôt d'orienter les prises de décision curriculaires des professeurs. Même si, au terme, cela se répercutera (je l'ai indiqué d'emblée) dans une mise au point facilitée de l'évaluation concertée.

les objectifs : un
langage commun
pour réguler les
choix collectifs

Ce qui par contre est apparu décisif, c'est que la référence aux objectifs puisse fournir d'une part **un langage** de communication entre enseignants pour désigner, caractériser et situer les choix opérés par chacun ; qu'elle fonctionne d'autre part comme **un régulateur** des choix pédagogiques à moyen terme, lorsqu'on s'interroge sur les effets de cohérence comme de dissonance qui résultent d'une simple accumulation thématique non raisonnée par la médiation des objectifs. De la sorte, la taxonomie des objectifs reprend une place pédagogique beaucoup plus centrale, ni seulement en amont pour pré-programmer une progression, ni seulement en aval pour mettre au point les items d'évaluation, mais bien diachronique à l'ensemble de l'activité didactique.

C'est d'ailleurs ce que relève César Birzea, lorsqu'il évoque notre travail dans sa revue critique des techniques d'opérationnalisation des objectifs :

"Au moment où l'on a essayé d'appliquer la technique de Mager dans la rédaction des programmes scolaires, on a constaté certaines difficultés imprévues. Les auteurs des programmes scolaires se sont heurtés, en spécial, à l'accent exclusif sur l'output qui écarte les programmes de leur sens formatif essentiel. (...)

Ce point de vue s'est imposé dans la technique même d'opérationnalisation des objectifs pédagogiques (sous-entendu à travers notre propre projet). Comme une conséquence,

(5) Benjamin S. BLOOM. *Taxonomie des objectifs pédagogiques. 1 : Le domaine cognitif*. Montréal : Etudes vivantes. 1969. (Ed. orig. 1956).
J.P. GUILFORD. *The nature of human intelligence*. New York : McGraw Hill. 1967.

à la place de l'accent exclusif sur les comportements et sur l'évaluation finale, **le poids se déplace** sur la structure hypothétique des programmes scolaires, **sur les activités didactiques qui sont spécifiées dans la définition même de l'objectif opérationnel.** (...)

Ces activités représentent plus qu'un comportement défini par un verbe d'action, une condition de réalisation et un critère de la performance acceptable. **Elles mettent l'accent sur la situation d'apprentissage** et son contenu spécifique, remettant dans leurs droits le processus éducatif et la communication entre professeur et élève, qui redeviennent les éléments dominants des programmes scolaires." (6)

1.4. Behavioriste, mais par méthode

C'est aussi notre travail que retient Jean Berbaum lorsqu'il présente, dans le "Que sais-je ?" *Apprentissage et formation*, la pédagogie par objectifs (P.P.O.), et plus précisément les principes de l'élaboration d'un objectif. (7) Il note que l'opérationnalisation introduit un fractionnement dont témoigne la numérotation décimale que nous avons choisie (trois chiffres pour un objectif opérationnel), et que ce **fractionnement** illustre le processus introduit par le behaviorisme.

De fait, il faut reconnaître l'influence du behaviorisme dans la conception de notre taxonomie, chaque définition d'objectif correspondant scrupuleusement à un observable comportemental, et sa rédaction incluant bien un inévitable verbe d'action. Mais il faut voir qu'il s'agit - si l'on peut ainsi s'exprimer - d'un **behaviorisme méthodologique** plus que d'un behaviorisme conceptuellement assumé.

C'est qu'on ne saurait réduire la formation scientifique à une succession d'atteintes d'"objectifs à trois chiffres" ! Chacun de ces derniers est plutôt l'**indicateur** d'un objectif mentaliste général (à deux chiffres), en définitive seul important, que l'objectif lui-même. Mais encore faut-il pouvoir se donner des indicateurs suffisamment précis sans en rester au verbalisme, et confronter les différentes façons d'opérationnaliser un même contenu d'enseignement. C'est pourquoi notre projet ne se rapproche nullement d'une pédagogie de maîtrise, graduant logiquement la difficulté des apprentissages, et faisant apparaître pédagogiquement les objectifs, selon une logique qui respecterait leur hiérarchie constitutive.

En réalité, il s'agit plutôt ici de l'utilisation de la **syntaxe de la P.P.O.** pour échapper d'une part à la pédagogie intentionnelle, d'autre part à l'enseignement dogmatique.

l'utilisation de la
syntaxe de la PPO
pour échapper à
la pédagogie
intentionnelle

(6) César BIRZEA. *Rendre opérationnels les objectifs pédagogiques*. Paris : PUF. 1979. p.95.

(7) Jean BERBAUM. *Apprentissage et formation*. Paris : PUF, Que sais-je ? 1984. p.111.

En effet, l'utilisation du langage des objectifs pour définir les activités didactiques permet d'abord de se détacher de l'habitus enseignant, pour s'intéresser à ce que les élèves ont à faire et à savoir faire de manière effective, au lieu d'en rester au point de vue de l'émetteur discursif. Et cela effectivement, est un moyen de faire prendre conscience du caractère dogmatique de nombreux apprentissages scolaires, au sens où ce qu'on appelle "maîtriser une notion" ne correspond souvent qu'à la mémorisation réflépie d'une définition peu fonctionnelle. Bien souvent, si l'on ne prend pas soin de s'astreindre à cette syntaxe des objectifs pour s'en rendre compte, c'est le comportement de rang taxonomique le plus inférieur qui, de facto, se révèle bien souvent en jeu.

De quel savoir s'agit-il en quelque sorte pour l'élève, et quelle est sa fonctionnalité par rapport à un problème à résoudre ? Il faut avouer que les pratiques dominantes en restent souvent sans s'en rendre compte, et au delà de l'ambition des finalités scientifiques affichées, au niveau que Bloom nomme "connaissance de faits particuliers" !

C'est en cela me semble-t-il, qu'une pédagogie **par les** objectifs (pour reprendre l'expression d'Hameline), bien plus peut-être que la pédagogie **par** objectifs, constitue souvent - et encore aujourd'hui malgré la retombée de l'effet de mode - un passage obligé de la réflexion didactique.

1.5. Effets d'ouverture, effets de fermeture ?

On voit quelle contribution particulière ce travail a pu apporter dans la lignée des recherches sur les objectifs. Dans le cadre des C.E.S. expérimentaux, il a nettement contribué à faire évoluer un dispositif, d'abord institutionnel et structurel, centré sur la diversité des modes de groupement des élèves, vers des préoccupations plus spécifiquement didactiques. ⁽⁸⁾ En entraînant l'ensemble du dispositif de recherche-innovation vers une analyse plus précise des contenus d'enseignement, via l'analyse des objectifs, il ouvrait la voie aux travaux ultérieurs sur la **différenciation pédagogique**, la mise au point de programmes-noyaux, etc.

Dans le cadre de l'enseignement biologique, il a permis la construction d'assez nombreuses épreuves-bilans, permettant de réguler dans le moyen terme les effets de la liberté de choix des thèmes scientifiques d'étude. ⁽⁹⁾ Conjointement avec les travaux de mise au point des activités scientifiques d'éveil à l'école élémentaire, cette recherche a contribué à distinguer nettement les deux significations possibles d'une programma-

pour éviter d'en rester aux catégories inférieures de Bloom

d'un dispositif institutionnel (les groupements différenciés d'élèves) à une différenciation pédagogique

(8) Jean-Pierre ASTOLFI. "Comment a procédé la section de Biologie pour définir les objectifs de sa discipline", in *C.E.S. structurés en groupes différenciés*. Paris : INRDP. 1973.

(9) Jean-Pierre ASTOLFI. "Epreuves de contrôle et définition des objectifs", in *Bulletin de liaison et d'information des professeurs de sciences naturelles*. Paris : CRDP. 1973.

tion didactique : ce qui relève de l'élaboration du planning des activités (la progression), et ce qui relève de la construction des contenus disciplinaires - conceptuels et méthodologiques - (l'évaluation).

Trop souvent en effet, la déficience de l'élaboration du second aspect est masquée par le luxe superfétatoire de détails dont on entoure le premier. A contrario, la détermination claire des objectifs permet de **laisser du jeu** dans le cheminement didactique à court terme, en reprenant l'ensemble à moyen terme dans une matrice de type planning / bilan.

En définitive, il faut le voir, la conception de ce travail en reste à une épistémologie assez nettement positiviste, liée aux traditions de la profession, qui tend à chosifier les méthodes scientifiques comme si celles-ci pouvaient s'enseigner et s'apprendre indépendamment de leur objet d'étude. Cela peut se comprendre dans un contexte traditionaliste uniquement tourné vers la succession de connaissances ponctuelles, où l'existence même des méthodes et leur apprentissage sont entièrement absents. Introduire la nécessité de leur prise en compte dans la formation, à part égale avec ces produits de l'activité scientifique que sont les savoirs, constitue bien alors une novation. Mais il est vrai que nous ne nous sommes pas encore démarqués de cette caricature de la méthode bernardienne, sur laquelle nous ironiserons plus tard avec le sigle OHERIC. Soyons justes, si les ouvrages d'épistémologie des sciences se multiplient aujourd'hui, les classiques Popper et Kuhn venaient à peine d'être traduits en français (respectivement 1973 et 1972) ! ⁽¹⁰⁾

une
épistémologie
encore positiviste

D'autre part, la conception de ce travail **reste très systématique et programmatique**. Certes, elle s'efforce d'ouvrir nettement les modalités de construction des progressions pédagogiques par rapport aux pratiques dominantes des années 70, mais elle n'intègre nullement par exemple la prise en compte des caractéristiques cognitives spécifiques de l'apprenant, avec ses représentations et ses modes de pensée spécifiques, ce qui ne sera tenté que dans le cadre de recherches postérieures.

Et cela peut s'interpréter de deux manières. Comme la façon que nous venons longuement d'évoquer, d'outiller la mise en place d'un curriculum ouvert. Mais peut-être finalement aussi comme le besoin d'une réassurance face à l'ouverture pédagogique déstabilisante, comme une façon élégante de refermer

(10) L'ouvrage collectif intitulé *Quelle éducation scientifique, pour quelle société ?* débutait par le chapitre : *OHERIC ne répond plus. Le naufrage de l'éducation scientifique ?* Le sigle OHERIC y condensait de façon critique la démarche prototypique : Observation, Hypothèse, Expérience, Résultats, Interprétation, Conclusion.

Karl R. POPPER. *La logique de la découverte scientifique*. Paris : Payot. 1973. Ed. originale : Londres. 1959.

Thomas S. KUHN. *La structure des révolutions scientifiques*. Paris : Flammarion. 1972. Ed. originale : Chicago. 1962.

liberté
pédagogique et
enfermement
dans des
tableaux
cartésiens ?

la brèche. Car il y a bien quelque côté paradoxal à **transformer en tableaux cartésiens la nouvelle liberté pédagogique** introduite dans l'enseignement scientifique ... !

Malgré tout, cette double lecture possible peut fournir une clé de l'apport essentiel de la recherche, dans la mesure où celle-ci a su mettre en tension dynamique deux domaines qui ont longtemps eu tendance à se défilier l'un de l'autre : **la préparation minutieuse**, voire obsessionnelle, dont la nature se trouve modifiée par son report sur le moyen terme, la fonction dirigiste tendant alors à devenir régulatrice ; **l'inventivité de situations didactiques** non préalablement codifiées par la tradition ni les manuels, dont se trouve évitée la dérive non-directiviste florissante à cette époque. Cette mise en tension d'éléments hétérogènes contribuera à l'émergence d'une didactique de la biologie. La tendance s'en développera ultérieurement comme on le verra, mais cela me conduit à l'examen de la seconde phase des recherches ici présentées.

2. LE DÉVELOPPEMENT DE L'AUTODIDAXIE ET DE L'AUTO-ÉVALUATION DANS L'ÉDUCATION SCIENTIFIQUE

Le texte révélateur de la rupture théorique nous conduisant à une nouvelle phase de recherche est constitué par l'article du *Bulletin de l'A.P.B.G.*, publié en 1973 avec André Giordan et Guy Rumelhard ⁽¹¹⁾, dans le style volontiers polémique de l'époque ; rupture qui culminera avec l'ouvrage collectif des P.U.F. en 1978. ⁽¹²⁾

2.1. Caractérisation d'une rupture théorique

Alors que le patient travail cartésien de définition des objectifs vient juste de s'achever, une remise en question décisive s'opère, déstabilisant l'édifice précédent sans pour autant le récuser, mais conduisant à une importante réorientation des travaux. On peut caractériser de la façon suivante les aspects essentiels de cette révision problématique introduite.

- **La place centrale de l'élève, et l'altérité de son "chemin de l'apprendre"** par rapport aux progressions pédagogiques (aussi rigoureuses et méticuleuses soient-elles) est affirmée avec force.

Non pas que jusque là, l'élève n'ait pas été au centre des préoccupations comme en témoignent, dès 1966, les orienta-

(11) Jean-Pierre ASTOLFI , André GIORDAN, Guy RUMELHARD. "Pourquoi l'autonomie des élèves en Biologie ?", in : *Biologie-Géologie (Bulletin de l'APBG)*, 4, 1973.

(12) Jean-Pierre ASTOLFI et al. *Quelle éducation scientifique, pour quelle société ?* Paris : PUF, L'Éducateur. 1978.

l'élève au centre
des
apprentissages
scientifiques

la pédagogie de
l'intérêt

OHERIC ne
répond plus ...

tions du C.E.S. expérimental de Marly-le-Roi, où Brunsvic et Berger distinguaient "quatre temps de l'acte pédagogique" (information, exploitation, assimilation, contrôle).⁽¹³⁾ Traduction pédagogique d'une prise de conscience de la durée et des modalités spécifiques de l'appropriation du savoir par l'élève, comme de l'écart irréductible de celle-ci avec le projet enseignant.

Mais malgré tout, l'élève restait en position subordonnée - certes plus assistée que passive - alors que la rupture introduite lui accorde une place plus centrale dans le processus.

- **L'importance accordée aux intérêts de l'élève et au libre choix de ses sujets d'activité** répond au climat de l'époque sensible à la non-directivité. Elle prend appui sur toute la tradition de l'éducation nouvelle, notamment la "pédagogie de l'intérêt" chère à Dewey ou Freinet.

C'est le moment où, au C.E.S. expérimental audiovisuel de Marly-le-Roi, l'on dépasse la seule logique de l'insertion didactique de messages télévisés diffusés en circuit fermé, pour développer une seconde phase d'expérimentation : la mise en place d'un centre d'auto-documentation multimédia (C.A.D.). Dans le domaine plus proprement scientifique, les travaux de Marcel Sire fournissaient alors le principal, sinon le seul, modèle français d'un travail autonome des élèves de type expérimental, et la mise au point de documents de ressources favorisant l'autodidaxie répondait à une demande assez forte de la part des innovateurs.⁽¹⁴⁾

- **Le réexamen épistémologique de la nature de l'activité scientifique** bat également son plein. L'argumentaire contestant la prétendue "démarche OHERIC" prêtée à Claude Bernard consiste à prendre appui sur l'histoire des découvertes scientifiques pour montrer leur écart avec la rigidité d'une démarche stéréotypée. On assimile facilement alors l'activité de l'élève à celle du chercheur, et cela se combine avec les deux éléments précédents (spécificité des modes de pensée juvéniles, importance du libre-choix des sujets d'étude) pour donner à l'élève une place nodale dans le processus d'enseignement.

Outre Kuhn et Popper déjà cités, mais dont le domaine d'étude concerne davantage les mathématiques et la physique que les sciences biologiques, l'influence est grande des travaux de Georges Canguilhem. Dans cette lignée, l'ouvrage de Mirko D. Grmek, montrant - chez Claude Bernard lui-même - l'écart entre les termes de son *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* et les notes de son cahier de laboratoire sur l'origine de l'intoxication oxycarbonée, fonctionne comme un

(13) Cf. Annie BIREAUD. *Le Collège audiovisuel de Marly-le-Roi. Une innovation en technologie éducative, 1963-1970. Etude historique*. Thèse de 3ème cycle. Université Paris XIII - Villetaneuse. 1979.

(14) Marcel SIRE. *Les élevages des petits animaux. Leurs enseignements*. Paris : Lechevalier. 2 tomes. 1974.

même chez
Claude Bernard,
d'après Grmek

véritable révélateur. ⁽¹⁵⁾ Contrairement à ce que laisse entendre le titre de l'ouvrage de Karl R. Popper, il n'y a pas de "logique de la découverte scientifique", mais seulement une logique reconstruite de la communication de ses résultats. Grmek montre comment il faut presque dix ans à Cl. Bernard pour dépasser l'obstacle épistémologique que constitue pour lui la dissociation de la couleur rouge du sang et de son oxygénation. Son "Cahier de notes" laisse apparaître dès 1856 les premiers indices de la nécessité de cette dissociation, mais il faudra attendre 1865 pour que dans son *Introduction*, il présente celle-ci comme résultant logiquement des hypothèses qu'il a posées.

Les conséquences pédagogiques en sont tirées sous forme de la nécessité d'un cheminement autonome des élèves, auxquels l'enseignant n'impose pas d'emblée ses structures intellectuelles, mais qu'il laisse explorer librement - seuls ou plus souvent en groupe - le matériel disponible comme les interrogations scientifiques qui les animent. Adaptant un aphorisme de Canguilhem, on insiste sur le fait que la véritable question scientifique, dans la simplicité de son expression rationnelle, ne résulte pas des observations empiriques initiales, mais indique que l'on approche du terme d'un travail : résoudre un problème c'est apprendre à le poser, et dès qu'il est clairement posé, la solution est proche. En d'autres termes : à ce moment, l'obstacle principal est franchi.

diversifier les
cheminements
intellectuels des
élèves

- **La diversité des cheminements individuels** apparaît dès lors comme inévitable. L'idée d'une "progression pédagogique" perd même une bonne partie de son sens, d'une part parce que celle-ci anticiperait sur l'activité des élèves et chercherait à la mouler prématurément dans des cadres préconstruits, d'autre part parce qu'elle ne prend pas en compte la variabilité inter-individuelle des cheminements.

Si la référence à l'enseignement programmé reste possible, le behaviorisme est loin : ce que l'on en retient ici, c'est davantage les idées de bifurcations, de "branchements" et de boucles de remédiation, proposées par les programmes crowdériens, que celles de linéarité, de progressivité et de décomposition en étapes élémentaires héritées de Skinner. Reste commune toutefois, l'importance accordée à la réussite, comme moteur de l'apprentissage. La nature des "préparations" s'en ressent évidemment : leur rôle est de prévoir un éventail d'orientations possibles pour mieux les outiller, bien plus que de fixer prématurément les étapes d'un parcours.

- **La modification et la diversification des fonctions du maître** résultent de l'ensemble précédent. Au lieu d'assurer principalement la transmission des connaissances, dans un schéma shannonien de la communication dont il est l'émetteur,

(15) Mirko D. GRMEK. *Raisonnement expérimental et recherches toxicologiques chez Claude Bernard*. Genève, Paris : Droz. 1973.

et aussi les
fonctions de
l'enseignant
scientifique

l'enseignant se trouve au carrefour de fonctions nombreuses qui, loin de se substituer au processus d'apprentissage, permet d'optimiser celui-ci grâce à son pouvoir d'**étayage** (Bruner). Sans exclure l'apport d'informations ni les interventions directives, il se positionne d'abord comme un facilitateur, un médiateur du savoir en train de s'acquérir. Et cela, principalement de manière indirecte, par la nature de ses questions, par la richesse du milieu biologique qu'il crée dans la classe, par les aides documentaires qu'il crée et rend disponible en réponse aux besoins. Les grilles d'interactions verbales classiques (Flanders, Postic, De Lansheere-Bayer ...) servent de points de référence mais sont élargies, d'une part à des situations de travail autonome en groupes plus diversifiées que l'organisation d'une classe dialoguée, d'autre part à des fonctions indirectes de l'enseignant et notamment de production (matériel, aides didactiques, documents d'évaluation ...)

2.2. De l'analyse des objectifs au contrat pédagogique

Une telle transformation de l'épistémologie scolaire résulte largement de l'air du temps, dans la dynamique de 1968. Mais elle est trop souvent chez ceux qui s'en réclament et militent en sa faveur, plus idéologique que véritablement didactique, et il devient dès lors urgent de construire de **nouveaux outils fonctionnels de gestion des apprentissages**, adaptés à cette orientation pédagogique. C'est précisément ce à quoi s'attachent nos recherches de cette période, s'appuyant sur les travaux antérieurs, mais les reprenant pour les transformer profondément.

le
développement
d'une pédagogie
contractuelle
grâce au partage
des objectifs

C'est principalement à un nouveau mode de **gestion sociale des objectifs**, dans le cadre d'une **pédagogie du contrat** que l'on peut rapporter ici l'essentiel de nos résultats de recherche. L'usage de ce terme de "contrat" ne doit pas entraîner ici de méprise, car il ne possède pas encore à cette époque la connotation particulière que lui ont donné récemment les didacticiens des mathématiques. Il ne s'agit pas du tout, en effet, d'un "contrat didactique" au sens introduit par Brousseau et Chevallard, mais d'un "contrat pédagogique" plus proche de celui qu'évoque Janine Filloux, et centré sur la nécessité d'une explicitation et d'un partage des objectifs avec les élèves. ⁽¹⁶⁾

L'idée principale est la suivante : aux tableaux d'objectifs de la phase précédente, qui servaient de régulateur à l'élaboration curriculaire du maître, et largement construits a priori, succède l'idée d'une co-gestion avec les élèves de leur avancement et d'une identification de ceux-ci plutôt a posteriori. C'est là la signification des **grilles d'activités** dont disposent les élèves et qui leur permettent, à eux, de réguler une activité dont la

(16) Janine FILLOUX. *Du contrat pédagogique*. Paris : Dunod. 1974.

Cf. aussi Evelyne BURGUIERE, André CHAMBON, Gérard CHAUVÉAU, et al. *Contrats et éducation : la pédagogie du contrat, le contrat en éducation*. Paris : INRP / L'Harmattan. 1989.

repérés a
posteriori à partir
d'une grille
d'activités gérée
par les élèves

une "prise de
conscience" des
objectifs implicites

et des épreuves
d'auto-évaluation
à caractère
"mono-objectif"

logique première obéit à l'intérêt et au questionnement préscientifique déjà évoqués.

Selon la terminologie employée, on a d'abord affaire à des **activités fonctionnelles** (au sens que Claparède donne à ce terme) répondant à la curiosité, au pouvoir d'étonnement, au plaisir du jeu, aux questions pragmatiques résultant d'observations spontanées.

Sous l'influence des échanges entre élèves, des interactions avec le matériel et les documents, des stimulations et interventions du professeur, les activités fonctionnelles évoluent dans leur finalité et s'inscrivent dans la formulation/résolution d'un problème biologique ; les questions pragmatiques deviennent des questions scientifiques. ⁽¹⁷⁾

Il est dès lors fondamental qu'une **prise de conscience** (au sens de Piaget cette fois) puisse s'opérer au cours de l'activité, grâce à la reconnaissance des objectifs poursuivis de facto, à leur caractérisation et leur situation sur une grille des possibles.

Du coup, d'outil curriculaire privilégié du maître et conservé in petto, l'analyse des objectifs devient l'occasion d'une reconnaissance de la signification par les élèves de leur activité spontanée, et d'un processus de **partage de ces objectifs**. Cette reconnaissance et ce processus n'étant pas bien sûr sans influence sur la nature de l'activité autonome initiale, mais contribuant au contraire à en modifier le statut épistémologique aux yeux même des élèves, et favorisant du coup leur évolution significative.

De même, l'évaluation fondée sur les objectifs change-t-elle de nature, ou tout au moins de mode de gestion. Aux épreuves-bilans normalisées permettant la régulation a posteriori du curriculum, se substitue (ou s'ajoute) une procédure d'**auto-évaluation**, elle aussi fondée sur les objectifs. Une partie importante de l'activité de recherche consiste ici à la mise au point précise d'**exercices mono-objectifs** grâce auxquels les élèves peuvent tester leurs acquisitions et rééquilibrer leur activité - toujours avec l'aide de l'enseignant bien sûr - mais en disposant d'un référentiel objectif mis à leur disposition. Il s'agit bien ici d'une tentative d'**auto-évaluation formatrice**, au sens que Bonniol, Nunziati et al. ont donné récemment à ce terme. ⁽¹⁸⁾

(17) Victor HOST. "Procédures d'apprentissage spontanées dans la formation scientifique", in : *Revue française de pédagogie*, 45. Paris : INRP. 1978.

Michel DEVELAY a caractérisé l'opposition activités fonctionnelles / activités de résolution de problèmes, dans "Essai de caractérisation des séquences conduites en activités d'éveil scientifiques", in *Eveil scientifique et modes de communication*. Paris : INRP, Coll. *Recherches pédagogiques*, 117. 1983.

(18) Jean-Jacques BONNIOL. "Influence de l'explicitation des critères utilisés sur le fonctionnement des mécanismes d'évaluation d'une production scolaire", in : *Bulletin de psychologie*, 353. 1981.

Georgette NUNZIATI. "Pour construire un dispositif d'évaluation formatrice", in : *Apprendre 1*, *Cahiers pédagogiques*, 280. 1990.

l'évaluation par
l'observation
continue des
groupes d'élèves

Quant à l'unité pédagogique de traitement considérée par le maître, elle change d'ordre de grandeur. A l'idée d'une gestion globale de la classe, orientée par un dialogue pseudo-socratique, se substituent des interventions plus individuelles et un suivi de petits groupes qui cheminent selon des voies et des rythmes spécifiques. Du coup, les indices prélevés pour décider des modes et des types d'intervention changent également : aux ressources de la maieutique fait place l'observation continue des élèves et des groupes, la négociation de contrats personnalisés selon les difficultés particulières rencontrées, l'examen dialogué des fiches d'activités et des résultats de l'auto-évaluation.

2.3. L'entrée en scène des représentations

C'est dans ce contexte que se situent nos premiers travaux tentant d'appliquer au contexte scolaire l'idée de représentation, en étudiant les idées que se font les élèves des concepts scientifiques avant qu'on ne les leur enseigne. Ce thème, dont la fortune a depuis, été spectaculaire, et dont le succès a d'ailleurs contribué à l'émergence de la didactique des sciences en tant que domaine autonome de recherche, n'en est alors qu'à ses balbutiements.

la fonction
polémique initiale
des
représentations

Il faut voir que la fonction initiale de ces études de représentations est d'abord pour nous **polémique**, au sens où elle se propose d'attirer l'attention sur l'inefficacité des formes traditionnelles d'enseignement que sont **la magistralité et la linéarité**.

Le problème consiste moins à étudier la prise en compte possible des représentations, qu'à faire apparaître l'hétérogénéité de structure entre le questionnement personnel des élèves, leurs intérêts spontanés, les modalités de leurs raisonnements ... avec la logique d'une progression pédagogique classique. Même si celle-ci intègre le "dialogue" avec la classe comme nouvel habit du cours magistral.

Ces études visent, en quelque sorte, à **légitimer l'exploration** de nouveaux modes d'activité pédagogique, puisque l'étude des représentations des élèves, leur persistance - voire leur retour régressif tout au long de la scolarité -, montre de façon patente les limites d'efficacité des formes traditionnelles de travail scolaire en biologie. ⁽¹⁹⁾

un révélateur de
l'inefficacité des
méthodes
traditionnelles, au
plan des
connaissances

Du coup, la construction du savoir par les nouveaux modes expérimentés, est censée être plus facile pour les élèves puisque plus "naturelle" : il suffit de s'adapter à leur fonctionnement et

(19) André GIORDAN. *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris : Le Centurion. 1978.

Androula CHRISTOFIDES-HENRIQUES, César COLL. "Comment dialoguer avec les objets, ou l'enseignement des sciences à l'école primaire : perspective piagétienne", in : *Cahiers de la section des sciences de l'éducation de l'Université de Genève*, 2. 1976.

à leur rythme propres. Par l'insistance mise sur les attitudes face au questionnement biologique, et par le soin apporté à l'appropriation personnelle des méthodes scientifiques, doivent nécessairement se construire les connaissances, comme les produits naturels d'un processus bien conduit.

La naïveté du projet peut paraître bien désarmante avec le recul dont on dispose aujourd'hui et, effectivement, on a probablement sous-estimé le poids des obstacles épistémologiques à franchir par les élèves. Pourtant, on peut interpréter ces travaux comme un souci d'introduire ce qu'on ne nommait pas encore une **perspective didactique**.

En effet, le projet s'écarte de l'idéologie non-directive dominante, presque exclusivement centrée sur la relation pédagogique avec ses enjeux de séduction comme de pouvoir, pour laquelle le contenu particulier des connaissances est secondaire, ou tout au moins indifférent et interchangeable. Il s'intéresse de façon beaucoup plus centrale - en une époque où ce n'est guère de mode - à **la question des savoirs**, dont il cherche à construire des modalités plus efficaces. Il est significatif de ce point de vue que la recherche ait pris la pédagogie dominante sur le terrain de sa légitimité sinon de son efficacité : celui des connaissances. En disant chiche !

Les connaissances s'en trouvent redéfinies de façon plus large (comme les effets tangibles de démarches abouties), et plus signifiante (comme des outils conceptuels disponibles à moyen terme).

une remise au centre de la question des savoirs

2.4. Des aides didactiques pour la réussite d'un modèle pédagogique

Pourtant, l'expression et le recueil des représentations des élèves, l'observation et le suivi de leur activité scientifique autonome, pour importants et systématiques qu'ils soient, ne suffisent pas. La mise au point d'aides didactiques, tant pour les élèves que pour les maîtres, s'avère nécessaire et fait l'objet d'importants investissements de notre part.

Ceux-ci s'enracinent fortement dans la dynamique des innovations, qu'il s'agisse du dispositif des C.E.S. expérimentaux, ou de la mise en place du centre d'auto-documentation de Marly-le-Roi, toutes deux déjà évoquées. Elles sont analysées et systématisées dans le cadre de recherches-actions et débouchent sur des productions mises à la disposition des enseignants dans une perspective formative.

On peut schématiquement distinguer ici :

- des **documents d'orientation** qui permettent aux élèves, dans une perspective autodidaxique, d'accéder librement à des réseaux d'information en fonction du libre choix de leurs sujets d'étude.

Cela suppose la rédaction de documents **lisibles** sans que leur conception oblige à la médiation magistrale, ce qui est loin

nécessité de réécrire les aides didactiques, pour que les élèves puissent y accéder hors de la médiation du professeur

nécessité de réécrire les aides didactiques, pour que les élèves puissent y accéder hors de la médiation du professeur

un fichier d'évaluation au succès certain ... mais ambigu

d'une pédagogie générale appliquée aux sciences à une didactique disciplinaire

d'être le cas des productions didactiques habituelles (manuels, diapositives, films courts ...). ⁽²⁰⁾

- **des documents de guidage**, le plus souvent gérés par l'enseignant, qui s'insèrent dans une stratégie d'interventions individualisées. Le document fonctionne ici comme un des modes indirects d'intervention du maître ; il est remis au groupe à l'occasion d'une discussion ou d'une observation sur l'état d'avancement du travail.

- **des documents d'auto-évaluation**, fondamentaux dans l'idée d'une réorganisation secondaire des activités, permettant de passer de la logique empirique de l'action à la logique reconstruite du savoir. Le fichier d'auto-évaluation ⁽²¹⁾ en constitue l'exemple le plus abouti, couvrant un grand nombre d'objectifs méthodologiques. Il est frappant de constater que celui-ci a été très bien accueilli par la profession (ce qui n'est pas le cas de tous les documents mettant en jeu les situations d'autonomie de l'élève), mais que le sens en a très souvent été inversé. Ce succès ambigu résulte en effet de la possibilité de lire ces fiches, non comme des documents d'auto-évaluation a posteriori des objectifs travaillés par l'élève, mais comme des exercices systématiques d'initiation méthodologique. Or, c'est précisément là tout ce qui sépare les productions issues de la première phase des recherches (cf. tableaux d'objectifs) de celles issues de la seconde, qui est en jeu, mais n'est pas vu, dans ce renversement d'utilisation.

3. QUELQUES DIMENSIONS CONTEMPORAINES D'UNE DIDACTIQUE DE LA BIOLOGIE

Le début de la troisième phase des recherches peut être approximativement daté du moment même où semble culminer la seconde, avec la parution en 1978 de notre ouvrage collectif des P.U.F, coordonné par André Giordan.

Elle correspond à l'émergence en tant que telle de l'idée de didactique des sciences, c'est-à-dire à la nécessité d'une centration beaucoup plus précise sur des **champs conceptuels**, dont il s'agit d'analyser les obstacles et les conditions d'appropriation par les élèves. Elle a pour une part je crois,

(20) Jean-Pierre ASTOLFI, Claude BORGEL, Claude FAURE, Yvette GINSBURGER-VOGEL. *Biologie 6ème*. Paris : Belin. 1977. *Biologie 5ème*. Paris : Belin 1978. Avec livres du professeur.

Equipe de recherche ASTER. *Formation scientifique et travail autonome*. Collection *Collèges...* Paris : INRP. 1985.

(21) Jean-Pierre ASTOLFI, Nicole BEAUCHAMP, Claude BORGEL, Yvette GINSBURGER-VOGEL. *Les exercices d'auto-contrôle en Biologie*. Paris : INRP/CES de Marly-le-Roi. 1974. 80 fiches autocorrectives + livret explicatif.

contribué aussi à la fonder dans le champ de la biologie, parallèlement à ce qui s'est construit pour les mathématiques et la physique.

Les publications de cette troisième phase marquent en effet, pourrait-on dire, le passage d'une pédagogie générale appliquée à l'enseignement scientifique (adaptation disciplinaire de la pédagogie par les objectifs, des orientations de l'éducation nouvelle ou de la non-directivité ...) à une didactique des sciences proprement dite. Le nouvel ouvrage collectif, également coordonné par André Giordan, paru chez Peter Lang en 1983, en constitue le premier effort de systématisation ⁽²²⁾, que l'on peut comparer de ce point de vue avec celui des P.U.F. en 1978.

3.1. L'analyse de la matière et la construction de trames conceptuelles

nécessité d'une reformulation du savoir pour son enseignement

La nécessité d'une analyse spécifique de la matière enseignée pour les besoins didactiques, est apparue assez tôt comme une réponse à la prise de conscience qu'il ne suffit pas de prendre appui sur le savoir universitaire existant, quitte à en proposer des reformulations simplifiées par voie régressive. La détermination systématique des objectifs constituait d'ailleurs un premier effort important dans cette analyse des contenus, puisqu'elle permettait de mieux savoir ce que l'on cherche à enseigner au-delà de la succession des activités scientifiques. Mais ce type d'analyse restait insuffisant, en raison du caractère trop mécanique des taxonomies, et surtout de l'absence de perspective épistémologique dans leur principe de construction. Même si nous nous étions efforcés de notre mieux, de ne pas concevoir notre tableau d'objectifs comme un outil transdisciplinaire passe-partout, mais d'y intégrer le caractère particulier de l'investigation et des démarches scientifiques (voir par exemple ce qui est dit de l'observation, en réaction à l'idéologie positiviste dominante chez les professeurs de sciences).

sur d'autres bases épistémologiques que l'analyse des objectifs

On notera ici, bien avant qu'Yves Chevallard n'introduise utilement le concept central de **transposition didactique** (au succès d'ailleurs souvent bien ambigu), cette idée décisive que l'épistémologie scolaire n'est jamais réductible à celle du savoir savant de référence, mais qu'elle nécessite un effort de reconstruction, moyennant d'inévitables décontextualisations et recontextualisations. ⁽²³⁾

grâce à un processus de transposition didactique

Et ceci, non seulement comme un constat quasi-sociologique des ruptures qui s'opèrent "naturellement" au long de la chaîne de la transposition, lorsque les différents acteurs de la

(22) André GIORDAN (dir.). *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. Berne : Peter Lang. 1983. 2^e éd. revue 1987.

(23) Yves CHEVALLARD. *La transposition didactique*. Grenoble : La Pensée sauvage. 1984.

"noosphère" traduisent un contenu de savoir savant en propositions programmatiques, mais d'abord comme des **propositions didactiques de reformulation conceptuelle**.

Le problème de la construction progressive des concepts scientifiques par les élèves est rendu complexe pour une double raison :

mettant en valeur
des concepts
intégrateurs en
petit nombre

- d'une part, l'habitude ancrée chez les enseignants de définir chaque concept à partir d'un énoncé unique obtenu par simple décalque simplifié d'une formulation universitaire, et ceci à partir d'une situation pédagogique souvent unique ;
- d'autre part, la difficulté à définir pour chaque domaine scientifique, **les quelques concepts intégrateurs permettant d'en appréhender la structure**, et à organiser autour d'eux les nombreux énoncés de base possibles en interrelations multiples. (24)

Une approche constructiviste du savoir suppose précisément des confrontations périodiques et systématiques entre, d'une part des **trames conceptuelles** fournissant une structure cohérente du savoir possible, d'autre part les **filiations de niveaux de formulations** possibles pour un même concept à différents niveaux.

trames
conceptuelles et
niveaux de
formulation

On peut éviter de la sorte un enfermement trop précoce des élèves dans des discours formalisés et favoriser au contraire une diversification des formulations acceptées, à condition qu'elles soient en accord aussi bien avec ce qui a été réalisé au cours de l'activité de classe qu'avec les données admises par la communauté scientifique. C'est ainsi que peut être surmontée l'apparente contradiction entre la nécessité pour chaque élève de construire personnellement son savoir par un effort de recherche, de création et de communication, et l'existence d'un acquis conceptuel socialisé que l'institution scolaire vise à transmettre avec efficacité.

mettent en
relation les
énoncés
successifs du
savoir scientifique

Ces **trames conceptuelles** ont pour fonction d'analyser la matière enseignée en mettant en relations internes et externes chacun des concepts ; les relations internes étant celles qui lient entre elles les éléments constitutifs d'un même concept, les relations externes celles qui lient un concept à d'autres limitrophes. Une telle analyse n'est pas insurmontable dans la mesure où le nombre de concepts intégrateurs est assez restreint dans chaque discipline, mais elle gagne à prendre appui chaque fois que possible sur les travaux épistémologiques antérieurs (pour la biologie, ceux de Georges Canguilhem nous ont été d'un apport particulièrement décisif).

En ce qui concerne la biologie dans son ensemble, les auteurs du rapport *Sciences de la vie et société*, François Gros, François Jacob et Pierre Royer, ne retiennent que trois concepts intégrateurs :

(24) Ce développement reprend, en les adaptant, quelques unes des pages rédigées pour l'ouvrage collectif cité, paru chez Peter Lang (1983).

"Trois notions-clés ont ainsi été mises en lumière.

La première notion c'est l'unité du monde vivant et la parenté de toutes les espèces. Tous les êtres vivants, du plus humble au plus orgueilleux, sont formés des mêmes matériaux. Le code génétique est universel.

La deuxième notion, c'est l'unité de la biosphère et l'interdépendance des éléments qui la constituent. D'où l'importance des mécanismes encore mal connus, qui maintiennent en équilibre cet important système. (...)

La troisième notion, c'est l'importance de la diversité du monde vivant : diversité des espèces sur la terre, diversité des individus au sein de l'espèce. C'est par la diversification des individus, par leur divergence progressive, que se forment les espèces nouvelles." (25)

pour éviter de présenter une "science en miettes"

Entre la "science en miettes" constituée par la multitude des énoncés élémentaires possibles et ces concepts intégrateurs, la plupart des notions scientifiques telles qu'elles sont formulées par les programmes occupent une position intermédiaire.

Le cas du concept de reproduction est particulièrement significatif puisque d'une part, il se construit à l'aide d'un nombre important d'énoncés élémentaires, et d'autre part, il concourt partiellement, en interaction avec d'autres, à la construction des trois "notions-clés" de la biologie. (26)

les trames : des grilles de référence pour situer les acquis

Il est hors de propos qu'un tel édifice, qui répond avant tout à une logique descriptive, puisse servir à imposer un cheminement pédagogique obligatoire ni même préférentiel, une "voie royale" qui s'imposerait pour l'enseignement. Sa fonction est plutôt de constituer une **grille de référence** qui permette au professeur de pointer les acquisitions des élèves dans l'ordre où elles se présentent, et de décider d'un cheminement particulier à chacune de ses classes. En effet, **les trames contribuent à modéliser la matière à enseigner** et attirent l'attention sur les relations logiques multifformes entre les concepts, leurs sous-éléments constitutifs et les signifiants variés qui permettent de les exprimer.

une modélisation de la matière à enseigner

On remarquera et on s'interrogera sur les convergences qui rapprochent les deux types d'organigrammes, ceux issus d'une analyse apriorique de la matière, et ceux résultant d'une construction scolaire empirique. Car ils doivent en effet, être simultanément distingués et mis en relation :

- distingués, puisque les uns décrivent des cheminements pédagogiques possibles, alors que les autres modélisent des structures de savoir ;
- mis en relation, puisque la fonction des seconds est précisément d'éclairer les décisions pédagogiques pouvant conduire

(25) François GROS, François JACOB, Pierre ROYER. *Sciences de la vie et société, Rapport au Président de la République*. Paris : La Documentation française. 1978. Repris en Collection *Points Seuil*.

(26) Cf. le modèle graphique de la trame conceptuelle relative à la reproduction, dans l'ouvrage collectif cité, 2^e édition, pages 128-129.

à la reformulation d'une notion déjà antérieurement abordée, et à la structuration des énoncés successifs.

Bref, si les premiers fournissent une structure logique sans implication scolaire temporelle, les seconds en constituent des actualisations partielles possibles, sous la forme de progressions pédagogiques régulées par ces trames conceptuelles.

En d'autres termes, reprenant des formules employées par Jean-Louis Martinand dans le même ouvrage collectif (cf. pp. 49-51), la trame a pour fonction pédagogique de constituer un tableau de référence qui permet de situer les acquisitions des élèves, et d'aider l'enseignant dans le choix de ses stratégies, sans les prédéterminer de manière contraignante. Elle fournit un cadre solide à quoi rapporter les représentations et explications exprimées ou construites, leur évolution, l'impact des actes pédagogiques. Ce cadre permet d'étudier par comparaison les processus d'apprentissage des élèves puisque les productions de ceux-ci sont multiformes et instables et qu'il faut les référer à des productions élaborées, adultes et sociales, bien situées.

La trame n'indique donc que des possibles, prenant appui sur une analyse solide de la matière qu'il revient aux enseignants d'actualiser, voire de relativiser. Elle fait pourtant apparaître le manque de fondement de ces prétendues "voies royales" à l'acquisition d'un concept, dégagées par la tradition, pour des populations scolaires sans rapport avec la situation actuelle, et avec la relative inefficacité que l'on sait. ⁽²⁷⁾

un cadre solide à
quoi rapporter les
représentations et
explications des
élèves

contre les
prétendues
"voies royales"

3.2. Le statut didactique des représentations et son évolution

De façon symétrique à l'accent mis sur l'analyse de la matière enseignée, d'importants approfondissements ont été nécessaires en ce qui concerne l'analyse et la prise en compte didactique des représentations des élèves.

Ces deux orientations sont d'ailleurs tout à fait complémentaires. L'une porte plutôt sur les processus de l'enseignement ; l'autre sur ceux de l'apprentissage. L'une envisage la construction des concepts à partir de leur terme : le savoir savant qu'il s'agit de reformuler ; l'autre à partir de leur genèse : le savoir initial des élèves qu'il s'agit de faire évoluer. Elles proposent ainsi deux parcours de sens opposés sur le "chemin du savoir", deux

représentations et
transposition
didactique : deux
parcours de sens
opposés sur le
chemin du savoir

(27) Deux publications fournissent des exemples de construction de trames conceptuelles construites dans ce cadre théorique, respectivement relatifs aux champs conceptuels de Reproduction et d'Ecosystème. Il s'agit de :

- Jean-Pierre ASTOLFI. "Processus d'apprentissage en sciences expérimentales", in *Bulletin Aster* 18 (ancienne série). 1980.

- Equipe de recherche ASTER. *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Collection *Rapports de recherches*. Paris : INRP. 1985.

parcours qu'il est nécessaire de conjuguer si l'on veut éviter une perspective constructiviste naïve, si l'on veut échapper à la fois à la tradition dogmatique et à l'illusion empiriste.

d'une perspective
polémique à un
souci descriptif

Comme on l'a dit, l'origine de l'intérêt pour les représentations des élèves a d'abord été d'ordre polémique, et l'enjeu initial de leur repérage, la mise en évidence de l'inefficacité des formes pédagogiques classiques, transmissives ou pseudo-dialoguées. Mais peu à peu, **cet intérêt s'est autonomisé et la perspective devenue plus descriptive**. Il faut dire que la tâche s'est révélée plus ardue que prévu, que la prise en compte des représentations n'a pas provoqué d'améliorations spectaculaires d'apprentissage telles qu'on les imaginait sans doute un peu naïvement.

En réalité, c'est l'idée même de représentation qui s'est trouvée modifiée, et dont nos publications successives gardent la trace.

Dans un article publié en 1978 dans le numéro de la *Revue française de pédagogie* rendant compte de la table ronde CNRS "Didactique des sciences et psychologie" (publication qui marque un moment décisif de la structuration de la didactique comme domaine de recherche), j'ai fait état de travaux conduits à l'école élémentaire sur le concept de vivant et son évolution chez les élèves du cours préparatoire.⁽²⁸⁾ On peut y voir à l'oeuvre une première conception, que l'on peut qualifier de **cartographique** des représentations des élèves.

les
représentations
comme
cartographie
mentale

Face à un concept scientifique donné, on s'efforce de déterminer un "état préalable des lieux", un inventaire des préconceptions que l'on peut s'attendre à retrouver en situation didactique. Elles sont certes replacées dans un cadre théorique, d'inspiration essentiellement piagétienne, mais celui-ci sert plutôt à les nommer qu'à en examiner, dans le détail d'une situation, la fonctionnalité cognitive. C'est là une conception relativement déclarative et substantialisée des représentations : des "choses mentales", décrites comme des invariants peu dépendants des conditions opératoires de fonctionnement, inférées à partir de questionnements ou de mises en situation qui servent d'abord de révélateurs. L'étude des représentations renvoie d'abord ici à un **constat empirique** résultant de moyens d'investigation simples. "Dessine-moi un mouton", je te dirai quelles sont tes représentations !

"dessine-moi un
mouton"

Outre son caractère excessivement chosiste, une telle conception mise trop fortement **sur l'écart** entre les déclarations des élèves et l'état du savoir savant. Et ce qui désigne une déclaration d'élève, orale, rédigée ou dessinée, comme une représentation, c'est d'abord la mise en évidence de cet écart. Bref, elles sont avant tout **fausses**, même si le statut de l'erreur se modifie dans le mouvement qui les fait rechercher.

Sur le plan didactique, il y a quelque chose de paradoxal dans cette approche. Car le recueil en est facile : il suffit de poser des

(28) Jean-Pierre ASTOLFI. "Les représentations des élèves en situation de classe", in : *Revue française de pédagogie*, 45. Paris : INRP. 1978.

les
représentations
comme
symétrique des
objectifs : la
simplicité
mécanique puis
la déconvenue

les
représentations
comme tâche
intellectuelle

et comme
stratégies
cognitives

toute réponse est
une transaction
singulière, malgré
les constantes de
l'activité mentale

questions ou de solliciter un dessin, et c'est bien là ce qui est attractif sur le plan pédagogique. La contrepartie, c'est l'accumulation de constats assez plats, provoquant un "effet catalogue", dont finalement on ne sait pas trop que faire.

En quelque sorte, **les représentations sont un symétrique des objectifs** ; elles partagent avec eux une facilité mécanique de détermination, mais aussi une pulvérisation divergente des produits obtenus dont, du coup, le sens se perd. Il n'empêche : comme les objectifs toujours, elles sont bien un "passage obligé" d'une centration didactique sur les élèves, et d'une prise de conscience de l'altérité de leur logique cognitive.

Toutefois, cette première approche a minoré deux aspects complémentaires qui ont provoqué son évolution : leur aspect stratégique pour l'élève et leur imbrication avec les cadres conceptuels de l'observateur.

En effet, loin d'être seulement un "toujours déjà-là", l'expression d'une représentation est aussi une **tâche intellectuelle** pour l'élève, une **stratégie cognitive** qui cherche à répondre à une situation provoquée. C'est le lieu de reprendre le célèbre aphorisme de Bourdieu : "l'opinion publique n'existe pas", de repenser aux critiques de Moscovici sur la signification des questionnements, de faire le rapprochement avec les sondages d'opinion. Dans tous ces cas, on le sait bien, la réponse ne peut être interprétée comme une simple image objective du réel dont le sens s'auto-organiserait - même si elle n'est pas dénuée d'indications fiables -, mais d'abord **comme une transaction** qui intègre l'observateur et les caractéristiques de la situation. Toute caractérisation de représentation nécessite alors une hypothèse de représentation de la part du chercheur. Hypothèse à laquelle celui-ci ne peut pas s'identifier sans réserve sous peine de ne retrouver in fine que la projection de ses convictions initiales. Mais hypothèse qu'il est néanmoins indispensable d'avoir en tête pour donner du sens aux données recueillies.

Dans les publications suivantes ⁽²⁹⁾ apparaît ainsi un nouveau point de vue, en rupture relative avec le précédent.

Certes, il y a probablement des **constantes** dans l'activité cognitive de l'élève, qui doivent apparaître lors d'un questionnement ou d'un entretien sur un thème notionnel. Il est même nécessaire de le postuler, sous peine de réfuter du même coup toute tentative d'analyse objective. Car, imaginons qu'à chaque situation nouvelle, il faille tout reconstruire sans pouvoir jamais rien transférer ... cela suffirait à réduire à néant toute tentative d'analyse, laquelle est bien obligée de postuler quelque invariant.

(29) Jean-Pierre ASTOLFI. "L'analyse des représentations des élèves, voie d'une différenciation de la pédagogie", in *Revue française de pédagogie* 68. 1984.

Equipe de recherche ASTER. *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*. Paris : INRP, Coll. *Rapports de recherches*. 1985.

Pourtant, on gagne à réfréner la généralisation facile, et à mieux étudier cas par cas le **fonctionnement des variables** de chaque situation : ce qui correspond aux particularités d'un problème étudié ou d'une question posée, au décodage qu'à tort ou à raison en fait l'élève, à la nature du "contrat (ou mieux, de la "coutume") didactique" instauré(e).

Certes, il y a également des **causes**, permettant de mieux situer et comprendre ce que dit l'élève à un moment donné, et l'on a pu s'efforcer de récapituler un certain nombre de registres explicatifs possibles, qu'ils soient d'ordre psychogénétique, historique ou archétypique, sociologique, voire psychanalytique. ⁽³⁰⁾ Qu'est-ce qui relève, par exemple :

- de l'inachèvement du développement cognitif (égocentrisme, anthropomorphisme ...) ?
- de la difficulté à dépasser la substantialisation pour concevoir le caractère abstrait d'une relation ?
- d'adhérences relevant de l'histoire psychologique personnelle ?
- de la confusion de l'imaginaire et du réel ?
- de la surdétermination de la pensée rationnelle par des aspects inconscients, des fantasmes ... ?
- des ambiguïtés du langage et de la polysémie des mots ?
- d'une prédominance de l'analogie, de l'image et des fonctions figuratives sur ce qui relève de l'opératif ?
- d'une représentation sociale résultant de la perception de la notion en jeu dans le milieu d'origine de l'élève ? etc.

certes, les représentations ont des causes

Une telle présentation fait apparaître le caractère composite des représentations, considérées du point de vue causal, et permet de différencier plusieurs registres de fonctionnement dans l'activité cognitive. Il ne s'agit pas de chercher naïvement à isoler les "couches d'un feuilletage", mais de rechercher au cas par cas, le niveau qui sature l'explication et la façon dont les différents niveaux interfèrent.

mais complexes et fluctuantes

Car l'important, c'est de s'appuyer sur ces explications causales ou ces éléments invariants, lorsqu'ils permettent de rendre compte du fonctionnement particulier d'une situation didactique, sans qu'ils constituent par eux-mêmes une réponse suffisante à laquelle la pensée pourrait s'arrêter, satisfaite.

C'est pourquoi nous nous sommes efforcés de ne pas nous satisfaire de formulations extraites de leur contexte et interprétées de manière trop absolue, mais de disposer de séquences (plus ou moins partielles ou complètes), décryptées et intégralement retranscrites.

rechercher le niveau d'activité de l'élève qui sature à chaque moment l'explication

Les publications récentes, précédemment citées, présentent, de manière détaillée, l'analyse de telles séquences du point de vue de l'interprétation des représentations (je renvoie aux publications citées dans la note 29, qui détaillent ces exem-

(30) Le développement suivant est repris de *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*, op. cité.

ples). Leur comparaison avec l'article cité de la Revue française de pédagogie (1978) fait clairement apparaître l'évolution problématique indiquée.

Deux exemples que j'ai plus particulièrement étudiés, mais qui ne peuvent être développés dans le cadre de cet article montrent par exemple :

- la présence simultanée, mais inapparente dans la discussion, de plusieurs conceptions des relations alimentaires du renard, et plus particulièrement des représentations de son caractère prétendument carnivore exclusif. Les modes d'explication en présence ne s'identifient qu'au prix de l'éclatement de la trame de la discussion, et de l'analyse séparée du corpus des répliques de différents élèves. On note alors que les échanges fonctionnent comme l'envers de conflits socio-cognitifs masqués, virtuellement possibles et fructueux, que seules les interventions orientées du maître pourraient rendre productifs.

- l'écart entre le projet du maître sollicitant d'un élève la schématisation des relations alimentaires au sein de la mare, et la construction à laquelle peut parvenir cet élève, intellectuellement disponible et très bien disposé. Les qualités d'écoute du maître, la qualité des interactions qui caractérisent l'échange, la multiplication des formes graphiques intermédiaires sollicitées, ne suffisent pas pour que l'élève puisse intérioriser les exigences du maître. Il modifie bien ses représentations, mais pour aboutir à un "ailleurs", à une néo-construction imprévue du maître, correspondant au progrès intellectuel maximal pour lui. On note que l'ensemble des répliques prend un sens différencié, selon qu'on le lit sur le versant où se tient le maître, ou sur celui qu'occupe l'élève.

des conflits socio-cognitifs virtuels peuvent rester masqués

une néo-construction imprévue peut émerger de la représentation initiale

3.3. Un concept didactique décisif : les objectifs-obstacles

Le concept d'objectif-obstacle, introduit par Jean-Louis Martinand dans sa thèse d'état, m'apparaît tout à fait décisif pour intégrer dans une même matrice la détermination des objectifs, l'analyse de la matière et ses noeuds de difficulté, l'activité intellectuelle de l'élève avec ses représentations. ⁽³¹⁾ Il devrait fournir une clé à partir de laquelle, dans les années à venir, se développera une nouvelle heuristique de recherche en didactique des sciences.

On sait que ce concept est par nature hétérogène et composite (ce qui ne veut pas dire hybride), puisqu'il tente un **couplage dialectique** entre deux perspectives qui d'ordinaire se rencontrent peu : le repérage des obstacles et l'analyse des objectifs. On a déjà noté que chacune de ces deux perspectives, prise isolément, reste finalement décevante quant aux possibilités

le couplage dialectique des objectifs et des obstacles

(31) Jean-Louis MARTINAND. *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang, 1986.

qu'elle offre à l'application didactique, après avoir soulevé espoir et souvent enthousiasme. Car elles conduisent aux mêmes constellations éclatées (diversité des objectifs virtuellement possibles pour une même activité, hétérogénéité des représentations co-présentes dans une même classe) sur lesquelles l'action didactique arrive difficilement à embrayer.

L'idée d'objectif-obstacle propose finalement une **double réduction asymétrique**, des objectifs possibles aux objectifs utiles d'une part, des obstacles repérés aux obstacles franchissables d'autre part. Mieux : elle se propose d'utiliser la caractérisation des seconds (les **obstacles franchissables**) comme un mode de sélection des premiers (les **objectifs utiles**).

C'est peut-être cette dynamique que le terme choisi par Martinand fait, semble-t-il, mal ressortir. Le simple appariement des deux mots objectif et obstacle induit peut-être davantage la dissonance que l'interaction, et paraît heurter la compréhension. Je proposerais volontiers pour ma part le terme **objectif trans-obstacle**, si cela permettait d'en mieux faire apparaître la nouveauté conceptuelle, sans introduire de néologisme abusif.

Un article rédigé avec Anne-Marie Drouin, a tenté d'appliquer systématiquement l'idée d'objectif trans-obstacle à un concept central de la biologie, celui de milieu. ⁽³²⁾ Et l'on peut voir, à cette occasion, comment cette idée permet d'associer comme on l'a dit, analyse de la matière, repérage des obstacles et détermination des objectifs.

Nous avons repris les travaux de Georges Canguilhem, décrivant l'introduction de ce concept importé au 18^e siècle de la mécanique dans la biologie, et caractérisant les rectifications épistémologiques successives, qui ont conduit à la conception actuelle des relations entre le vivant et son milieu. ⁽³³⁾

L'observation des manuels de l'enseignement secondaire et supérieur nous a montré qu'à ces ruptures successives, on peut faire correspondre des recouvrements sémantiques, encore à l'oeuvre aujourd'hui. Le terme milieu continue en effet à être employé dans des acceptions diverses qui témoignent de la persistance de représentations à caractère historique, y compris chez les scientifiques. C'est que les ruptures n'appartiennent pas qu'à l'histoire, mais restent toujours à opérer.

Quel rapport y a-t-il par exemple entre des expressions comme :

- la vie dans le milieu lacustre ("milieu-chose", encore proche de l'idée newtonienne d'"éther" reprise par Lamarck de manière plus substantialisée comme "fluide de sustentation"),

des objectifs
trans-obstacles ?

application au
concept
biologique de
Milieu

(32) Jean-Pierre ASTOLFI, Anne-Marie DROUIN. "Milieu" (analyse didactique), in : *Aster*, 3. 1986.

(33) Georges CANGUILHEM. "Le vivant et son milieu", in : *Connaissance de la vie*. Paris : Vrin. 1965.

milieu-chose,
milieu-facteurs,
milieu-centre

- l'influence des facteurs du milieu sur la répartition des espèces ("milieu-facteur", proche de l'"ensemble des circonstances influents" d'Auguste Comte),
- le milieu, projection externe des besoins du vivant considéré comme un "centre" qui rayonne davantage qu'il ne subit (comme dans l'exemple de la Tique, que Canguilhem reprend de von Uexküll) ?

Mais les obstacles ne sont pas qu'historiques, ils sont aussi empiriques comme le montre l'étude des représentations des élèves sur cette question. Et si l'on retrouve chez eux certains traits faisant écho à l'histoire des sciences, il s'en ajoute d'autres, plutôt psychogénétiques, que l'on a pu relier aux progrès de l'abstraction (passage à l'analyse et à l'idée d'interaction, dépassements des aspects substantiels ...) et de la décentration (dépassement de la conviction non réfutable, de l'anthropomorphisme, de la subjectivité intentionnelle ...) ; d'autres encore plutôt linguistiques, etc.

On se trouve ainsi en face d'un certain nombre de conceptions du milieu, de nature et d'origine hétérogènes (nous avons pu en dénombrer et en caractériser sept configurations essentielles), chacune pouvant être considérée - selon le point de vue que l'on adopte - aussi bien comme un progrès intellectuel par rapport à des conceptions plus primitives, que comme un obstacle à franchir pour accéder à une conception plus élaborée.

face aux
programmes
"spirales", un
système
"réticulaire"

Le système n'est pas linéaire, mais plutôt réticulaire ; il fournit des clés à partir desquelles peuvent être pensés les objectifs lorsque, comme c'est le cas pour milieu (mais aussi pour chaîne alimentaire, par exemple), une même notion revient de manière "spiralaire" dans les programmes des différents niveaux. Et quand on sait assez mal au fond, à quelle nouveauté conceptuelle correspond chaque réintroduction programmatique d'un élément vite "défloré".

4. EN CONCLUSION : LA COMPLEXIFICATION D'UN MODÈLE PÉDAGOGIQUE

Les publications qui viennent d'être présentées et mises en perspective, s'ordonnent comme on l'a vu, en trois sous-ensembles dont on a pu caractériser les évolutions problématiques autant que les résultats empiriques.

l'enrichissement
d'un modèle
constructiviste

Si on les envisage maintenant, en conclusion, de façon plus synoptique et diachronique, on voit qu'elles témoignent de la **complexification d'un modèle pédagogique de référence**, tel que Michel Develay a développé cette notion dans sa thèse. ⁽³⁴⁾

(34) Michel DEVELAY. *Contribution à la définition d'un modèle de formation initiale des instituteurs en activités d'éveil biologiques*. Thèse de 3ème cycle. Paris VII. 1983.

l'enrichissement
d'un modèle
constructiviste

Ce qui reste constant, c'est la recherche d'un **modèle constructiviste**, mettant le point à la fois sur l'importance des activités scientifiques (en réaction contre le verbalisme) et la centration sur la signification de l'activité pour l'élève (en réaction contre le dogmatisme).

Mais les termes en sont posés aujourd'hui dans des termes assez différents de ceux des années 70, ce qu'il faut bien évidemment relier à la transformation importante aussi bien du contexte idéologique que des problématiques dominantes de recherche.

"pédagogie de la
réponse,
pédagogie du
problème,
pédagogie de la
résolution de
problème"

Reprenant les distinctions de Philippe Meirieu, on peut dire que dans une opposition constante aux "pédagogies de la réponse", on est passé de la "pédagogie du problème" à la "pédagogie de la résolution de problème".⁽³⁵⁾

Le premier point de vue (malgré des réserves de style laissant pointer quelque pressentiment de son insuffisance) concevait l'apprentissage presque exclusivement par une construction inductive à partir d'une structuration progressive des résultats d'activités parcellaires. Les schémas proposés dans l'ouvrage collectif des Ed. Peter Lang (dont je suis largement responsable) sont bien caractéristiques à cet égard. On y note que toutes les flèches sont orientées dans le même sens, dans un mouvement d'abstraction généralisante des situations pédagogiques particulières et des acquis ponctuels qui en résultent (2^o éd., pp. 23, 32, 38). L'idée bachelardienne d'obstacle est bien citée, mais sa présence n'y est pas assez centrale. Les mots-clés de cette période sont plutôt : approche d'une notion, étapes de construction, niveaux de formulation, structuration progressive, etc.

une structuration
progressive des
concepts

On y décèle des traces de ce que Samuel Johsua a appelé le "mythe naturaliste", et qu'il critique dans les termes suivants : (Il existerait) *"un système naturel d'apprentissage, fondé sur une bonne correspondance entre le mode d'acquisition des connaissances de l'élève et la méthode expérimentale des sciences. L'idée fondamentale est que l'enfant va apprendre par une méthode de caractère inductif; qu'il va regarder, observer, comparer, raisonner, conclure.*

Ensuite, sa connaissance va s'organiser par un processus de mise en ordre du réel. Et ce qui compte avant tout, ce sont moins les connaissances elles-mêmes, que la méthode dite méthode scientifique. Les connaissances seront acquises silencieusement, comme conséquence des faits bien établis et bien organisés."⁽³⁶⁾

(35) Philippe MEIRIEU. "Guide méthodologique pour l'élaboration d'une situation-problème", annexe à : *Apprendre... oui, mais comment ?* Paris : ESF, 3^e éd. 1988.

(36) Samuel JOHSUA, Jean-Jacques DUPIN. *Représentations et modélisations : le "débat" scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne : Peter Lang, 1989.

qui n'échappe pas au "mythe naturaliste"

intégrer la contradiction fondamentale de l'apprentissage

c'est l'élève, et lui seul, qui peut construire son savoir ... mais en rupture avec ses modes de pensée initiaux

Malgré le caractère excessif de cette analyse critique, qui milite plutôt pour sa part en faveur d'un retour à la légitimité magistrale, à condition que le contenu didactique de l'activité soit minutieusement choisi, on peut accepter d'y reconnaître une part de vérité. Mais en la resituant **dans sa fonction polémique**, c'est-à-dire dans son contexte de lutte contre le dogmatisme et le traditionalisme ambiants, pour lesquels toutes les flèches seraient à dessiner en sens inverse ! Rappelons qu'on sortait à peine des leçons de choses et des études monographiques ...

Les travaux plus récents ne renient rien de la distinction posée entre les acquis ponctuels résultant d'une activité scientifique particulière, et la nécessité de les inclure dans une construction plus globale du savoir. Mais ils s'efforcent d'**intégrer la contradiction fondamentale de l'apprentissage**, que les premiers essais de prise en compte des représentations avaient sous-estimée.

Cette contradiction, nous pouvons l'exprimer de la façon suivante.

- D'une part, dans la lignée des mouvements d'éducation nouvelle, renforcée par la psychologie piagétienne, on se rend compte que **c'est l'élève qui construit son savoir** à partir de son activité manipulatoire comme intellectuelle, et que personne ne peut se substituer à lui dans ses réorganisations cognitives successives. Le rôle du maître est d'abord de mettre en place des dispositifs facilitants et de réguler les apprentissages sans s'y substituer.

C'est ici ce que Louis Not appellerait la part d'auto-structuration de la connaissance. ⁽³⁷⁾

- D'autre part et simultanément, on voit bien que l'essentiel des connaissances scientifiques maîtrisées au terme de la scolarité ne l'a pas été à la suite d'une investigation personnelle, et que les apports externes ont, eux aussi, une place centrale. Et surtout que **l'objet du savoir se situe en rupture** avec les intérêts, les besoins et les questions des élèves au moins autant que dans leur prolongement.

C'est là la part d'hétéro-structuration des connaissances.

Pour résoudre cette tension, il est plus commode de sacrifier l'un des deux termes en présence, l'un ou l'autre suivant le modèle pédagogique auquel on se réfère. C'est le premier terme qui est minoré quand on insiste sur les pertes de temps occasionnées par les recherches personnelles de l'élève pour un incertain profit. Les pratiques innovantes, elles, ont sous-estimé le poids du second, déclarant par exemple que lorsqu'une démarche est bien conduite, des connaissances en résultent nécessairement comme par surcroît.

Il y a là une réelle contradiction dans les termes (face à laquelle l'inter-structuration de Louis Not me paraît insuffisante), et que

(37) Louis NOT. *Les pédagogies de la connaissance*. Toulouse : Privat. 1979.

auto-
structuration,
inter-
structuration ?

l'on peut condenser par la formule suivante : un sujet en train d'apprendre le fait de manière active et ne peut y parvenir qu'en utilisant les seuls outils intellectuels dont il dispose (et qu'il pense adaptés à la situation) pour aboutir à une nouvelle organisation de ses connaissances. Laquelle ne peut être vue qu'*in fine* puisque l'accès au savoir suppose justement une rupture avec la façon dont il se posait jusque là la question. En d'autres termes, **l'élève est le centre organisateur incontournable d'un savoir qui lui est radicalement hétérogène.**

pas de complète
transparence
possible des
objectifs ... sauf à
sous-estimer les
obstacles à
franchir

Puisque la compréhension ne se transmet pas, on peut procéder sur certains points par résolution de problèmes qui ne sont pas posés d'emblée et ne se clarifient qu'à mesure, les élèves repérant peu à peu un obstacle qu'ils ne pouvaient pas voir, lequel concourt à la position du problème. Des ruptures intellectuelles plus ou moins importantes peuvent se produire grâce aux décentrations introduites, à la nécessité d'expliquer jusqu'au terme son point de vue à d'autres qui ne le partagent pas ... alors que le sens de ces rectifications pourraient n'être pas vu si on les imposait d'emblée. C'est bien pourquoi il ne saurait y avoir de complète transparence des objectifs pour l'élève, sauf à penser qu'il n'y a pas de véritable obstacle à franchir.

C'est cet aspect du travail scolaire qui est le plus proche du travail du chercheur et de ce que l'épistémologie nous apprend de l'émergence et du fonctionnement des concepts scientifiques.

Mais cela prend du temps, n'est possible que sur une partie du champ disciplinaire et n'aboutit qu'à des savoirs fragmentaires. Il faut donc, à d'autres moments, procéder par des voies différentes, où la découverte n'a pas le même rôle central. Les notions y sont présentées de manière systématique : on généralise, on s'appuie sur des documents ... Bref, on retrouve les caractéristiques d'une pédagogie plus classique.

Mais l'hypothèse qui nous paraît ici centrale, c'est que ces moments présentant des notions plus générales, des constructions de synthèse, prendront un sens différent si les élèves ont **par ailleurs** un contact avec la première approche. S'ils peuvent avoir sur certains points, et grâce à leur expérience personnelle d'exploration et d'investigation, **une idée de** "comment fonctionne la pensée scientifique". Cela leur fait percevoir différemment les présentations, même magistrales, conduisant aux formulations de la science socialisée.

un modèle
d'apprentissage
composé,
négociant des
éléments
hétérogènes en
tension
interactive

Ce double point de vue à prendre simultanément en compte revient à considérer les apprentissages scientifiques comme résultant à tout moment d'une **négociation entre deux termes en tension interactive**. Aucun des deux ne pouvant être sacrifié, ni même subordonné à l'autre. On s'est ainsi quelque peu éloigné du "mythe naturaliste" sans pour autant, bien au contraire, renier le constructivisme.

Face à cette évolution problématique, le vocabulaire qui n'est jamais innocent a évolué de manière significative. L'idée d'objectif-obstacle qui vient d'être développée, comme d'ailleurs celle de conflit socio-cognitif, répondent bien à une intériorisation et une conceptualisation de cette tension constitutive de l'apprendre, trop souvent sous-estimée.

Jean-Pierre ASTOLFI
Équipe de didactique des sciences expérimentales
Institut national de recherche pédagogique