

clarifier les
différentes
phases du
processus
d'élaboration

Dans le type de travail que nous proposons, la relation entre action pédagogique et recherche didactique s'inscrit dans le cadre d'une pensée technique. L'action est un **"produit"**, fruit d'un **"processus"**. La recherche a pour fonction de clarifier les grandes étapes de ce processus. C'est à la fois pour marquer des préoccupations communes et des différences que nous avons proposé le terme d'action-recherche pour caractériser notre travail.

2. L'ÉLABORATION DES CONTENUS D'ENSEIGNEMENT

Les contenus d'enseignement à construire doivent respecter la finalité d'ordre culturel des programmes de 1985 et couvrir les nouveaux domaines, électromécanismes, montages électroniques et systèmes informatiques. La première question à résoudre est celle des conditions à satisfaire pour une réelle initiation scientifique et technologique. A l'école élémentaire l'ambition est essentiellement de "sensibiliser et de préparer un terrain chez l'enfant, de le mettre en situation de découverte et d'expérimentation" (Alemanni 1986). D'autre part les réalisations techniques sont toujours complexes. Pour que les enfants en prennent la mesure, "une approche globale qui ne prétend pas résoudre toutes les difficultés" est nécessaire. Les enfants doivent manipuler, construire tout en abordant des problèmes scientifiques et technologiques (Martinand 1986 p.126-127).

une approche
globale des
problèmes
scientifiques et
techniques

Cette perspective conduit à s'affranchir des disciplines constituées. La question n'est pas de savoir comment introduire l'informatique ou l'électronique à l'école, mais de déterminer quelle prise en charge de ces nouveaux domaines sociotechniques (rôles, objets et connaissances) peut être assurée.

Les décisions à prendre se situent sur deux plans :

- celui des objets que l'on introduit en classe et des tâches des élèves à propos de ces objets ;
- celui des notions ou concepts abordés, mis en jeu au cours des activités.

2.1. La familiarisation pratique

Pour notre projet il nous a semblé utile de concevoir des objets d'enseignement qui ne renvoient pas exclusivement à l'un des domaines évoqués par les programmes mais qui les associent dans une même réalité complexe. Un automatisme, considéré selon ses aspects électromécanique, électronique et informatique apparaît alors comme un choix pertinent.

Depuis le plan "Informatique Pour Tous" de 1985, les ordinateurs sont présents dans les écoles. En 1986 la Direction des Écoles diffuse un système d'interfaçage adapté aux

choisir les objets
à introduire dans
la classe, définir
les tâches des
élèves

matériels Thomson. Afin de préserver une grande diversité de tâches pour les élèves, nous nous sommes fixé deux limites. Une limite financière : le matériel nécessaire à la mise en oeuvre dans les classes doit rester accessible à toute école primaire moyenne dont le budget est réduit. Une limite pédagogique : tous les éléments utilisés doivent être manipulables et étudiables par des élèves de cours moyen dans le cadre strict des programmes. On y trouve des composants électriques et électroniques simples : pile, ampoule, interrupteur, résistor, diode électroluminescente, vibreur, moteur électrique, relais électromécanique. Parmi plusieurs possibles, maquettes de feux de carrefour, de barrière automatique, etc, nous envisagerons ici l'exemple d'un mobile bidimensionnel. C'est un chariot avec deux roues indépendantes chacune entraînée par un motoréducteur. Les déplacements et les changements de direction sont obtenus selon le principe des engins chenillés. Chaque moteur est commandé en marche-avant, marche-arrière et arrêt par un ensemble de deux relais électromécaniques LRT montés en va-et-vient. Les électro-aimants des relais sont activés à partir des sorties de l'interface. Le mobile peut être équipé de voyants lumineux (D.E.L.) et d'avertisseurs sonores (vibreurs) également activés par les sorties de l'interface. Enfin des boutons poussoirs sont utilisés comme détecteurs d'obstacles et envoient des signaux électriques sur les entrées de l'interface. Le mobile est piloté par micro-ordinateur grâce à des programmes écrits en Logo.

Un tel système se prête à des types variés d'activités pour les élèves :

- l'utilisation raisonnée pour lui faire exécuter des trajets divers, à partir du clavier ;
- la programmation, avec l'écriture de l'ensemble des procédures de commande ;
- la construction de la partie mobile, assemblages mécaniques et câblages électriques ;
- l'étude des principes de fonctionnement et des phénomènes mis en jeu.

Ces différents points de vue, loin de s'exclure sont complémentaires. L'enseignement a donc ici pour but d'articuler entre elles des tâches diverses. Les apprentissages s'inscrivent dans le cadre d'un "contrat collectif de réalisation" (Martinand 1986 p. 128-130). Il est essentiellement question de faire vivre aux enfants un ensemble de situations de réalisation d'un système qui doit fonctionner. Au cours de cette initiation globale, des démarches d'investigation trouvent nécessairement leur place, dans le but de mieux maîtriser certains éléments matériels ou conceptuels utiles à la poursuite du but fixé.

Dans la classe, le maître doit gérer et organiser divers moments :

- les temps de compréhension des buts fixés (construction et utilisation d'un système piloté par ordinateur) et de familiarisation avec les matériels ;

- les temps de formulation des problèmes : comment réaliser un montage pour commander un moteur électrique en marche-avant, marche-arrière, arrêt ? Qu'est-ce qu'un relais ? A quoi sert-il ? Quelle séquence d'instructions permet de faire pivoter le chariot ?
- les temps de résolution de ces problèmes : réalisation de montages expérimentaux, étude du comportement de certains composants, essais de programmation avec rectification progressive des erreurs ;
- les temps de la réalisation technique : assemblages, câblages, écriture des programmes.

des tâches de réalisation et d'investigation pour les élèves

Se familiariser avec des objets, se poser des questions à leur propos et chercher à les résoudre, correspond à une recherche de compréhension et de maîtrise des matériels et des phénomènes. On place ainsi les élèves en situation de mener ce que l'on peut appeler une démarche d' "investigation".

A d'autres moments les activités sont totalement orientées vers la production effective d'un objet, dans ses aspects matériels (construction du mobile), et immatériels (écriture du programme de pilotage). On peut alors parler de démarche de "réalisation".

Le but est d'articuler ces deux approches investigation - réalisation de telle sorte qu'elles renvoient l'une à l'autre au sein même des activités des élèves. Les besoins de la réalisation rendent nécessaires la compréhension de certains phénomènes, la maîtrise du fonctionnement de certains éléments. Les connaissances acquises se définissent comme les résultats d'une démarche d'investigation et comme des outils utiles pour mener à bien la réalisation. L'approche de réalisation correspond à une dimension essentielle de la technologie. L'approche d'investigation présente des caractéristiques qui l'apparentent aux activités scientifiques. L'articulation entre ces deux approches doit donc permettre de maintenir un équilibre entre point de vue technologique et point de vue scientifique.

2.2. Vers un îlot d'intelligibilité

Sur le plan des élaborations conceptuelles notre souci n'est pas de définir des niveaux de formulation plausibles pour l'école élémentaire de concepts empruntés à telle ou telle synthèse disciplinaire. Nous avons cherché à construire autour du problème concret proposé à la classe, un îlot d'intelligibilité (Fourez 1991) qui organise les concepts rencontrés et utilisés par les élèves au cours de leurs activités.

définir et organiser les notions à partir d'un problème concret

L'organisation rigoureuse d'un tel îlot a notamment pour but de servir de cadre rationnel pour penser les interventions et les guidages assurés par le maître.

A propos d'un automatisme programmable la notion-pivot est celle de commande. Du point de vue scientifique et technique ce concept peut être revendiqué par les domaines de l'électrotechnique, de l'électronique et de l'informatique qui

constituent les différents champs disciplinaires que les experts ont tendance à projeter sur toute étude des automatismes.

La place centrale donnée à cette notion de commande se justifie sur deux plans.

Elle est au cœur de la décomposition de tout automatisme programmable en deux sous-ensembles principaux :

- le mobile proprement dit, dans ses aspects mécanique et électrique : il assure les fonctions de motorisation, il exécute les actions de déplacement ;
- le système de pilotage dans ses aspects électronique et informatique (matériel et logiciel) : il assure des fonctions de traitement des données et de transmission des décisions.

Elle représente un noeud dans l'articulation entre les différentes activités de réalisation des élèves :

au centre du
réseau
conceptuel, la
notion de
commande

- construction du mobile, notamment dans ses aspects électriques ;
- analyse des effets à obtenir, parcours à réaliser, détections d'obstacles, réactions à prévoir ...
- conception des programmes de pilotage.

Ceci nous a conduit à caractériser la notion de commande selon différents points de vue et à analyser quelques-uns des concepts technologiques ou scientifiques que les élèves sont amenés à faire fonctionner. Le critère qui guide cette analyse est celui de la pertinence des notions envisagées en regard des problèmes concrets que les élèves ont à résoudre.

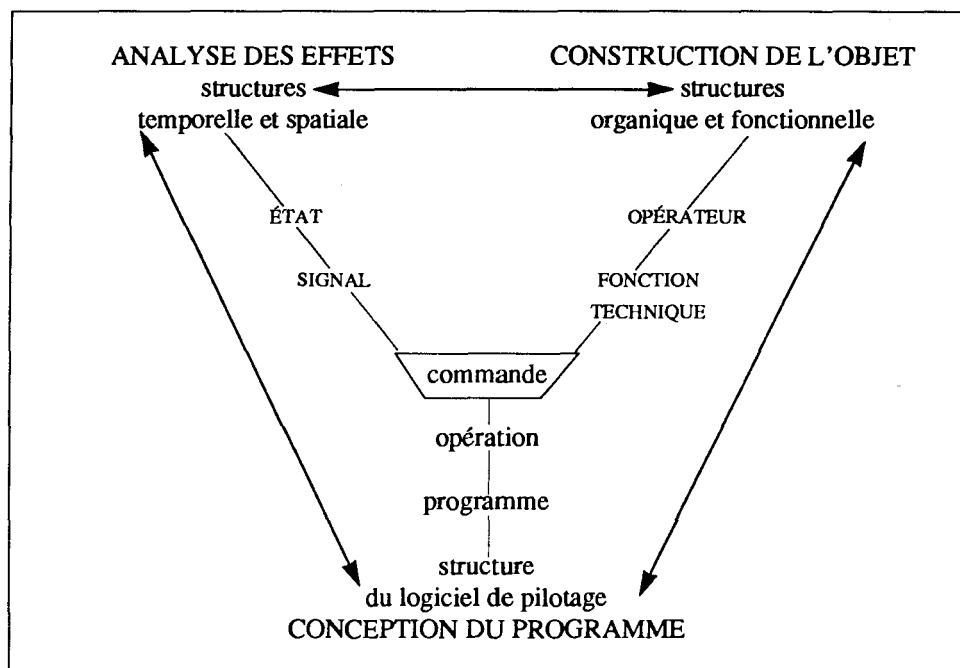
Concernant l'élaboration d'un "logiciel de pilotage" les notions d'opération et de programme sont à caractériser. Au cours de la construction et des premiers essais, les élèves sont amenés à dissocier les éléments constitutifs du système des rôles qu'ils assurent. C'est la différenciation entre organes et fonctions techniques qui est en jeu. Pour décrire les effets à obtenir, une première caractérisation élémentaire des notions de signal et d'état nous semble utile. Enfin les élèves sont amenés à réaliser des montages électriques et électroniques. Il faut envisager un cadre conceptuel nouveau pour analyser ces montages dès lors que le référent est nettement élargi par rapport au traditionnel pile-ampoule.

Le document 1 résume la structure du réseau conceptuel minimal.

3. DES NOTIONS PERTINENTES EN REGARD DES TÂCHES À ASSURER

Il importe de préciser que dans la suite nous évoquons essentiellement ce que l'on peut appeler des "notions en actes" (Vergnaud 1981). Leur validité reste locale, elles ne sont ni définitivement construites ou acquises, ni nécessairement formulées de manière claire par les élèves. C'est

pourtant dans leur "mise en actes" qu'il faut s'attendre à détecter les difficultés des élèves. Difficultés qu'il faut surmonter pour aboutir à la réalisation finale. Ceci nous amène dans la présentation à ne pas dissocier ce que les élèves ont réellement à faire de l'émergence des notions.



Document 1
Réseau conceptuel minimal

3.1. Construction de l'objet : notions d'opérateur et de fonction technique

Au cours de la construction du mobile les élèves sont conduits à s'interroger sur les mises en relation entre les divers éléments du système, liaisons mécaniques et liaisons électriques. Les premiers essais en commande manuelle les obligent à déterminer les fonctions de ces divers éléments et les modes de combinaisons possibles.

Nous avons choisi la structure du mobile de telle sorte qu'un ensemble d'opérateurs techniques assure un ensemble de fonctions, sans correspondance terme à terme, un organe - une fonction. Pour obtenir les différents modes de déplacement du mobile les élèves sont obligés de gérer simultanément les états des deux moteurs indépendants. Les moteurs ont trois états possibles, marche-avant, marche-arrière et arrêt, ce qui donne pour le mobile les neuf combinaisons différentes du document 2.

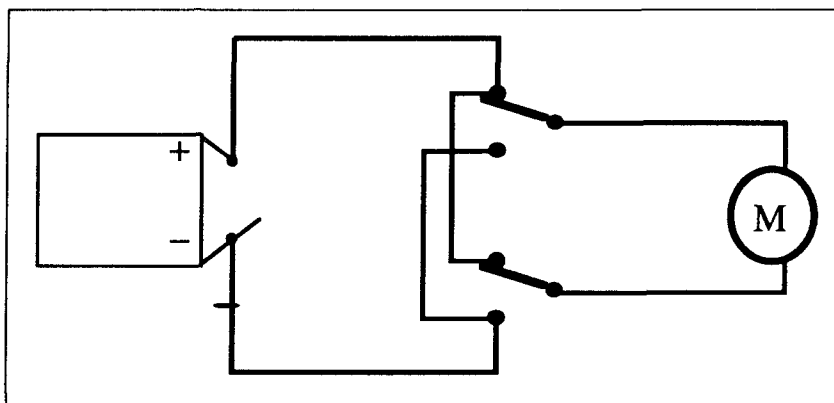
dissocier les opérateurs techniques des fonctions qu'ils assurent

		MOTEUR DROIT		
		AV	AR	ST
M O T E U R G A U C H E	AV	roule av	pivote dr	tourne av-dr
	AR	pivote ga	roule ar	tourne ar-dr
	ST	tourne av-ga	tourne ar-ga	arrêt

Légende : AV = marche-avant, AR = marche-arrière, ST = arrêt

Document 2 Différents modes de déplacement

Pour la commande d'un moteur, nous avons choisi un montage de type va-et-vient utilisant deux relais 1RT qui impose de gérer simultanément les états des deux relais pour obtenir un état déterminé du moteur. Dans le document 3 nous n'avons représenté que la partie inverseur des relais.



Document 3 Câblage d'un moteur et de deux inverseurs

Les différentes combinaisons possibles sont fournies par le tableau du document 4.

RELAIS-0	RELAIS-1	MOTEUR-GAUCHE
0	0	ARRÊT
1	0	ROTATION-AVANT
0	1	ROTATION-ARRIÈRE
1	1	ARRÊT

Document 4
Commande d'un moteur par deux relais

3.2. Analyse des effets : notion de signal et d'état

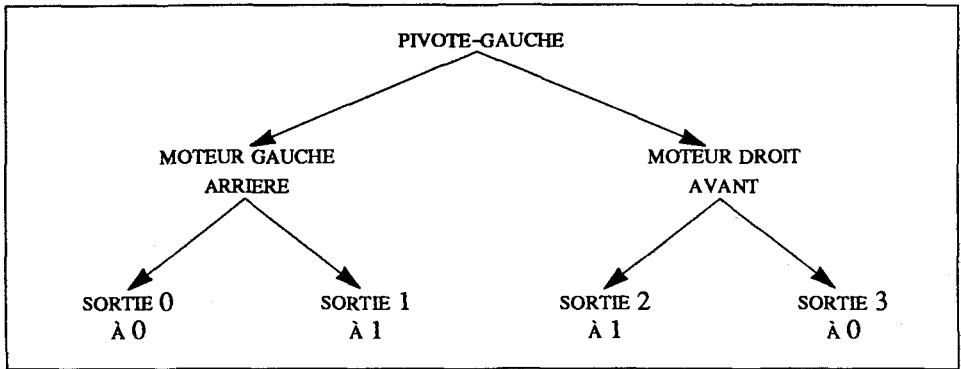
Pour obtenir un ensemble d'effets déterminés les élèves ont à gérer des successions de commandes. La question est alors de déterminer comment se caractérise la notion de commande de ce point de vue et ce que les élèves ont réellement à mettre en oeuvre.

Dans un montage électrique simple, un récepteur, par exemple un moteur, est actif ou inactif par action sur les inverseurs. La commande se présente alors comme une action déclenchant un changement d'état du système. Dans le temps, la commande est instantanée alors que l'état est permanent. Dans l'espace la commande est en général délocalisée par rapport à l'effet dont le récepteur est le siège. Il y a transmission instantanée d'un point à un autre de ce que l'on peut appeler un signal. Le signal est conçu comme un changement, une transition transmise, ici transition d'un niveau de tension à un autre. Sa transmission est la condition du changement d'état.

la transmission
d'un signal
comme
condition d'un
changement
d'état

3.3. Logiciel de pilotage : notions d'opération et de programme

Pour le pilotage, la classe dispose de deux types de logiciels en Logo. L'un, indispensable, propose des instructions élémentaires qui permettent de commuter chaque sortie indépendamment des autres, de repérer l'état de chaque entrée et de gérer la temporisation entre deux actions consécutives. L'autre propose un ensemble de procédures évoluées de commande adaptées au mobile et organisées selon ses structures fonctionnelle et organique. Parmi les différents niveaux de procédures, le maître choisit celles qu'il fournit aux élèves et celles qu'ils ont à concevoir. Elles agissent aux divers niveaux de la structure (voir document 5).



Document 5 Structure de programmation

Un programme de pilotage est une séquence d'opérations. Les notions de mémorisation des instructions tapées au clavier et de temporisation dans la succession des différentes commandes doivent être dégagées pour penser cette séquence. L'exécution du programme apparaît comme l'émission de signaux qui déterminent les changements d'état de la partie opérative du système, c'est-à-dire du mobile et donc de ses moteurs.

3.4. Montages électriques et premières interprétations

Les problèmes de l'enseignement de l'électricité ont donné lieu à de nombreux travaux en didactique des sciences. J.L. Closset montre comment l'expression "courant électrique" peut être source de malentendu entre enseignants et élèves (Closset 1983). A. Thiberghien dans une revue de différents travaux français et étrangers met l'accent sur les obstacles que provoque une introduction prématurée de la notion de courant. Elle montre d'autre part que les conceptions des élèves s'expriment en terme de circulation linéaire de ce que l'on peut nommer "énergie électrique", de la pile vers l'ampoule (Thiberghien 1983).

Pour envisager une première structure conceptuelle pertinente en regard des montages électriques et électroniques que les élèves ont à réaliser nous avons été amené à évacuer la notion pourtant chère aux physiciens de courant électrique, caractérisé même implicitement par son intensité. De manière similaire nous avons évité d'utiliser la notion d'information chère aux informaticiens mais qui reste à l'école élémentaire trop vague et d'interprétation trop substantialiste. Nous lui avons préféré les notions d'état stable et de transmission du signal qui conduisent à des interprétations en termes de niveaux de tension, physiquement plus

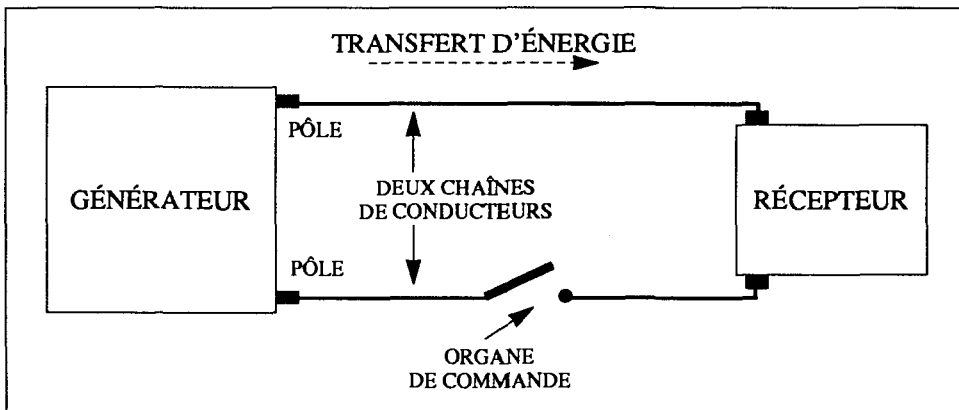
adaptées et plus opératoires pour les problèmes que les élèves rencontrent.

Dans un premier temps, une analyse fonctionnelle met en avant les problèmes de transfert et de transformation d'énergie. Les montages sont décrits selon une structure linéaire et non en boucle fermée (voir document 6).

- Une source produit ou stocke "quelque chose" qui est ensuite fourni dans le montage.
- Un récepteur consomme et transforme ce que la source lui fournit.
- Source et récepteur sont reliés par un ensemble de deux chaînes de conducteurs.

Il y a transfert de ce "quelque chose" que l'on peut nommer énergie électrique, de la source vers le récepteur. Cette représentation exprime la nécessité opératoire de deux connexions. Elle n'implique pas le concept de circuit en boucle.

les montages
électriques,
premières
lectures en
termes de
fonction et de
distribution



Document 6

Description d'un montage électrique

une source ou générateur, un convertisseur ou récepteur
deux chaînes de conducteurs, un organe de commande.

Dans un deuxième temps, un travail de modélisation, basé sur une approche des niveaux de tension permet une première interprétation du fonctionnement des objets électriques. L'étude de montages mettant en oeuvre des associations série et parallèle de piles, pour lesquels on compare les effets obtenus sur une ampoule permet de déterminer empiriquement la règle d'addition des tensions. La comparaison de montages présentant les associations série et parallèle de deux ou trois ampoules permet de mettre en évidence l'importance de la tension appliquée aux bornes d'un récepteur ainsi qu'une première approche qualitative de la règle de répartition des tensions dans un montage série. La mise en oeuvre de composants à fonctionnement asymétrique tels

un travail de
modélisation vers
la notion de
niveaux de
tension

que diode électroluminescente, vibreur, moteur permet de préciser la différenciation entre les deux pôles d'une pile.

La tension est alors décrite comme une différence entre deux niveaux : un niveau haut (pôle +) et un niveau bas (pôle -). Dans le cadre de cette description, la formulation suivante est accessible : "Pour être actif un récepteur doit être "pris" entre un niveau haut et un niveau bas de tension. Chaque connexion assurée par une chaîne de conducteurs a pour fonction de transmettre un niveau de tension fourni par le générateur."

Ce modèle est cohérent avec la commande décrite en termes de signal et d'état. La commande consiste à transmettre ou non un niveau de tension. Le signal émis correspond à une transition entre deux niveaux de tension, comme changement de niveau ; ce signal est instantanément transmis à l'autre bout de la chaîne de conducteurs.

Pour la réalisation des montages électriques de la partie effectrice de l'automatisme, aucun document de type fiche technique n'est fourni aux élèves. Le maître doit donc mettre en place des détours sous la forme d'activités d'investigation à partir de problèmes du type : "comment câbler un moteur électrique pour pouvoir le commander en marche-avant, marche-arrière et arrêt ?"

Pour ces activités la classe dispose d'un ensemble de fiches d'investigation. Elles se présentent sous la forme de protocoles proposant la réalisation et l'étude de montages expérimentaux mettant en oeuvre divers objets électriques ou électroniques (pile, ampoule, moteur, relais électromécanique, diode, DEL, résistance, vibreur).

La tâche des élèves consiste à lire des dessins, des schémas de montages et à les réaliser. Pour aller plus loin que le simple "ça marche !" des protocoles écrits guident les essais et les observations. Quelques questions tentent de faire dégager aux élèves des règles opératoires ou un début d'interprétation. Des moments de synthèse doivent permettre à l'enseignant de fixer au cours d'un débat dans la classe les quelques règles que l'on peut réinvestir dans la réalisation de l'automatisme.

4. L'ÉPREUVE DU TERRAIN : PREMIERS ESSAIS

L'étude des conditions de mise en oeuvre s'est déroulée au cours d'essais dans onze classes de CM1 et CM2. L'objectif était de tester la faisabilité du projet d'enseignement. Pour que cette étude ait un sens il a fallu définir des règles régissant les essais en classe et choisir des critères de faisabilité à repérer.

4.1. Quelques règles

Les essais se déroulent dans des classes banales, sans intervention directe de notre part auprès des élèves, et avec des maîtres placés en situation d'innovation personnelle dans le cadre de l'application des programmes. Nous avons cherché à éviter que le processus d'évaluation de l'expérimentation n'interfère avec les conditions habituelles d'enseignement dans les onze classes qui nous ont servi d'échantillon.

le maître dispose
d'outils
didactiques,

Pour être en situation de piloter personnellement le projet dans leur classe, les enseignants doivent disposer de tous les éléments nécessaires, matériels et documentaires. Un ensemble d'aides didactiques leur est ainsi fourni.

- Un document complet, "**chariot : construction et pilotage**" présentant l'ensemble des données techniques et scientifiques mises en jeu dans le projet de réalisation d'un mobile piloté par ordinateur. Il permet de définir les termes du "contrat de réalisation" à passer avec les élèves et le projet technique qui est à la base de ce contrat.
- Des "**fiches d'assemblage**" pour la construction mécanique du mobile, avec la liste du matériel et divers plans d'ensemble de l'objet.
- Les "**logiciels de pilotage**" en Logo déjà évoqués.
- Les "**fiches d'investigation**" concernant les montages expérimentaux.

Cet ensemble est modulaire. Le projet n'est donc pas fourni "clefs en main". Un certain nombre de choix relève de la seule responsabilité de l'enseignant dans sa classe. Pour cela il dispose des éléments lui permettant de prendre des décisions quant aux aspects qu'il choisit d'approfondir avec les élèves et quant aux modalités d'articulation entre les diverses activités, tout en restant dans le cadre du projet global de réalisation. Il peut amener les élèves à élaborer l'ensemble des procédures de commande du mobile ou bien leur fournir les procédures évoluées qui déclenchent les divers modes de déplacement. Il peut limiter les utilisations possibles à l'automatisation simple où le mobile exécute des trajets déterminés ou bien introduire un détecteur d'obstacle qui implique l'utilisation des notions de test et de structure conditionnelle dans les programmes. Pour l'utilisation des fiches d'investigation, le maître peut privilégier les activités de modélisation à propos des montages électriques ou bien limiter les recherches des élèves au strict nécessaire pour la réalisation pratique des câblages du mobile. C'est à travers ces choix que sont déterminés la durée de l'ensemble du projet, les objectifs que l'on peut atteindre et les difficultés que les élèves ont à surmonter.

il est responsable
des choix
pédagogiques

les modes
d'appropriation
du projet par les
maîtres sont très
variés

4.2. Des critères de faisabilité

Pour valider la pertinence de nouveaux contenus d'enseignement, il faut d'une part s'assurer qu'ils sont enseignables c'est-à-dire que la majorité des enseignants sont en mesure de les prendre en charge et d'autre part définir les acquisitions que l'on est en droit d'espérer pour les élèves.

Dans les conditions de temps et de moyens de cette recherche, il n'était pas envisageable de mener une évaluation exhaustive du projet d'enseignement, nous nous sommes donc orienté vers la seule étude de faisabilité au détriment d'une étude d'impact auprès des élèves.

Deux aspects ont retenu notre attention. Du côté des élèves nous nous sommes attaché à vérifier que toutes les activités aboutissent matériellement tant sur le plan des expérimentations que sur celui de la réalisation technique. Ceci revient à s'assurer que les tâches prévues pour les élèves sont raisonnables en regard de leurs capacités. Du côté des enseignants nous avons cherché à déterminer comment ils s'approprient le projet d'enseignement en l'adaptant. Pour cela nous avons surtout analysé les différents modes de séquentialisation des activités mis en place par les maîtres. En effet, très vite il est apparu que les modalités de séquentialisation des activités peuvent être très variables d'un enseignant et d'une classe à l'autre. Elles oscillent entre deux pôles :

- une démarche de type synthétique qui consiste à faire au préalable un certain nombre d'expérimentations sur les objets et phénomènes, en allant de problèmes simples vers des problèmes plus complexes, pour aboutir à la réalisation technique du mobile ;
- une démarche de type analytique qui part du mobile pris dans sa globalité et tente de décomposer petit à petit les problèmes complexes que pose sa réalisation en problèmes de plus en plus simples, pour aboutir à une meilleure compréhension des principes mis en jeu et une meilleure maîtrise du système dans toutes ses dimensions.

4.3. Quelques résultats

Les données sur lesquelles nous nous appuyons proviennent de questionnaires écrits proposés aux maîtres-nouveaux, de journaux de bord remplis après chaque séance par quatre d'entre eux et des productions écrites et matérielles des élèves.

Dans toutes les classes où le projet a été testé, la réalisation et le pilotage de l'objet ont été menés à leur terme et tous les élèves ont eu l'occasion de participer à l'ensemble des activités. Le croisement de différentes réponses aux questionnaires permet d'affirmer que dans tous les cas il s'agit d'une production matérielle effective des élèves, les enseignants n'intervenant que sur le plan de l'organisation du travail.

L'existence de ces productions atteste que le contrat initial de réalisation est rempli dans des conditions très satisfaisantes. L'une des finalités du projet d'enseignement, faire vivre une démarche de réalisation aux élèves, est manifestement atteinte.

les élèves
mènent jusqu'à
son terme la
réalisation d'un
automatisme

La phase de réalisation des câblages électriques et des premiers essais a présenté un certain nombre de difficultés et nécessité plusieurs séances de travail. Une fois cette étape franchie, la programmation et la compréhension de la structure des procédures de pilotage n'ont présenté que très peu de difficultés pour les élèves. Il semble bien que les difficultés résident dans les structures organique et fonctionnelle du système ; une fois celles-ci maîtrisées l'élaboration d'un programme de pilotage ne pose pas de problème particulier. La réussite des élèves est donc un indice de la compréhension de ces structures.

En ce qui concerne les fiches d'investigation, chacune d'entre elles a été utilisée au moins une fois dans une classe. Les maîtres ont repéré certaines difficultés pour les élèves mais jamais insurmontables. Au début les difficultés sont liées à la lecture des fiches. Elles sont de deux ordres, difficultés de compréhension du vocabulaire scientifique et technique, difficultés à appréhender la structure logique des protocoles écrits et à les mettre en oeuvre pas à pas. Très vite les enseignants notent dans leurs journaux de bord des progrès sensibles sur le plan de l'autonomie, de l'efficacité et de la rapidité de mise en oeuvre des fiches. Pour les élèves les difficultés ne résident plus dans la réalisation des montages mais dans l'interprétation des phénomènes constatés et dans la formulation de quelques règles de fonctionnement.

certaines
conditions
matérielles de
mise en oeuvre
doivent être
réunies

Au bout de onze premiers essais dans des classes, on peut conclure à une bonne adéquation entre les tâches proposées aux élèves et leurs capacités. Toutefois certaines conditions matérielles de mise en oeuvre doivent être respectées. Le projet a toujours été mis en oeuvre avec des groupes classes peu chargés, 24 élèves maximum en classe entière ou bien 15 à 16 élèves en dédoublant les classes. Les maîtres ont insisté sur la nécessité que leur soit fourni l'ensemble du matériel et des documents et le fait qu'ils puissent à tout moment obtenir aide ou conseil technique auprès d'un formateur ou d'un conseiller pédagogique.

Le deuxième point sur lequel a porté l'évaluation concerne la cohérence d'ensemble du projet d'enseignement. Nos propositions visent un équilibre dans les activités de classe entre les points de vue technologique et scientifique. Nous avons donc cherché à évaluer dans quelle mesure cet équilibre est réellement atteint en étudiant l'articulation entre les approches de réalisation et les approches d'investigation. Dans l'ensemble des onze classes, le projet a duré en moyenne une quinzaine d'heures, avec des fluctuations de deux à trois heures. Dans les quatre classes pour lesquelles

nous avons dépouillé la totalité des journaux de bord, les durées sont les suivantes :

classe (1) 15 heures, classe (2) 17 heures, classe (3) 14 heures, classe (4) 12 heures.

L'analyse des activités de classe nous a conduit à répartir a posteriori les séances en quatre catégories disjointes :

- (A) séances de familiarisation avec l'idée du projet technique, avec les matériels et documents ;
- (B) séances d'expérimentation à propos des montages électroniques, des électromécanismes, de la programmation ;
- (C) séances de construction, assemblage de la maquette, câblages électriques ;
- (D) séances d'automatisation, liaison avec le micro-ordinateur, écriture des programmes de pilotage.

Les deux premières catégories (familiarisation et expérimentation) correspondent à une approche d'investigation, les deux dernières (construction et automatisation) à une approche de réalisation.

Pour les quatre classes nous avons relevé les temps consacrés à chaque catégorie d'activités. Nous reproduisons dans le document 7 les temps relatifs, exprimés en pourcentage de la durée totale du projet.

Activités	Classe (1)	Classe (2)	Classe (3)	Classe (4)
Fam (A)	15%	17%	14%	25%
Exp (B)	45%	38%	22%	14%
Const (C)	23%	18%	36%	39%
Auto (D)	17%	27%	28%	22%
	60%	55%	36%	39%
	40%	45%	64%	61%

Document 7

Répartition des activités selon les classes

Les importances relatives des démarches d'investigation et de réalisation oscillent entre 40 % et 60 %. Les deux aspects restent toujours présents et l'on peut considérer, en première analyse, que la cohérence d'ensemble du projet est dans tous les cas préservée. Toutefois, les disparités constatées d'une classe à l'autre dans les répartitions horaires ne sont pas uniquement conjoncturelles. Elles sont le signe des choix pédagogiques d'enseignants qui se sont appropriés l'ensemble du projet en l'adaptant.

Pour ces essais en classe, nous avons pris le parti de fournir aux enseignants l'ensemble des aides didactiques nécessaires, matériels, documents et logiciels ; d'animer un

groupe de "formation-expérimentation" avec des réunions mensuelles ; mais de ne jamais intervenir directement dans les classes ou dans les choix d'organisation des séances. Cette volonté de laisser la plus grande liberté possible aux enseignants dans l'organisation de la classe et dans l'exploitation du projet avait pour but de tester nos propositions dans les conditions les plus banales possibles de pratique de classe. Cette position a de toute évidence favorisé l'émergence des disparités entre les classes.

le maître a toute liberté pour gérer sa classe et exploiter le projet

Les différentes répartitions horaires recouvrent des différences plus profondes dans l'articulation entre les moments de réalisation et les moments d'investigation. Deux tendances apparaissent assez nettement.

Dans la classe (1) l'enseignant a mis en place systématiquement un ensemble d'activités d'investigation préalables portant sur le fonctionnement des composants électriques et les notions utiles pour mener à bien le projet technique. Les activités de réalisation proprement dites ne commencent qu'à la treizième séance. La démarche est essentiellement synthétique, avec une longue phase de construction progressive des connaissances suivie d'un réinvestissement des acquis.

Dans la classe (3) la première séance est d'emblée consacrée à une discussion où le contrat de réalisation est clairement présenté par le maître. Par la suite les séances de construction et d'essais du mobile alternent avec des séances d'investigation sur les montages électriques. Seules les trois dernières séances sont consacrées à la programmation. Ici c'est le projet de réalisation technique qui guide l'ensemble des activités. Les problèmes soulevés par la construction justifient les détours par des activités d'investigation qui ont alors but essentiel de fournir des solutions. La démarche est de type analytique.

des approches pédagogiques très diversifiées...

Les propositions d'enseignement de ce projet, qui se matérialisent dans les aides didactiques fournies aux maîtres sont essentiellement modulaires. Les activités de classe dépendent en grande partie des éléments matériels et conceptuels que l'on donne aux élèves ou bien que l'on construit avec eux. Ces choix déterminent pour beaucoup les situations pédagogiques et les tâches des élèves, ils relèvent de la seule responsabilité du maître qui est seul à pouvoir prendre concrètement des décisions dans sa classe. D'autre part il n'existe pas d'ordre chronologique à respecter a priori. On peut, soit chercher à résoudre l'ensemble des problèmes soulevés par la mise en oeuvre de composants électriques, électromécaniques et électroniques avant d'entamer la réalisation technique, soit commencer par la construction mécanique du mobile puis résoudre les problèmes de câblages au fur et à mesure des nécessités.

... mais l'articulation réalisation-investigation est maintenue

La souplesse des propositions d'enseignement, qui permet divers modes de traitement et d'approche est garante de l'adaptabilité du projet aux classes et surtout aux enseignants.

5. LA FORMATION DES MAÎTRES

Avec les montages électroniques, les matériels et les techniques informatiques c'est à un ensemble totalement nouveau d'objets, de pratiques et de notions que se trouvent confrontés les maîtres de cours moyen. Pour la grande majorité d'entre eux, cet ensemble ne rencontre aucun écho dans leurs formations antérieures, générales ou professionnelles. Cet état de fait a créé chez les enseignants concernés un malaise certain, parfois accompagné d'un phénomène de rejet de cette partie des programmes. La formation doit donc en premier lieu dédramatiser la situation.

5.1. Les buts de la formation

En primaire les enseignants sont généralistes, ils ne peuvent se spécialiser réellement dans des domaines pointus de la technologie et de l'informatique. Les autres domaines d'enseignement évoluent, se rénovent et nécessitent eux aussi des actions de formation. Ceci nous a conduit à concevoir des actions de formation continuée de courte durée, de l'ordre de trois semaines. Ces actions de formation ont pour but clairement énoncé, de déboucher sur la mise en oeuvre par les formés, dès leur retour dans les classes, d'activités avec les élèves dans les domaines des montages électroniques, électromécanismes et automatismes, en application des nouveaux programmes de sciences et technologie. Donc une formation professionnelle immédiatement réinvestissable sur le plan des pratiques de classe. Ceci suppose qu'un certain nombre de buts ont été atteints en cours de formation.

une formation
professionnelle
immédiatement
réinvestissable

• *Maîtrise du matériel*

Les instituteurs doivent être capables d'assurer la gestion et la maintenance de l'ensemble des matériels et systèmes techniques qui forment l'ossature des nouveaux programmes

- composants électroniques ;
- électromécanismes, motoréducteurs, relais ;
- ordinateurs, systèmes d'interfaçage, logiciels.

C'est-à-dire :

- savoir quels matériels se procurer, où et comment se les procurer (composants divers) ;
- connaître les modes d'utilisation pratique de ces matériels (systèmes informatiques) ;
- pouvoir mettre en oeuvre quelques procédures de détection de pannes afin de localiser les dysfonctionnements et d'y remédier dans les cas simples (faux contacts électriques, "bugs" dans les programmes de pilotage, etc).

• **Maitrise des contenus**

Les instituteurs doivent acquérir l'ensemble des notions et concepts abordables au niveau d'enseignement des classes de cours moyen :

- concepts techniques de fonctions, opérateurs, programmes, etc ;
- distinction signal - état ;
- distinction transfert d'énergie, transmission de signaux ;
- modélisation en termes de niveaux de tension pour les montages électriques et électroniques.

• **Maitrise de la classe**

Les instituteurs doivent être en mesure de faire des choix argumentés à propos des démarches pédagogiques à mettre en oeuvre pour mener à bien un projet d'enseignement.

Organisation de la classe :

- travail en groupe ou individuel ;
- répartition des tâches ;
- rotation des élèves sur les différentes activités.

Organisation des activités :

- gérer l'articulation réalisation-investigation.

Modalités de guidage des élèves :

- travail autonome de chaque groupe ou consignes communes pour toute la classe ;
- aides individualisées ou apports d'informations systématiques, etc.

5.2. Méthode pour une formation professionnelle

Nous avons cherché à concevoir des formations qui privilégient systématiquement les savoirs et savoir-faire professionnels immédiatement réinvestissables, au détriment d'une formation plus académique et théorique, transposition vers les maîtres du primaire de disciplines universitaires, technologiques ou scientifiques.

Les actions de formation consistent en une présentation des objets, systèmes techniques et aides didactiques constitutifs du projet d'enseignement. Cette présentation est menée dans le cadre d'activités que nous qualifions d'**exploration-appropriation**. Cette exploration systématique des matériels et des aides didactiques s'inscrit initialement dans des activités pratiques et manipulatoires, elle doit ensuite déboucher sur un ensemble d'élaborations conceptuelles et sur la maîtrise des contenus d'enseignement. Dans ces domaines où la majorité des enseignants ne disposent d'aucune connaissance spécialisée préalable, et n'ont pas reçu d'enseignements qu'ils pourraient être tentés d'utiliser comme modèles, il existe un certain isomorphisme entre les situations de formation pour les maîtres et les situations d'apprentissage pour les élèves. Les maîtres doivent résoudre pour eux-mêmes les mêmes types de problèmes que ceux qu'ils auront ensuite à gérer dans leur classe.

les situations de formation pour les maîtres...

sont proches des situations d'apprentissage pour les élèves

Les aides didactiques liées au projet d'enseignement se présentent soit comme des outils pour l'élève afin de le guider dans les activités d'investigation et de construction, soit comme des outils pour le maître isolé dans sa classe afin de servir de cadre pour la gestion des activités de classe. Au cours des stages, l'ensemble de ces aides est utilisé comme dispositif de formation permettant d'acquérir les connaissances et compétences nécessaires à la pratique de classe. Il est indispensable que les enseignants parcourent l'ensemble des fiches d'investigation, et mènent à son terme une réalisation personnelle depuis la construction jusqu'au pilotage. C'est uniquement sur la base de cette pratique personnelle que l'on peut tenter avec les instituteurs, l'analyse de toutes les difficultés de construction et de compréhension que les élèves ont à surmonter.

Du point de vue des élaborations conceptuelles, il ne s'agit pas de les envisager pour les enseignants à un niveau radicalement différent de celui accessible aux élèves. La différence essentielle réside dans le fait que pour les maîtres ces élaborations doivent être systématiques. Ils doivent maîtriser l'ensemble du réseau conceptuel, ce qui n'est pas obligatoirement le cas pour les élèves. A titre d'exemple, l'étude de la plaque à relais permettant le pilotage du chariot peut se limiter dans les classes à une description organique, à la définition de sa fonction globale de commande et à l'énonciation d'un mode d'utilisation qui prend la forme d'un "discours d'action". Les enseignants quant à eux, ont à analyser le principe du montage à deux inverseurs et ses effets sur les doubles liaisons entre moteur et générateur, ainsi que la fonction du circuit de commande des relais, avec les bobines d'électro-aimant.

Cette exploration systématique des contenus passe également par l'analyse pour chaque situation, des différents niveaux de lecture et de formulation possibles :

- simple description correspondant à une structuration des éléments permettant la manipulation ;
- analyse en termes de fonctions techniques et de combinaisons de ces fonctions ;
- début d'interprétation et recherche de relations causales.

Enfin ces explorations doivent déboucher sur une réelle appropriation par l'enseignant des objets et systèmes techniques, par l'acquisition d'une maîtrise pratique suffisante de ces systèmes. Elles doivent également aboutir à l'appropriation du projet d'enseignement lui-même, à travers l'ensemble des aides didactiques. Cette appropriation passe par des transformations, des reformulations, par l'élaboration pour chacun, de modalités personnelles d'utilisation des différentes aides didactiques fournies.

Cette nécessaire adaptation est rendue possible par la structure modulable de l'ensemble des activités du projet, structure qui s'inscrit dans la modularité des aides proposées. La souplesse ainsi créée doit permettre à chaque enseignant d'intégrer les aspects novateurs des contenus et

des méthodes d'enseignement du projet dans ses propres "habitudes" pédagogiques.

5.3. Limites et évolutions possibles

La première limite des actions que nous proposons réside dans le manque d'une formation théorique solide, d'un niveau nettement différent pour les maîtres, de celui souhaitable pour les élèves. Une deuxième limite, plus importante, réside dans le fait que nous apportons aux enseignants un projet et un ensemble d'aides didactiques totalement préfabriqués. Les actions de formation visent à permettre à chacun de concevoir les transformations appropriatives qui lui seront nécessaires, mais celles-ci restent inévitablement limitées. Ces actions ne permettent pas de faire acquérir aux enseignants les capacités à créer de nouvelles aides didactiques pour d'autres réalisations techniques dans la classe. Au bout de deux ans nous avons conçu un stage de formation dit de "deuxième niveau". Cette action s'adresse à des enseignants ayant déjà suivi une formation sur les projets "automatismes et informatique" et ayant une pratique de classe dans ces domaines. L'objet de ce stage est d'amener les formés à concevoir de nouveaux projets techniques pour la classe et à mettre au point l'ensemble des aides didactiques nécessaires, en s'inspirant éventuellement des projets déjà existants. Mais même en envisageant de reproduire ce type de stage, on ne peut espérer toucher qu'une frange réduite des maîtres de cours moyen. Se pose alors le problème de l'adaptation des documents et de leur diffusion vers les autres classes.

amener les
formés à
concevoir de
nouveaux projets

5.4. L'insertion dans l'institution

• *Le problème du matériel*

Pour les non-spécialistes, se débattre dans la jungle des nomenclatures, références et caractéristiques des composants électroniques et électromécaniques tient de l'exploit. Il est indispensable de pouvoir fournir aux maîtres des lots de composants adaptés à leurs besoins. Ces lots doivent répondre à plusieurs nécessités :

- correspondre aux choix de contenus d'enseignement ;
- permettre d'organiser pour la classe entière des manipulations par petits groupes de deux à quatre élèves ;
- rester financièrement accessibles aux écoles primaires.

• *Un besoin d'animation et de soutien*

Dans le cadre de notre projet d'enseignement, la mise en oeuvre de tout un ensemble technique, y compris les logiciels de pilotage, crée chez les enseignants qui n'en n'ont qu'une maîtrise partielle un fort sentiment d'insécurité : toute difficulté rencontrée dans le fonctionnement des systèmes techniques risque de faire "capoter" définitivement

l'ensemble des activités de classe. Il est donc important dans ce domaine de rompre l'isolement de l'enseignant dans sa classe et de lui offrir la possibilité d'obtenir rapidement conseils et aides techniques en cas de difficultés. Ce problème n'est pas très éloigné de ceux qui se posent dans le cadre de l'informatisation des entreprises (formation du personnel, appel à des sociétés de conseils et de maintenance).

• **Le rôle des structures locales**

les structures locales de l'institution ont un rôle d'animation à jouer

Il nous semble que seules les inspections départementales, en liaison avec les centres de formation ont un contact suffisant avec le terrain pour pouvoir organiser les actions de diffusion et d'animation. Il s'agit :

- de centraliser les achats de matériels électroniques et électromécaniques, puis d'en assurer la diffusion voire la circulation entre les écoles ;
- d'organiser par le biais d'animateurs un système de conseils et d'aides techniques auprès des instituteurs ;
- de mettre en place et d'animer des structures d'échanges entre les enseignants, en essayant de favoriser, à partir d'expériences déjà réalisées, un phénomène de "tache d'huile".

Il semble que les personnes les mieux à même de remplir ces rôles d'animation, de diffusion, d'aides techniques et pédagogiques, seraient des instituteurs, maîtres formateurs ou non, mais en partie déchargés de classe ou des conseillers pédagogiques ayant eux-mêmes participé à l'élaboration et à la mise au point des aides didactiques utiles pour les projets d'enseignement.

6. EN GUISE DE CONCLUSION...

Dans le cadre d'une initiation scientifique et technologique, notre travail débouche sur des propositions de reconstruction de la matière à enseigner qui évite de se limiter à un seul type de questionnement.

Le domaine des "objets électriques" se trouve totalement modifié dès lors que l'on introduit des systèmes informatiques et des montages électroniques dans le champ de familiarisation proposé aux élèves. L'analyse de ce nouveau champ empirique nous a conduit à construire un "îlot d'intelligibilité" pour lequel nous avons choisi d'évacuer la notion de courant électrique au profit de celle de tension et d'introduire les concepts d'état et de signal.

Cette reconstruction passe par la volonté d'articuler entre elles des tâches diverses : utilisation, réalisation, investigation, ceci afin de trouver un équilibre entre point de vue scientifique et point de vue technologique et de formuler des "savoirs pour l'élève", fonctionnels pour les problèmes à résoudre.

Il faut penser conjointement l'élaboration des contenus d'enseignement et la formation des maîtres

Un autre point concerne la nécessité de penser la formation des maîtres conjointement à l'élaboration de nouveaux contenus d'enseignement. Nous sommes parti des nécessités de la pratique d'enseignement pour déterminer les connaissances disciplinaires utiles aux maîtres. Nous avons tenté de permettre aux enseignants d'accéder à une bonne maîtrise des contenus à enseigner plutôt que de leur fournir un ensemble de connaissances académiques choisies a priori.

Michel VIGNES
IUFM de Créteil
GDSTC-LIREST

BIBLIOGRAPHIE

- ALEMANNI, L. (1986). "Initiation technologique à l'école élémentaire". *Revue Française de Pédagogie*, n°74. (pp. 5-22). Paris : INRP.
- CLOSSET, J.L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Thèse de 3ème cycle. Paris : LDPEs, Université Paris 7.
- FOUREZ, G. (1991). "Des finalités des cours de sciences". *Cahiers pédagogiques*, n°298. (pp. 33-36). Paris : CRAP.
- MARTINAND, J.L. (1986). *Connaître et transformer la matière. Des objectifs pour l'initiation aux sciences et techniques*. Berne : Peter Lang, (Exploration, recherches en sciences de l'éducation).
- TIBERGHIEU, A. (1983). "Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens des notions de circuits électriques pour les élèves de 8 à 20 ans". *Actes de l'atelier international d'été : recherche en didactique de la physique. Lalonde les Maures*. (pp. 91-107). Paris : CNRS.
- VERGNAUD, G. (1981) *L'enfant, la mathématique et la réalité*. Berne : Peter Lang, (Exploration, recherches en sciences de l'éducation).
- VIGNES, M. (1991). *Automatismes et informatique à l'école. Construction de contenus d'enseignement. Premiers essais dans les classes*. Thèse de doctorat. Paris : LIREST, Université Paris 7.

DE LA REPRÉSENTATION EN TUYAUX AU CONCEPT DE MILIEU INTÉRIEUR

Marie Sauvageot-Skibine

Les résultats de recueil de représentations d'élèves sur la façon dont s'effectue la circulation de l'eau, de l'air et des aliments chez l'homme, le fœtus et la plante verte, mettent en évidence une représentation commune, celle de la communication par tuyaux, qui peut perdurer jusque chez l'adulte, si elle n'est jamais traitée de front. Le constat de la persistance de cette représentation, qui fait obstacle à la construction du concept de surface d'échange avec le milieu intérieur, nous a renvoyé à la construction historique de ce concept. L'analyse de la situation avant Claude Bernard, nous a permis de mieux comprendre l'obstacle rencontré, d'examiner comment il a été franchi au XIXe siècle, les ressemblances et les différences avec la situation actuelle, et d'élaborer une situation-problème, pour les élèves d'aujourd'hui.

Que ce soit à propos de l'absorption intestinale, de la respiration, de la nourriture du fœtus ou de la nourriture des plantes vertes, dès qu'il s'agit de faire passer de l'eau, de l'air ou des aliments, des tuyaux apparaissent sur les dessins, comme si les élèves n'envisageaient aucune autre façon de circuler à l'intérieur de l'organisme. Pourquoi ?

Ce mode de pensée est un obstacle à la notion de surface d'échange avec un milieu intérieur. C'est un "obstacle-facilité", puisqu'il apporte une explication suffisante aux élèves et empêche de ce fait de poser les problèmes.

Comment faire progresser les élèves ?

Un des préalables consiste à examiner la construction historique du concept, c'est-à-dire à analyser les représentations antérieures à Claude Bernard, à préciser quel obstacle a été franchi, et de quelle manière, pour nous aider à mieux cerner les obstacles actuels.

Une comparaison de l'état des connaissances avant Claude Bernard et de celui des élèves "plombiers", nous aidera ensuite à voir si le franchissement de l'obstacle peut s'opérer de la même façon, ou s'il n'y a que quelques points communs, ou si la situation est totalement différente. Une proposition de situation-problème terminera cette analyse.

1. UNE REPRÉSENTATION TRANSVERSALE À PLUSIEURS DOMAINES

La persistance de la représentation de la circulation d'éléments par des tuyaux est attestée par de nombreuses études réalisées par différents auteurs. Les façons dont elles

l'obstacle de la
représentation en
tuyaux de la
circulation des
fluides dans
l'organisme

peuvent être exprimées dans différentes situations seront illustrées ici à travers quelques exemples brièvement rapportés, extraits de nos travaux antérieurs.

1.1. Tu bois de l'eau, que devient-elle ?

Pour étudier les idées sur la digestion et plus particulièrement le devenir de l'eau dans l'organisme, l'énoncé suivant a été retenu :

une question simple

"Tu bois de l'eau. Que devient-elle ?

Fais un schéma.

Ecris un bref résumé.

Propose une expérience qui permet de démontrer ton idée."

Il a donné lieu à des recueils de représentations auprès de publics variés d'enseignants et d'élèves : en début de stage de didactique de la biologie, pour aborder le concept de représentation ou avant la séquence sur la digestion en classe de sixième et troisième.

à laquelle on doit répondre de différentes façons

Nous avons choisi plusieurs langages (dessin, écrit, expérience), pour permettre à chacun d'utiliser son langage préféré, et d'autre part pour recueillir des informations variées, chacune se communiquant plus facilement par un langage : dessiner le trajet de l'eau, pour un élève de sixième est beaucoup plus facile qu'écrire un paragraphe sur la question. Pour le dessin une silhouette était donnée, seul le dessin des organes de l'appareil digestif et excréteur nous intéressait.

L'utilisation du dessin a souvent posé problème chez les adultes, parce qu'ils étaient gênés de ne pouvoir se rappeler ce qu'ils avaient appris à l'école. La rédaction d'un paragraphe n'a pas plu aux élèves, pour qui c'est un pensum d'écrire, mais imaginer une expérience a dérouté enfants et professeurs.

L'analyse des réponses (1) a montré que la solution adoptée par l'immense majorité est celle de **deux tuyaux** (voir planche 1) Ceux-ci peuvent partir de la bouche, de l'estomac ou des intestins, ils obéissent tous à la même logique : un tuyau pour les liquides et un pour les solides. Cette conception est présente chez les élèves du CP, jusque chez les enseignants non biologistes.

l'eau passe dans des tuyaux

Bon nombre de réponses montrent la présence des reins et de la vessie dans la continuité du tube digestif. Un des tuyaux va à l'anus, l'autre à l'orifice urinaire.

(1) L'analyse de cet ensemble de données, que j'ai développée dans ma thèse a également mis en évidence d'autres représentations-obstacles relatives à l'eau : en particulier les réponses ne mentionnent pas l'eau de l'air expiré ni l'eau-constituant de la matière. On peut faire l'hypothèse que l'eau est alors associée à l'état liquide, ce qui empêche de la penser à l'état gazeux. D'autres résultats vont dans le même sens.