

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

**CONCEPTION ET REALISATION
DE SITUATIONS-PROBLEMES
EN ELECTRICITE**

Par

MWENDANGA KASHEMA

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de

Maître ès arts (M.A.)

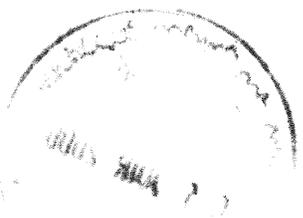
en Didactique des Sciences

Avril, 2000

© Mwendanga Kashema, 2000



LB
5
U57
2000
v.016



UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

**CONCEPTION ET REALISATION
DE SITUATIONS-PROBLEMES
EN ELECTRICITE**

Présenté par :

MWENDANGA KASHEMA

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Président-rapporteur..... Louise Poirier

Directeur de recherche..... Marcel Thouin

Membre du jury..... Réal Larose

Mémoire accepté le : 5 mai 2000

Sommaire

Chez beaucoup d'élèves du secondaire, la physique est leur bête noire. Même pour ceux qui s'y sentent à l'aise et s'y intéressent, il est difficile que l'enseignement usuel de la physique les aide à franchir les obstacles épistémologiques inhérents à son apprentissage et à faire évoluer leurs conceptions.

Plusieurs démarches et approches d'enseignement et d'apprentissage ont déjà été proposées et toutes semblent ne pas améliorer sensiblement la compréhension des phénomènes physiques, et en définitive, les résultats scolaires. Comme notre travail part du constat d'échec, après analyse et recherche, et pour ne pas en rester là, nous avons pensé qu'une approche complémentaire intégrant les atouts des outils informatiques tel que (ExAO) à la démarche de résolution de problèmes pourrait améliorer la compréhension de la physique, le franchissement des obstacles et permettre une évolution des conceptions des élèves; bref, pourrait contribuer à rendre l'enseignement et l'apprentissage de la physique plus intéressant et à réduire les échecs.

Du point de vue théorique, ce mémoire articule les deux grandes approches qui ont porté non seulement les débats, mais aussi les pratiques éducatives en ce qui concerne l'enseignement des sciences, et spécialement de la physique : la technologie éducative et l'approche que nous avons appelée « la didactique de sciences ». Nous en avons donné un aperçu tant historique que didactique. Le mémoire ne vise pas à « éprouver expérimentalement », mais tout simplement à vérifier notre hypothèse ainsi que notre choix méthodologique.

Du point de vue de la méthode et des recherches sur le terrain, nous avons privilégié les activités proposées par le logiciel physikor en lieu et place des activités fonctionnelles, dans un premier temps; nous avons organisé cinq situations problèmes intégrant à la fois les activités de résolution de problèmes et de structuration, dans un second temps. Le tout était choisi dans le cadre de la construction des concepts de tension et de courant, en électricité.

Même si, globalement, les résultats de notre recherche sur le terrain ne confirme pas la pertinence de notre approche, il n'en reste pas moins que sur certains points cette approche complémentaire s'est avérée bénéfique. Il nous semble qu'avec plus de temps et une réflexion sérieuse sur les situations problèmes à proposer aux élèves, on pourrait arriver à des résultats satisfaisant.

5 Mots clés : Technologie éducationnelle, Machines à enseigner, didactique, situation-problème, ExAO (Expérimentation assistée par ordinateur)

Table de matières

Sommaire	I
Table de matières	III
Introduction	1
1. Problématique	4
2. Recension des écrits	10
2.1 Présentation historique	10
2.2 La technologie éducationnelle	20
2.2.1 Le conditionnement opérant ou la technique d'analyse expérimentale du comportement.....	26
2.2.2 Notion de renforcement : enseignement programmé et machines à enseigner	27
2.2.3 Prolongement et conséquences méthodologiques du béhaviorisme dans l'éducation.....	30
2.2.4 Application à l'éducation : Enseigner, c'est organiser les contingences de renforcement, c'est programmer.....	31
2.2.5 Historique des machines à enseigner : légitimation théorique de la technologie éducationnelle.....	31
2.2.6 La technologie éducative et l'avènement des ordinateurs dans l'enseignement : ordinateurs comme incubateurs des connaissances, comme outil pour penser avec.....	32
2.2.7 Rôle des « fausses théories » dans l'apprentissage naturel et scolaire : de théories transitoires vers les théories scientifiques.....	36
2.2.8 Technologie éducative, EAO, Robotique Pédagogique et ExAO...	36
2.3 L'enseignement des sciences et la didactique	42
2.3.1 Piaget : psychologie du développement cognitif. Approche constructiviste de l'apprentissage : épistémologie génétique.....	43
2.3.2 Bachelard : rôle moteur des obstacles épistémologiques dans la construction des connaissances. Liens entre problèmes et savoirs dans les activités scientifiques et didactiques.....	48
2.3.2.1 Obstacle, problème et savoirs scientifiques.....	48

2.3.2.2 Implications sur l'enseignement des sciences : rôle des erreurs et des conceptions initiales dans la construction des connaissances scientifiques.....	50
2.3.2.3 Fonction épistémologique du problème en sciences / fonction didactique du problèmes enseignement des sciences. Importance didactique de la résolution de problèmes.....	55
2.3.2.4 Savoirs opérants et caractéristiques d'un enseignement basé sur la stratégie de la résolution de problèmes.....	57
2.3.2.5 Modèles et modélisation en didactique des sciences et dans l'enseignement usuel des sciences.....	59
2.3.2.6 Résolution de problèmes et enseignement des sciences.....	60
2.3.3 Guy Brousseau : la théorie des situations didactiques (TSD) et l'importance du contrat didactique.....	62
2.3.4 Analyse des caractéristiques didactiques de l'électricité comme objet de savoir scientifique.....	69
2.3.5 Analyse des caractéristiques didactiques de l'électricité comme objet d'enseignement au secondaire.....	71
2.3.6 Analyse didactique, épistémologique et cognitive des représentations et des obstacles d'apprentissage en électricité.....	73
2.3.7 Analyse des caractéristiques techniques et didactiques d'ExAO et de physicor.....	78
3. Questions de recherche.....	81
4. Méthodologie de recherche.....	83
5. Recherche sur terrain et interprétation des résultats.....	92
5.1 contexte de la recherche et préalables : description du profil des élèves.....	92
5.2 Chronologie des événements ou déroulement de l'expérimentation	93
5.3 Analyse des données, interprétation et synthèses des résultats de la recherche.....	98
5.4 Retour sur la problématique et conclusion personnelle.....	104
Bibliographie.....	107
Annexes	

Introduction

Si l'on s'en tient à un ouvrage de synthèse récemment publié en didactique des sciences, seulement trois types d'activités d'apprentissage sont nécessaires pour organiser un enseignement dont le but est de provoquer le changement et l'évolution des conceptions des élèves, la construction du savoir scientifique par les élèves: il s'agit des *activités dites fonctionnelles, de résolution de problèmes et de structuration*¹.

Notre recherche entend circonscrire la pertinence didactique et pédagogique de toutes ces activités, et surtout de la démarche de résolution de problèmes, dans le cadre précis d'un enseignement des sciences assisté par ordinateur. Et plus spécifiquement, nous tenterons de jeter un pont entre le modèle sous-jacent aux recherches en technologie éducationnelle², en expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) et l'approche didactique de l'enseignement des sciences. En conjuguant ces stratégies dans la conception et la réalisation didactique des séquences d'enseignement, peut-on faire ressortir les contraintes et les problèmes liés à l'enseignement et à l'apprentissage de l'électricité ?

Le défi théorique consiste principalement à considérer que ces deux approches, à toutes fins utiles, devraient être utilisées de manière complémentaire, si nous voulons aider les élèves à franchir les obstacles qui se dressent devant eux, provoquer chez eux un changement des conceptions et la construction des connaissances de type scientifique. Car, pensons-nous, un

¹ Voir à ce propos le livre de Jean-Pierre ASTOLFI et collaborateurs, *Mots-clés de la didactique des sciences. Repères, définitions, bibliographies*. Bruxelles : de Boeck Université, 1997. D'autres auteurs ont proposé une classification différente des apprentissages de type scientifique et des activités qui y mènent. Ainsi, dans un livre-synthèse, Giordan et son équipe (1991) distinguent deux types d'apprentissage nécessaires pour la construction des connaissances scientifiques: «*apprentissages mécaniques*» et «*apprentissages significatifs*». Selon lui, trois types d'activités d'enseignement permettent de les articuler ou de les réaliser. Il s'agit des activités qui privilégient : primo l'action sur les objets, secundo les échanges entre enfants et tertio le rôle d'interface joué par le maître. On peut aussi consulter avec bénéfice le livre de J-P ASTOLFI et M. DEVELAY (1989) *La didactique des sciences*. Paris :PUF

² La technologie éducationnelle, autrement appelée technologie éducative (Educational technology), est, selon le dictionnaire actuel de l'éducation (Legendre, 1993), une discipline paraéducative fondée sur des principes opérationnels, scientifiques et systémiques. Son objet est la conception, la réalisation, l'implantation de systèmes, de matériels et de procédés d'enseignement et d'apprentissage, l'utilisation de messages et de supports physiques dans le but d'enrichir les situations d'apprentissage et de soutenir le processus d'apprentissage. La partie de la technologie éducationnelle qui nous préoccupe, c'est celle qui s'occupe de la conception et de la réalisation des matériels ou de supports physiques dans le but de soutenir, de favoriser et d'enrichir les situations et le processus d'apprentissage. Nous laisserons donc de côté toute la dimension de la technologie éducationnelle qu'on appelle la «technologie de l'enseignement» qui consiste dans la conception et la réalisation de modèles d'enseignement. Notre problématique traite des aspects théoriques et pratiques de la présence de la technologie dans l'enseignement et de ses implications pour résoudre les problèmes d'apprentissage. Nous utiliserons surtout les

enseignement des sciences qui ne puise ses principes que sur le modèle pédagogique de la technologie éducationnelle ne serait pas complètement en mesure d'aider les élèves à structurer convenablement les connaissances scientifiques acquises, et encore moins d'aider les élèves à construire des savoirs opérants et à passer des connaissances de type ponctuel aux connaissances scientifiques. De même, un enseignement des sciences qui privilégierait uniquement les activités d'apprentissage bâties sur le modèle des principes didactiques actuels sans faire appel aux outils didactiques, risquerait de ne pas offrir des situations d'apprentissage diversifiées et enrichissantes aux élèves, de manquer de prégnance concrète, de ne pas être motivant. Dans le cadre d'un enseignement des sciences expérimentales, il risque surtout d'être abstrait et de compromettre la maîtrise des habiletés ou outils cognitifs que les élèves acquièrent difficilement, à savoir : le schème de contrôle des variables, la représentation graphique.

Dans le concret, nous avons mis le logiciel Physicor³ à la disposition des élèves, considérer les exercices qu'il propose comme des situations d'apprentissage (situations fonctionnelles). De ce fait, les élèves vont apprendre à l'utiliser et prendre contact avec les connaissances qu'il propose. Le but est de voir si ce logiciel est en mesure d'engager les élèves dans une démarche de construction des connaissances; s'il permet aux élèves d'assimiler des concepts nouveaux et une meilleure utilisation des instruments de mesure. Ensuite, nous avons soumis aux élèves des situations-problèmes qui exigent non seulement la mobilisation des connaissances pour la résolution des problèmes, mais aussi la capacité des élèves à s'engager dans la structuration de leurs connaissances. Ce sont les analyses de réponses à ces situations problèmes qui nous permettront de faire émerger les conceptions ou représentations que les élèves ont construites ou assimilées grâce à physicor. Ici émergeront les représentations naïves des élèves, les obstacles épistémologiques qui les empêchent de comprendre le vrai fonctionnement des phénomènes électriques, d'expliquer de manière scientifique et structurée le fonctionnement d'un circuit électrique simple.

termes de machines à enseigner et nous précisons davantage le terme de technologie de l'enseignement tel qu'il était utilisé par les behavioristes, pour éviter des confusions inutiles.

³ Physicor est un logiciel éducatif destiné à l'enseignement de la physique (électricité, mécanique) et de la chimie en lien avec la technique de l'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO). Conçu par Mirelec pour vulgariser ExAO et favoriser l'introduction de ce dernier au collège, il fonctionne de pair avec le logiciel Portable, qui est un logiciel généraliste d'acquisitions et de traitements des grandeurs expérimentales avec Orphy Portable. Selon ses initiateurs, le logiciel Physicor est destiné aux programmes de sciences physiques des classes de 4^e et de 3^e secondaire, du système français. Ce qui convient inversement aux élèves de 3^e et 4^e du système scolaire congolais et québécois.

De la sorte, en conformité avec la méthodologie des recherches actuelles en didactique, nous essayerons d'observer, de décrire et d'analyser les conceptions naïves ancrées qui émergent ou ressortent malgré les activités réalisées sous la supervision de Physicor. Nous indiquerons aussi les points sur lesquels il y a eu un travail de construction et de compréhension des concepts scientifiques. Les situations problèmes qui sont proposées aux élèves sont choisies selon qu'elles sont susceptibles de provoquer un conflit ou un dérangement conceptuel dans la tête et les convictions des élèves de telle sorte qu'elles poussent les élèves non seulement à montrer et à utiliser ce qu'ils connaissent en électricité.

Nos objectifs de recherche étaient, au départ, plus pratiques que théoriques. En accord avec la méthodologie de l'ingénierie didactique, nous voulions concevoir quelques séquences d'enseignement respectant les exigences de l'approche actuelle de la didactique de l'enseignement des sciences et de celle qui fonde pédagogiquement l'utilisation de l'expérimentation assistée par ordinateur dans l'enseignement des sciences. Vu les difficultés observées sur le terrain et compte tenu du temps nous est imparti, nous avons opté pour les séquences et activités que propose le logiciel Physicor. En situation clinique, nous avons confronté six élèves à ces situations problèmes. Nous pensons qu'une analyse didactique pourrait nous procurer un savoir didactique d'expérience susceptible de nous permettre de comprendre l'origine ou le sens des difficultés que nous rencontrons dans notre pratique de l'enseignement des sciences et d'intervenir efficacement lorsque les élèves sont bloqués et n'arrivent pas à dépasser les obstacles qui se dressent devant leur envie de progresser dans la compréhension des phénomènes de la nature.

1. Problématique

De mon année d'expérience comme enseignant de la physique au secondaire (Congo, ex-Zaire), j'ai été témoin de deux types de difficultés chez mes élèves, difficultés qui non seulement avaient des conséquences néfastes sur leurs performances scolaires, mais surtout par rapport auxquelles j'étais mal préparé, contre lesquelles je n'avais pas d'outils didactiques pouvant aider les élèves à les affronter, à les vaincre, à les dépasser ou à en faire un élément moteur de la progression cognitive ou de la structuration de mon enseignement.

Il y a d'abord les difficultés liées à la mauvaise compréhension des heuristiques et de leurs applications. Certains élèves avaient de sérieux problèmes pour appliquer les stratégies de résolution des problèmes de physique apprises en classe (voir exercices d'application), et surtout en ce qui concerne la manipulation et le maniement algébriques des formules physiques (par exemple : que devient l'énergie cinétique d'une voiture en mouvement si sa vitesse double?). Il y a aussi des difficultés qui découlent d'une mauvaise compréhension ou d'une explication incohérente, incomplète des phénomènes physiques que décrivent les formules, les concepts et même les symboles utilisés en sciences. Dans ce cas-ci, les élèves sont capables de manipuler mathématiquement les formules et les variables qui les constituent, mais en définitive éprouvent de difficultés pour pouvoir rendre compte des phénomènes physiques qu'elles modélisent. Entre autres difficultés, il y a celle de pouvoir transférer les connaissances scolaires dans des situations de vie courante ; ce qui démontre que le savoir d'expérience ou les représentations premières des élèves par rapport au monde qui nous entoure et de ses phénomènes restent prégnants et viables, malgré les apprentissages de type scientifique auxquels ils sont soumis. Un exemple : après un cours sur l'électrostatique, dans une situation d'enseignement, les élèves sont capables d'expliquer le phénomène physique de la production de la foudre et comment on peut s'en protéger (le paratonnerre, éviter les objets pointus à cause du point des pointes où se concentrent les charges superficielles comme les cimes des arbres et des parapluies à tiges pointus), mais en dehors de tout contexte d'enseignement et en l'absence de toute intention d'enseigner voir de tout cadre d'évaluation, lorsqu'on demande aux élèves pourquoi la foudre est tombée sur telle case, a tué telle ou telle personne, ils se tournent vers les explications de type magique ou mythique, parfois même allèguent la puissance de malveillance des sorciers, des féticheurs ou autres charlatans.

Parmi les autres problèmes ou les difficultés rencontrées et qui sont spécifiques à l'apprentissage de la physique en général, il y a celui du passage ou transfert de la variable physique à la variable mathématique appropriée, il y a celui lié à la maîtrise du schème de contrôle des variables et à l'interprétation physique des phénomènes de la nature par le biais des formules ou paradigmes mathématiques ; il y a aussi le problème lié à la survivance des représentations inadéquates, premières ou qu'on pourrait appeler les formes primitives de leurs savoirs dès lors qu'on leur demandait d'expliquer les phénomènes physiques avec les catégories de la science qu'ils se sont appropriés préalablement.

Il faut l'avouer, ce sont les problèmes de cet ordre qui ont suscité notre questionnement, qui ont suscité notre intérêt pour nous lancer dans une recherche qui consistera à décrire et à concevoir quelques situations d'enseignement et d'apprentissage dans le but d'aider les élèves à dépasser certains obstacles qui sont autant des freins à leur développement intellectuel, qui sont la cause de beaucoup d'échecs en sciences. Mon premier réflexe était de mettre en cause les élèves et non pas de chercher à savoir ce qui était en cause dans l'approche d'enseignement qui portait et inspirait ma pratique quotidienne, mes faits et gestes éducatifs.

Notre enseignement était-il inadapté, incohérent par rapport aux objectifs visés et à la nature des savoirs physiques ? Les difficultés ou obstacles étaient-ils inhérents, intrinsèques aux savoirs physiques, à leur enseignement et à leur apprentissage ? Est-ce parce que notre action éducative était centrée sur une activité de formalisation ? Était-ce parce que les élèves ne possèdent pas des outils cognitifs dont leur raisonnement peut tirer un support symbolique ou concret lorsqu'ils tentent de comprendre ou d'expliquer les phénomènes physiques ? Est-ce parce que notre style d'enseignement faisait peu cas du raisonnement hypothético-déductif, oubliait de mettre les élèves au centre des apprentissages et de prendre en charge leurs conceptions d'expérience qui peuvent se révéler comme des représentations naïves ?

Ce sont là quelques questions que nous devrions nous poser à l'époque, questions auxquelles nous devrions nous attaquer pour résoudre ce problème, pour lutter contre les échecs en physique, pour améliorer notre enseignement, pour rendre la physique accessible, pour rendre son apprentissage plus attrayant, plus motivant.

En effet, que faire pour lutter contre ces échecs ? Que faire pour donner du goût de la physique aux élèves ? Comment faut-il l'enseigner pour rejoindre les élèves dans leurs problèmes ? Pour les aider à dépasser les obstacles liés à la double nature des savoirs physiques, double exigences expérimentale et formelle, inductive et déductive, descriptive et explicative des phénomènes de la réalité, du monde visible, du cosmos. Que faire pour améliorer notre enseignement de la physique et pour aider les élèves à surmonter ces obstacles ? Ce sont là quelques questions que nous nous posons avant de commencer notre recherche, questions auxquelles nous devons nous attaquer.

Pour donner le goût de la physique, nous avons d'abord cherché la solution ou la raison de ces échecs dans le manque de préparation des élèves à affronter les sciences physiques. Mais des objections de taille se sont dressées devant nous. Encore que cette façon de raisonner pourrait paraître comme une fuite de responsabilité, une sorte d'échappatoire «pédagogique ou didactique». Nous avons ensuite cru que ces problèmes étaient dus au fait que la physique est une science exigeante et inaccessible à tous les élèves ; autrement dit qu'elle est réservée à l'élite ou aux élèves ayant un quotient intellectuel supérieur à la moyenne. Cette raison est autant inacceptable que la tentative d'imputer la responsabilité des échecs en sciences aux élèves mêmes. Enfin, celle que nous retenons, c'est celle qui incrimine notre approche ou stratégie d'enseignement des sciences parce qu'elle n'a pas réussi à aider les élèves à surmonter ces obstacles d'apprentissage et à les mettre dans un environnement d'apprentissage qui puisse leur permettre de vaincre ces résistances et de créer des conditions propices à la construction des concepts scientifiques et de leur sens véritable.

Nous avons voulu en savoir plus sur les stratégies et les approches qui nous ont servi de guide ou de fil conducteur pendant nos enseignements. A la réflexion, nous pensons que notre approche magistrale de l'enseignement reposait sur la transmission des connaissances au lieu de promouvoir la construction des connaissances ou d'engager les élèves dans la démarche de résolution des problèmes. Notre enseignement se fondait sur le modèle traditionnel de l'enseignement des sciences expérimentales où les expériences de laboratoire n'ont pour but que de permettre de valider les formules et les lois posées de manière déductive, où le travail de laboratoire ne sert qu'à vérifier un point ou l'autre de l'exposé magistral ou à l'illustrer. Notre enseignement ne favorisait pas la démarche d'induction et ne donnait pas accès à la théorisation mathématique, à la modélisation mathématique. Essentiellement notre approche d'enseignement consistait à enseigner des contenus et des

éléments de la méthode expérimentale pour les faire occasionnellement pratiquer ou vérifier en laboratoire. Ainsi, au laboratoire les élèves partent d'une loi apprise pour déduire une idée de l'expérience et la vérifier.

Il semble que cette pédagogie strictement théorético-déductive, cette pédagogie axiomatique devrait être rejetée, car elle ne permet pas aux élèves de construire et de valoriser les raisonnements inductifs indispensables à la créativité scientifique ; elle ne permet pas non plus une approche de l'élève producteur des connaissances, acteur de sa progression cognitive.

Nous pensons à cet égard qu'il faut renouveler notre façon d'enseigner la physique, de fonder notre approche de l'enseignement sur une démarche ou théorie de l'apprentissage qui respecte la spécificité épistémologique de la physique et s'inspire concrètement des principes didactiques qui en fondent l'efficacité ou déterminent sa pertinence. Nous pensons aussi que de manière complémentaire il faudrait tirer profit des atouts des nouvelles technologies de l'information qui reprennent la problématique des machines à enseignées dans le but de favoriser l'assimilation des concepts scientifiques, leur appropriation ou construction, bref pour soutenir le processus d'apprentissage et favoriser conséquemment le développement cognitif ou intellectuel, pour favoriser de manière inductive l'acquisition du schème de contrôle des variables, dont Piaget disait que c'est l'outil nécessaire à l'activité scientifique ; pour favoriser l'apprentissage de la stratégie cognitive de représentation graphique, auxiliaire essentiel dans la résolution de problèmes en situation expérimentale de laboratoire, pour la compréhension et l'explication des phénomènes concrets⁴.

Autrement dit, nous pensons qu'en valorisant dans la démarche de résolution des problèmes l'utilisation des outils informatiques, comme objet-pour-penser-avec ou comme auxiliaire de la démarche comme outil qui intervient dans la compréhension du problème et facilite sa résolution; nous pensons qu'en élaborant, en construisant des séquences d'enseignement composées des situations tirées de physicor, des activités fonctionnelles, de résolution de problèmes et de restructuration, qu'en découvrant a posteriori les éléments qui influent sur le fonctionnement d'une situation d'apprentissage et sur le sens des connaissances que

⁴ Dans mon expérience d'enseignant de mathématiques et de physique dans les classes terminales du secondaire au Congo (ex Zaïre), j'ai remarqué que les élèves avaient plus de problèmes de compréhension en physique qu'en mathématiques, qu'ils réussissaient plus facilement en mathématiques qu'en physique, malgré le formalisme et le caractère abstrait des mathématiques. Localement, il serait intéressant d'analyser les raisons de cet état des choses; d'analyser le fonctionnement de l'enseignement des sciences et la manière dont les formateurs sont formés. Il y a là un domaine possible des recherches futurs.

construisent les élèves, il est possible d'acquérir des compétences pour améliorer notre enseignement, et tous nos enseignements futurs ; pour aider les élèves à dépasser les obstacles qui les empêchent de s'investir dans la construction des concepts ou de savoirs opérants en organisant autrement les situations ou en jouant sur certaines variables didactiques de commande, à maîtriser le schème de contrôle des variables, à acquérir des outils cognitifs qui leur permettront de s'initier à la démarche hypothético-déductive de la science, et de donner du sens à leurs savoirs et de décrire les phénomènes physiques qui les entourent, de percevoir leur portée, d'être capable de rendre compte des phénomènes physiques qui se cachent derrière les formules

Ainsi donc, en les prenant comme complémentaires, autrement dit en mettant les atouts de ces deux conceptions de l'enseignement des sciences ensemble, serions-nous en mesure de montrer que cette tentative est susceptible d'améliorer significativement les stratégies d'enseignement et d'influer positivement les facteurs qui facilitent et favorisent l'appropriation et la construction des connaissances scientifiques ? . Est-il possible d'observer et de décrire les impacts de ces facteurs sur les processus auxiliaires d'apprentissage tel que le dérangement conceptuel, le conflit cognitif, le changement des conceptions d'expérience en savoirs scientifiques, des savoirs approximatifs en savoirs vraiment scientifiques ; bref la construction des connaissances ?⁵

Comment se fait l'intégration des connaissances nouvelles aux anciennes par les élèves, s'il est vrai que *l'utilisation et la destruction* des connaissances précédentes font partie de l'acte d'apprendre ? Pourrions-nous décrire le rôle des savoirs anciens, des savoirs personnels de l'élève dans l'acquisition de nouvelles connaissances, des connaissances institutionnalisées ? Pourrions-nous spécifier les connaissances qui font obstacle à des apprentissages ultérieurs ? Sous quelles conditions les connaissances anciennes des élèves peuvent-elles être indispensables au fonctionnement convenable des connaissances institutionnalisées,

⁵ Une simple analyse des programmes officiels au Québec en ce qui concerne l'enseignement des sciences au primaire et au secondaire laisse apparaître les présupposées favorables qu'ils accordent à l'approche pédagogique reposant sur les activités et la démarche de résolution des problèmes. Ce qui déjà relève d'un grand changement d'orientation par rapport à l'enseignement classique des sciences dont le paradigme principal se résume dans cette triade transmission-mémorisation-répétition. Ce que ne font pas les recommandations officielles et les manuels qui essaient de les traduire et de s'y conformer, c'est d'accorder une place aux outils didactiques et informatiques, et de souligner leur importance dans la démarche d'apprentissage. Le fait de vouloir se démarquer du courant de l'enseignement programmé serait-il à la base de cette mise de côté de tout le potentiel éducatif que peuvent regorger les nouvelles technologies informatiques ? En France, au contraire, l'accent a été très rapidement mis sur l'introduction et l'utilisation de nouvelles technologies informatiques au bénéfice de l'enseignement des sciences expérimentales telles que la géologie, la biologie, la physique et la chimie. C'est dans ce but que l'État français s'est investi dans la mise au point de l'ExAO et dans la vulgarisation de sa démarche.

enseignées par l'enseignant ? Pouvons-nous circonscrire les conditions d'enseignement qui favorisent les apprentissages de la physique ? Pouvons-nous décrire les problèmes d'enseignement spécifiques à l'enseignement de la physique ? Quels sont les différents rapports que l'enseignant et ses élèves peuvent avoir pour une même connaissance ? Pouvons-nous envisager l'apprentissage en termes de changements de rapports au savoir ou en termes de transformation de connaissances de l'élève ? Quel est le rôle des connaissances anciennes dans la construction des connaissances nouvelles ? Quelle place faut-il laisser, réserver dans l'enseignement aux réorganisations de connaissances anciennes par rapport aux juxtapositions d'apprentissages nouveaux ?

Quelles sont les conditions à créer dans les situations d'enseignement et d'apprentissage ? Quelles sont les conditions à maintenir dans la gestion ou la conduite de l'enseignement ? Quels sont les phénomènes didactiques auxquels un enseignant doit être attentif dans le déroulement de l'enseignement pour permettre une assimilation ou une construction des concepts scientifiques ?

2. Recension des écrits

2.1. Présentation historique

Depuis les quarante dernières années, c'est-à-dire, depuis les premières applications pratiques des résultats de l'analyse expérimentale du comportement à l'apprentissage et à l'enseignement par les psychologues béhavioristes, nous assistons à un développement rapide de la technologie éducationnelle, et dans la même mouvance de la robotique pédagogique et de l'expérimentation assistée par ordinateur (ExAO) : bref, pourrions-nous dire, un développement et un raffinement des premières «machines à enseigner». Ce développement, ces derniers temps surtout, a été tellement rapide que les technologies de l'information et de communication ont suscité dans le monde de l'éducation un véritable engouement qui empêche un tant soit peu le recul nécessaire pour évaluer leur efficacité didactique et pédagogique : leurs effets sur le processus de construction des savoirs scientifiques.

Au siècle passé jusqu'au début du siècle, en effet, l'enseignement était magistral et les préoccupations des technologues de l'enseignement se limitaient à doter l'école des outils capables d'améliorer la diffusion et la présentation des matières en classe : Leurs préoccupations se limitaient à concevoir et à améliorer les outils audiovisuels. Ces outils audiovisuels sont des aides qui interviennent lorsque l'enseignant remplit l'une de ses fonctions qui est de présenter la matière (manuels, films, bandes sonores, etc.)⁶. Ces aides, en principe, ont pour but de compléter ou remplacer les exposés, les démonstrations, et les manuels. Comme ces outils sont destinés à alléger le travail de l'enseignant, on peut donc dire qu'ils sont des aides à l'enseignement plutôt que des aides à l'apprentissage. A l'époque, comme on le devine, dans une approche d'enseignement littéralement basée sur la transmission et la réception des connaissances, on se souciait peu de savoir comment les élèves apprennent et encore moins comment on peut les rendre actifs dans leurs

⁶ Aujourd'hui, sont rares les recherches en technologie éducationnelle qui s'orientent dans l'amélioration de l'enseignement magistral. En effet, depuis les applications pédagogiques des ordinateurs, la technologie éducationnelle s'est focalisée, après Skinner, dans la conception et la production des outils pouvant aider les élèves à apprendre sans l'aide de l'enseignant. Ce n'est que tardivement et dans de très rares cas qu'on va utiliser l'ordinateur pour programmer l'enseignement, que l'on a vu des applications de l'ordinateur pour assister un enseignant pour la création d'un cours magistral. En son temps, Skinner s'est élevé contre le monopole du maître, contre l'enseignement magistral, qui transforme l'élève en un récepteur passif. Son approche pédagogique consistera en effet à dépouiller l'enseignant de certaines de ses prérogatives classiques, d'une partie de son autorité et à la céder à la machine.

apprentissages. A part de rares cas, en classe, ils étaient considérés comme des récepteurs passifs. On n'avait guère donc besoin de fonder l'enseignement sur une théorie scientifique de l'apprentissage.

A partir des travaux de Skinner en psychologie du comportement animal et ses applications sur l'apprentissage humain, une véritable technologie de l'enseignement commence à voir le jour, et on assiste à un profond changement d'orientation dans les recherches en enseignement, et peu à peu dans la pratique concrète de l'enseignement. Désormais, les efforts ne vont plus se concentrer sur l'enseignement ; mais plutôt sur l'apprentissage, l'apprenant et les processus d'apprentissage.

En épousant la démarche expérimentale et positiviste du béhaviorisme, Skinner espérait donner à l'enseignement une base scientifique, espérait fonder l'enseignement sur la connaissance des processus d'apprentissage et des résultats confirmés expérimentalement et non sur des hypothèses non vérifiables. C'est dans ce but que Skinner (1969), dans son livre *«La révolution scientifique de l'enseignement»*, a vigoureusement défendu l'enseignement par machine et s'est aussi lancé dans la construction des machines à enseigner. D'après Skinner lui-même (1969), la technologie de l'enseignement est un produit de l'analyse expérimentale du comportement (p.74). Et, pour lui, les deux manifestations de cette technologie sont les machines à enseigner et l'enseignement programmé. Autrement dit, pour utiliser une analogie familière, la technologie éducationnelle en tant que branche des sciences de l'éducation est fille du béhaviorisme⁷.

Dans la foulée, il semble que les travaux de Skinner sur l'enseignement programmé et les machines à enseigner ont créé vers les années cinquante un mouvement d'intérêt pour les méthodes modernes d'enseignement. A partir de cette période, un grand nombre de compagnies américaines se lancèrent, soit dans la production de cours en enseignement programmé, soit dans la construction des machines à apprendre plus ou moins complexes. Mais dans l'ensemble, fait souligner Barbey (1971), le manque de normalisation des machines ne permit pas l'exploitation de tous les cours rédigés et de nombreuses machines dépourvues de contenus suffisants furent abandonnées (p.52). Comme cette nouvelle technique pédagogique n'a pas donné les fruits escomptés dans l'enseignement, on se tourna

⁷ Skinner n'utilise pas le terme de technologie éducationnelle ou éducative. Il utilise un autre terme qui se trouve être le titre d'un de ses ouvrages en Anglais *«The technology of Teaching»*, la *«technologie de l'enseignement»*. De temps à temps on rencontre dans ses livres le terme de technologie du comportement.

vers l'ordinateur et on espérait que celui-ci allait permettre de perfectionner la méthode de l'enseignement programmé.

L'utilisation des ordinateurs dans l'enseignement fait suite à l'introduction progressive des machines dans l'enseignement : elle répond à la même nécessité, aux mêmes problèmes et aux mêmes besoins. Grâce à eux et aux formidables applications pédagogiques de l'intelligence artificielle, la technologie éducationnelle va connaître à partir des années soixante de brillants développements⁸.

Dans les années cinquante, malgré la profusion des machines à enseigner, la méthode de l'enseignement programmé ne semblait pas s'imposer, comme si la technologie des machines à enseigner encore rudimentaire ne permettait pas d'exploiter et de déployer toutes les richesses de l'enseignement programmé. Dans les années soixante, le recourt à la technologie des ordinateurs devient un atout, pour faire taire les critiques et pour donner à l'enseignement programmé un second souffle, une autre chance (voir à ce propos les recherches de Papert sur les applications pédagogiques des ordinateurs). Ainsi donc, de la même manière que la machine était, à l'époque de Skinner, mise au service de la théorie béhavioriste de l'apprentissage, l'ordinateur est mis au service de l'enseignement programmé, pour devenir une machine à enseigner. Ainsi comme la diapositive, le cinéma, le disque, le magnétophone, la radio ou la télévision, l'ordinateur finit par trouver une fonction pédagogique. Heureusement, de multiplicateur d'enseignement programmé qu'il était, de machine à enseigner qu'il était, il est devenu avec le temps un affineur de méthode pédagogique et un auxiliaire efficace à l'enseignement et à l'apprentissage.

Jusque vers les années soixante, en effet, en continuité avec les principes de l'enseignement programmé, les applications de l'informatique dans le domaine de l'éducation vont se concentrer sur ce que nous appelons «l'enseignement programmé par ordinateur», autrement dit sur la conception des «machines à enseigner». L'ordinateur, pour ainsi dire, est utilisé comme une machine à enseigner. Ainsi comme il apparaît, les théories béhavioristes de l'apprentissage et de l'enseignement (Skinner, 1954,1968) n'ont pas seulement influencé profondément le cadre théorique et la pratique de la technologie éducationnelle pendant sa

⁸ La revue *IBM Research Reports* de janvier 1966 nous apprend que la première expérience d'utilisation de l'ordinateur pour l'enseignement est probablement celle que Nancy Anderson et Gustave Rath conduisirent en (1958) au centre de recherche I.B.M. en utilisant un ordinateur pour apprendre l'arithmétique binaire. Un rapport de recherche établi en 1962 par le professeur W.R Uttal fait le point des possibilités de l'ordinateur comme machine à apprendre. On mentionne parmi les pionniers de l'utilisation de l'ordinateur comme machine à apprendre H. Long, le docteur Adams, Suppes, Atkinson, Grubb, etc. (Barbey, p.54)

jeunesse. Cette influence continue aujourd'hui à se faire sentir, se manifestant par exemple dans les stratégies de « *mastery learning* » (Bloom, 1981), aussi bien que dans plusieurs méthodes de conception de l'enseignement (Gagné, 1988).

La technologie éducationnelle jusqu'aujourd'hui ne s'est pas totalement départie de tous les éléments de la théorie skinnerienne de l'apprentissage ; elle en a gardé certains aspects considérés, aujourd'hui encore, comme pertinents en éducation comme : la nécessité de fragmenter la matière selon des critères expérimentaux éprouvés pour pouvoir programmer son enseignement en termes d'objectifs, l'affirmation de l'efficacité d'un enseignement ou d'un apprentissage individualisé par rapport à un enseignement collectif (de masse) et le respect du rythme personnel d'apprentissage, le rejet de l'enseignement magistral, le rôle du renforcement positif, le rôle de soutien que remplissent les outils dans les apprentissages.

Comme on le sait, certains aspects importants de la théorie skinnerienne de l'apprentissage ont été fortement critiqués et délaissés⁹. Il s'en est suivi un autre changement significatif, qui consiste à ne pas considérer l'ordinateur comme une machine à enseigner, mais comme un auxiliaire à l'enseignement, un outil capable d'assister un apprentissage. On est alors passé de l'appellation « *enseignement programmé par ordinateur* » à « *l'enseignement assisté par ordinateur* ». Ce changement de cap coïncide avec l'amélioration technique des ordinateurs, mais aussi il est la conséquence d'une volonté d'asseoir la technologie éducationnelle sur d'autres théories de l'apprentissage autres que le béhaviorisme¹⁰. Car avec le progrès enregistré dans le domaine de la conception des ordinateurs et de techniques de programmation, on est devenu capable non seulement de programmer l'enseignement d'une matière, mais aussi d'y inclure des systèmes experts capables de résoudre les problèmes posés par l'élève ; de corriger et critiquer en même temps ses solutions, de l'aider dans sa démarche en lui proposant de l'aide chaque fois que l'élève est bloqué.

C'est autour des années soixante-dix et quatre-vingt que les technologues commencent explicitement à s'inspirer de théories d'apprentissage autres que celles qui sous-tendent l'enseignement programmé, comme celles issues des théories cognitives et de l'information. Cette période coïncide avec celle de l'introduction des micro-ordinateurs dans les classes, de la création de nouveaux langages de programmation destinés aux enfants (Logo), de la

⁹ Les théories les plus récentes d'orientation cognitive ont en effet signalé l'impossibilité d'expliquer la majorité de comportements humains au moyen de la théorie béhavioriste, surtout quand il s'agit de l'enseignement des habiletés relativement complexes telle que la résolution de problèmes.

¹⁰ Notamment sur le constructivisme interactionniste piagétien et la théorie de l'information.

conception des robots éducatifs. Ici on ne peut pas ne pas signaler les contributions de Papert en ce qui concerne le changement d'orientation advenu dans la technologie éducationnelle¹¹. C'est à cette même période en effet que la Robotique Pédagogique voit le jour. C'est à cette même période aussi que des recherches sont menées pour montrer l'utilité pédagogique de l'ordinateur dans la préparation, la mise au point et le traitement des données des expériences au laboratoire des sciences (ExAO). Tout cela a été rendu possible grâce au progrès survenu dans la technologie des ordinateurs et l'informatique. Ce qui a eu comme conséquence directe de favoriser la prise en compte de nouvelles approches pédagogiques : l'application étendue des méthodes numériques élaborées a permis la conception des programmes de résolution d'équations, d'une part ; et l'existence d'interface de communication, d'instruments de mesure adaptés et la possibilité de faire du graphisme ont rendu possible les expérimentations assistées par ordinateur, ainsi que la conception des langages adaptés à l'environnement scolaire comme le Logo (Papert, 1971).

De nos jours, les nouveaux systèmes d'EIAO (Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur) peuvent permettre aux élèves d'accomplir des tâches précises (par exemple la résolution de problème, ce système permet de donner des instructions (partie déclarative) et de corriger les procédures incorrectes pendant l'exécution de la tâche (partie procédurale) : ainsi on peut suivre la performance de l'élève au cours de l'exécution de la tâche, dessiner la carte cognitive de l'élève pendant qu'il résout un problème. Mais la question reste posée : à la fin de ces tâches, les élèves construisent-ils des connaissances scientifiques ?

Parallèlement au développement de la technologie éducationnelle, en réaction surtout contre la théorie béhavioriste de l'apprentissage sur laquelle elle se fonde, on note également ces vingt dernières années, non seulement la naissance mais aussi le développement de la didactique des sciences, d'une approche de l'enseignement des sciences qui s'appuie sur la théorie constructiviste¹² de la connaissance et de l'apprentissage et une interprétation particulière de l'activité scientifique. Mais comment à partir de la théorie constructiviste de l'apprentissage, la didactique des sciences est-elle parvenue à privilégier l'approche de

¹¹ Dans son livre «*Jaillissement de l'esprit*», Papert fait, d'un bout à l'autre, un vif plaidoyer pour l'introduction des ordinateurs dans le système d'éducation et ne se prive pas de mener une forte charge contre l'enseignement actuel des sciences, contre l'enseignement scolaire en général. Il insiste beaucoup non seulement sur le soutien que peuvent offrir les ordinateurs dans la construction des connaissances et le développement de l'intelligence ou de structures cognitives, mais aussi sur sa capacité d'induire une culture nouvelle qui aurait des conséquences positives sur les processus mentaux et le développement des structures mentales, sur la manière d'apprendre.

résolution de problème dans l'apprentissage des connaissances scientifiques ; et surtout de plus en plus aujourd'hui à insister sur la pertinence didactique de l'approche d'apprentissage des sciences surtout physiques et biologiques basée sur la modélisation ?¹³

La didactique des sciences ne s'est pas constituée en un jour. Elle est d'abord héritière du constructivisme interactionniste piagétien¹⁴, qui est une réaction contre l'approche ou la théorie béhavioriste de l'apprentissage¹⁵, car presque tous les didacticiens se réclament d'une façon ou d'une autre de lui, même s'ils développent des stratégies d'enseignement différentes¹⁶.

S'inspirant de Piaget, la didactique des sciences s'est constituée autour de l'idée selon laquelle apprendre, c'est construire activement son intelligence (*constructivisme*). Le constructivisme admet donc que le savoir ne peut pas être transmis passivement, mais il doit être construit activement par le sujet en quête de connaissance. Par rapport au béhaviorisme, le constructivisme propose un nouveau scénario des processus d'apprentissage dans lequel le sujet, les choses à connaître et le processus d'apprentissage se redéfinissent mutuellement

¹² La théorie constructiviste définit l'apprentissage non pas comme une modification objective des comportements (interprétation béhavioriste), mais comme une modification cognitive et subjective des connaissances, au cours de laquelle le sujet humain reste actif, a un rôle structurant.

¹³ Selon J. Désautels, il existe deux types de constructivisme ; un trivial et un autre radical. Les approches d'enseignement qui se réclament du constructivisme radical conçoivent la cognition comme une fonction adaptative qui sert à l'organisation du monde de l'expérience plutôt qu'à la découverte d'une réalité ontologique (1992, p.27). Les autres, qui ne retiennent du constructivisme l'idée que le savoir ne peut être transmis passivement, qu'il doit au contraire être construit activement par un sujet en quête de connaissance, s'inspirent du constructivisme trivial. Il faut ajouter cependant que la plupart des travaux en didactique des sciences et des stratégies préconisées pour l'enseignement des sciences se réfèrent au constructivisme trivial. Marie Larochelle et Jacques Désautels ont sévèrement critiqué les soubassements épistémologiques de ce choix et sa pratique éducative et ont proposé une stratégie d'enseignement des sciences qui respecterait le constructivisme dans toutes ses conséquences philosophiques et épistémologiques ; le dérangement épistémologique. Avouons que malgré les résultats concluants, celle-ci ne semble pas s'imposer dans la pratique enseignante.

¹⁴ La théorie constructiviste de l'apprentissage de Piaget a eu ces conséquences-ci dans les recherches didactiques : la prise en compte de l'élève, de ses capacités, de ses connaissances préalables, de ses conceptions, de ses modes de raisonnement ; bref la prise en compte de l'élève comme bâtisseur de ses propres connaissances dès avant l'entrée à l'école. Ceci a ouvert les recherches sur l'analyse des difficultés des élèves.

¹⁵ En règle générale, les recherches en didactique des sciences s'inscrivent en faux en contre le béhaviorisme qui, de par son option méthodologique expérimentale, postule le caractère passif de la pensée et de ce fait n'examine que les comportements élémentaires et ignore les phénomènes humains complexes tels que les idées, le langage, le raisonnement.

¹⁶ Contrairement aux béhavioristes, il y a chez Piaget, ce que Giddens appelle «la réhabilitation de la subjectivité», entendue comme reconnaissance du caractère actif, réflexif et orienté de la pensée humaine. Le constructivisme est une interprétation de la construction du savoir par le sujet. C'est une théorie de la genèse de l'intelligence, du développement cognitif ; une théorie de l'apprentissage, qui tient compte du savoir des apprenants. Le béhaviorisme conduit à une approche d'enseignement de contenu, basée sur la transmission de contenus, des savoirs. L'approche de Piaget implique quant à elle un apprentissage basé sur le développement des capacités cognitives. Pour la didactique des sciences, il n'y a pas que le développement cognitif de l'enfant qui doit guider l'enseignement ou l'apprentissage, mais aussi les caractéristiques des connaissances qu'il est appelé à construire.

par de nouvelles relations qui s'établissent entre eux. En mettant au jour le principe de l'apprentissage naturel, Piaget a permis aux didacticiens de se rendre compte que dans toute pratique éducative, surtout en enseignement des sciences, qu'on ne peut faire l'économie du savoir des apprenants, qu'on ne peut plus les prendre comme des récepteurs passifs d'un savoir préorganisé. Il s'agit plutôt des acteurs qui construisent et reconstruisent leurs propres connaissances dans et par leurs interactions physiques et sociolinguistiques avec leur environnement.

Son développement s'explique en partie par le nombre de recherches qui, dans un cadre constructiviste, ont voulu circonscrire la spécificité de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences. Il peut aussi se lire à travers la chronologie des concepts empruntés ou développés (*adaptation et interaction, concept de conflit cognitif, stratégie de changement conceptuel, stratégie de dérangement épistémologique, concept d'obstacle épistémologique, conceptions initiales des élèves et fausses conceptions, de situation, de problème, de modélisation, de savoir opérant, de conceptualisation, de simulation...*)

Une des grandes caractéristiques de la didactique des sciences est son ouverture sur les recherches en épistémologie et en philosophie des sciences qui ont permis de mettre en relief et d'éclaircir les liens profonds entre savoirs et problèmes (Bachelard (1965;1975), Kuhn (1983), Popper (1973;1991) et Laudan (1977)), et à partir desquelles elle a pu dégager sa conception de l'activité scientifique et de l'enseignement des sciences. Les travaux de Gaston Bachelard sont parmi ceux des épistémologues de cette époque qui ont aidé à étoffer la réflexion en didactique des sciences, et à inspirer plusieurs de ses approches pédagogiques. Deux concepts particulièrement ont été à la base de plusieurs stratégies d'apprentissage dans l'enseignement des sciences : il s'agit des concepts *d'obstacle épistémologique* et de *problème* (voir importance actuelle accordée à la résolution des problèmes dans les cours des sciences pour faire évoluer les conceptions des élèves et pour offrir aux élèves la possibilité d'acquérir des habiletés cognitives)¹⁷. Les travaux de Bachelard, en effet, connurent très tôt une transposition à la didactique des sciences et permirent la mise en œuvre des stratégies d'enseignement (cf. le concept d'obstacle épistémologique qui a donné lieu aux stratégies d'enseignement axées sur le conflit cognitif, sur le changement conceptuel, sur le

¹⁷ Voir aussi le rôle moteur des erreurs dans la construction des connaissances scientifiques en didactique des sciences; chez Skinner, il s'agit d'une psychologie de la réussite ; de la bonne réponse où la notion d'obstacle n'existe pas car l'erreur est l'effet d'une ignorance, d'une incertitude ou du hasard. L'erreur est ce qu'il faut combattre et extirper de/par l'apprentissage.

dérangement épistémologique, qui toutes s'appliquent dans une perspective de franchissement d'obstacle et de modification de conceptions). La fonction épistémologique du concept de problème dans la construction des savoirs scientifiques, largement documentée par lui, aura une autre traduction didactique bien concrète, et sera à la base de l'approche de résolution de problèmes.

En résumé, on pourrait dire qu'il y a trois étapes qui marquent la réflexion didactique. Il s'agit de : la prise en compte des hypothèses constructivistes de l'apprentissage, c'est-à-dire le recours aux recherches de Piaget (1941a;1941b;1950;1975;1983) pour expliquer la construction des connaissances par le sujet et la nécessité de tenir compte du développement psychocognitif de l'élève dans ses apprentissages ; la prise en compte des caractéristiques épistémologiques de la science (Bachelard, 1975) ; la prise en compte du lieu où se déroule l'apprentissage et les modalités qui s'y réfèrent et l'intention qui y préside (Brousseau, 1986). Prise en compte aussi du fonctionnement du savoir dans l'institution scolaire (Chevallard) ; des erreurs des élèves, de leurs conceptions, des obstacles épistémologiques ou didactiques.

La réflexion didactique a trouvé échos dans la pratique quotidienne de l'enseignement des sciences. En sciences physiques principalement, en vertu de sa référence constructiviste et du rôle des problèmes ou obstacles dans le développement d'une science¹⁸. Cependant, étant donné que les sciences physiques sont constitutives et utilisatrices de modèles et que les buts de l'enseignement des sciences c'est de former à la pensée scientifique et critique, une certaine réflexion didactique s'oriente vers une approche de l'enseignement basée sur l'apprentissage de la modélisation (parfois par la modélisation), car elle estime que les élèves apprennent vraiment lorsqu'ils sont capables de construire des modèles scientifiques, de s'interroger sur leur statut hypothétique de prédiction et d'explication (voir l'article de Anne-Marie Drouin (1988) «*Modèles en question*»).¹⁹ A en croire P. Astolfi et collaborateurs (1997), les activités de modélisation ne sont pas nécessaires dans la structuration des connaissances

¹⁸ Voir à ce propos les ouvrages de Marcel Thouin (1996a, 1996b, 1997) qui offrent un bel exemple de quelqu'un qui a essayé de traduire très concrètement et pour l'amélioration de l'enseignement des sciences de la nature au primaire les résultats de la réflexion didactique ou les concepts importants de la didactique des sciences.

¹⁹ Cette approche de l'enseignement basée sur la maîtrise de la modélisation à la fois comme attitude et démarche intellectuelle est voisine de l'approche que développent Jacques Désautels et Marie Larochelle par laquelle ils voulaient initier les élèves au jeu de la connaissance, et développer chez les élèves des compétences épistémologiques par ce qu'ils appellent la stratégie du dérangement épistémologique. L'outil informatique qu'ils ont mis au point pour cela, c'est le logiciel Énigmatique. Dans leurs travaux, on peut déjà voir un rapprochement entre la technologie éducationnelle et la didactique des sciences, autrement dit, le rôle des outils informatiques, des machines comme auxiliaires, soutiens à l'apprentissage et à l'enseignement des sciences. Plusieurs chercheurs

scientifiques. C'est qui prouve à suffisance que cette approche de l'apprentissage des sciences est encore sujette à controverse et surtout jusqu'à présent n'arrive pas à s'imposer dans l'enseignement scolaire, malgré tous les biens qu'on peut en dire pour la formation scientifique.

Il faut noter, bien que cela soit fait tardivement, que le recours aux théories cognitives qui s'appuient sur les modèles de traitement de l'information a permis à la didactique des sciences d'être attentive aux influences de contenu ainsi que de situation sur le processus d'apprentissage. L'insistance par l'approche informationnelle aux influences de situations-problèmes sur la construction des savoirs scientifiques et la conceptualisation a conduit les didacticiens à insister sur la très grande sensibilité des savoirs aux situations. Cette prise en compte du rôle incontournable des situations dans la spécification des savoirs à construire marque une évolution énorme dans la réflexion didactique. Elle marquera le début des recherches sur l'analyse des tâches des élèves en situation de classe et permettra des analyses comme des ingénieries didactiques.

Fidèle à l'approche constructiviste et adaptationniste de l'apprentissage, la didactique des sciences mise sur la stratégie de la résolution de problèmes scientifiques comme moyen efficace d'initier l'élève au travail scientifique et pour susciter le goût de faire les sciences²⁰. Cette approche est celle qui prévaut dans les écoles aujourd'hui. Les programmes officiels pour l'enseignement des sciences au secondaire comme au primaire la préconisent. Comment en est-on arrivé-là ? Comment et pourquoi l'approche d'enseignement préconisée par les didacticiens a-t-elle réussi à s'imposer pour rallier à sa cause, si l'on veut à sa démarche, tous les concepteurs des programmes des sciences. Serait-ce parce qu'elle est plus crédible que d'autres approches ?

Or il nous semble qu'en ce domaine les activités et les situations d'apprentissage développées dans le sillage de la didactique des sciences n'offrent pas toujours assez de soutien, de support réel à la construction des connaissances, et par conséquent ne sont pas toujours aussi stimulantes et enrichies que celles que la robotique permet de construire. Il nous semble par ailleurs que quels que soient les qualités et avantages pédagogiques que recèlent les outils développés par les technologues, ceux-ci ne sont pas toujours utilisés de la

ont orienté leurs travaux dans ce sens (Ben Hamida, 1980 ; D. Gil Perez 1987 ; B. Hostein et M. Lebrun, 1992 ; Johsua et Dupin, 1982 ; Lemeignan G. et A. Weil-Barais, 1987, 1990 ; F.Sourdillat et Ch. Rellier, 1987 ; etc.

façon la plus adéquate au plan didactique, par les enseignants, ne sont pas toujours insérées dans des activités didactiques dont la finalité est la structuration des connaissances.

Le problème en fait consiste à montrer que si nous intégrons les avantages des outils d'ExAO pour enrichir et rendre concrètes les activités d'apprentissage, les résultats s'en trouveront améliorés significativement ; les élèves non seulement pourraient avoir des outils cognitifs ou visuels qui peuvent soutenir leur démarche de construction des concepts scientifiques, mais surtout cette démarche pourrait leur permettre de les mettre sur la voie du dérangement et du changement conceptuel, tous deux préalables à la possibilité de construire les connaissances scientifiques. Sans autres prétentions que celles de décrire les phénomènes d'enseignement, nous chercherons à vérifier dans quelle mesure il serait possible d'améliorer l'efficacité d'une trousse d'ExAO (le logiciel physicor) en cherchant à l'utiliser d'une façon plus conforme aux théories actuelles de la didactique des sciences. Notre recherche pourrait, pensons-nous, conduire à des meilleures utilisations didactiques de divers dispositifs d'ExAO dans diverses disciplines scientifiques et de permettre une utilisation judicieuse des dispositifs éducatifs pour améliorer la présentation et le rapport aux situations-problèmes, dans un système d'enseignement dont la finalité principale est d'amener les apprenants à l'autonomie et à construire eux-mêmes les concepts. Pour qu'il soit d'une manière ou d'une autre les propres artisans de leurs apprentissages, de leur personnalité cognitive C'est cela son intérêt pratique.

Venons-en en détails aux auteurs qui ont marqué ces deux courants et explicitons l'enracinement historique des concepts, des choix et des initiatives pédagogiques à la fois de la technologie éducationnelle et des approches relevant de la didactique des sciences. Ce qui nous permettra de fonder notre hypothèse de complémentarité sur les atouts réciproques de ces deux approches, et d'explicitier en quoi cette option, sans nul doute, conjecturale pourrait permettre soit un enrichissement des environnements d'apprentissage bénéfiques à la présentation des connaissances d'une part et à l'activation des mécanismes mentaux et psychologiques intervenant dans la construction des concepts scientifiques, de l'autre ; soit une meilleure prise en compte de la carte cognitive des élèves et des modalités de son développement intellectuel.

²⁰ A travers cette démarche, ce que l'on peut encore viser c'est un équilibre entre l'acquisition des connaissances et le développement des habiletés de l'élève. Nous pouvons dès lors comprendre pourquoi les didacticiens préfèrent l'encadrer par les activités fonctionnelles et celles de structuration des connaissances.

2.2. Technologie éducationnelle

Parce que l'analyse expérimentale des mécanismes du conditionnement s'est révélée être productive pour l'analyse des mécanismes d'apprentissage et la compréhension de certaines conditions d'apprentissage, le béhaviorisme²¹, dans son approche skinnérienne surtout, a profondément influencé l'orientation conceptuelle et la pratique de la technologie éducative à ses débuts. Ce n'est donc pas par hasard que les béhavioristes aient eu à s'occuper des préoccupations relatives à l'apprentissage et à l'enseignement. L'application du conditionnement opérant à l'éducation, écrira Skinner, est simple et directe. Car, pour lui en effet, enseigner n'est rien d'autre qu'arranger les conditions de renforcement dans lesquelles les élèves apprennent (1969, p.79). Plusieurs choix théoriques et méthodologiques opérés par le béhaviorisme l'ont facilitée, et ont de ce fait contribué à poser les jalons d'une technologie éducationnelle²². Qu'est-ce à dire ?

D'abord, du point de vue de l'objet propre de la psychologie expérimentale, de la matière délimitée par le béhaviorisme comme objet de la psychologie, le passage du comportement extérieur objectivable (de Watson) comme seul devant faire l'objet du béhaviorisme à tous les comportements acquis mêmes non observables (voir Skinner) est un des éléments qui ont amené les béhavioristes à intégrer les processus d'apprentissage et à interpréter les principes éducatifs à partir de leur modèle (passage du comportement inné au comportement acquis, de l'animal à l'humain).

²¹ Le béhaviorisme, avant d'être une théorie psychologique du comportement ou de l'apprentissage, s'est d'abord illustré comme une option méthodologique et une approche scientifique des faits psychologiques. «Le béhaviorisme, écrit Skinner dans son article *Behaviorism at Fifty (1963, 1971)*, n'est pas l'étude scientifique du comportement, mais une philosophie de la science concernant la matière et les méthodes de la psychologie». Ce qui nous importe ici c'est de souligner les incidences sur l'enseignement scolaire et la technologie éducationnelle du béhaviorisme en tant que choix méthodologique et épistémologique, en tant que psychologie scientifique et méthode d'analyse expérimentale du comportement. De montrer que les expérimentateurs béhavioristes skinnériens ont créé des dispositifs mécaniques ou automatiques pour mener leurs expériences sur le comportement acquis, et pour cela on pourrait les appeler les précurseurs des machines à enseigner. Et des observations de ces expériences, ils ont tiré peu à peu les principes sur lesquels les machines à enseigner devraient être construites, les principes sur lesquels la technologie éducationnelle s'inspirera plus tard pour se constituer comme une branche des sciences de l'éducation.

²² Skinner lui-même s'y emploiera maintes fois à donner des renseignements théoriques et pratiques pour la construction et l'amélioration des machines à enseigner, à plaider pour l'adoption des méthodes d'enseignement mécanisées ou automatisées à l'école. L'histoire de l'évolution du béhaviorisme comme pratique expérimentale et théorie psychologique du comportement en témoigne, le confirme.

Ensuite, du point de vue de la méthode expérimentale, de l'obligation de contrôler objectivement les mécanismes de conditionnement au laboratoire, la rigueur méthodologique a poussé les behavioristes à construire des dispositifs de laboratoire adaptés et de les affiner pour étudier scientifiquement le conditionnement opérant. L'instruction programmée est née au laboratoire, avec la programmation des contingences de renforcement, expliquera plus tard Skinner. Et une machine à enseigner n'est rien d'autre qu'un dispositif destiné à organiser les contingences de renforcement. «Une branche de la psychologie, l'analyse expérimentale du comportement, a produit, sinon un art, du moins, une véritable technologie de l'enseignement, permettant de déduire «des programmes et des méthodes directement applicables dans les classes» (ibidem, p.79)²³. Voilà comment en termes simples, Skinner explique l'origine des machines à enseigner et décrit le destin commun de la technologie éducationnelle et du behaviorisme, du moins en ses débuts.

Aujourd'hui encore les travaux de B. F. Skinner (1954, 1968) surtout et de certains néobehavioristes comme Gagné (1970), gardent une (certaine) influence considérable sur les technologies de l'enseignement et d'apprentissage. Comment à partir d'une méthodologie pour l'étude des comportements est-on arrivé à construire des machines à enseigner, à s'intéresser aux processus d'apprentissage ?

De ce qui précède, il devient presque impossible de parler de la technologie éducationnelle ou des machines à enseigner sans parler du behaviorisme, du moins dans sa conception skinnérienne, sans aborder la question des applications de l'analyse expérimentale du comportement dans l'enseignement²⁴. Cela ne veut pas dire cependant qu'il serait superflu de donner quelques échos à l'autre concept-clef de la psychologie du comportement à savoir : le concept de conditionnement réactif ou répondant (Pavlov et Thorndike).

²³ Si théoriquement, c'est sur la notion de renforcement ou de conditionnement opérant que la technologie éducationnelle se fonde conceptuellement, le principe de l'enseignement programmé que déploie les machines à enseigner est le fruit d'une nécessité pratique imposée par la technique du comportement opérant qui requiert l'arrangement des contingences de renforcement ainsi que le contrôle ou l'enregistrement de la fréquence de la réponse, et la rigueur de la démarche expérimentales.

²⁴ Comme on le verra, la découverte du conditionnement opérant a eu des prolongements théoriques et pratiques énormes. A travers ses analyses, Skinner a voulu fonder une théorie générale du conditionnement. Lui et ses disciples ne considèrent pas le conditionnement opérant comme une méthode parmi d'autres, ni comme un procédé fécond d'analyse des comportements, ainsi qu'en témoignent des ouvrages comme *Science and Human Behavior* (Skinner, 1953) ou *Verbal Behavior* (Skinner, 1957), où l'information outrepassé largement l'information expérimentale. Si par ailleurs, le conditionnement opérant a permis une nouvelle interprétation du comportement, il reste un instrument d'analyse expérimentale (Marc Richelle, 1973, p.34).

Le béhaviorisme, comme démarche scientifique et expérimentale, et tel que défini par J.B. Watson²⁵ (1913) dans son fameux article «*La Psychologie telle qu'un béhavioriste la voit*», présuppose une option philosophique, épistémologique et anthropologique qui réduisent l'être humain à un répertoire de comportements. En se proposant de faire de la psychologie l'étude des lois objectives qui régissent deux types d'observables (les stimulus et les réponses de l'organisme), J.B. Watson et ses disciples²⁶ ont contribué à jeter les bases de la méthode expérimentale en psychologie et d'une technologie de l'analyse expérimentale du comportement dont Skinner particulièrement s'emploiera quelques années plus tard à esquisser les grandes lignes et les applications, dans son livre «*Analyse expérimentale du comportement*» (1971). Comment le béhaviorisme en est-il venu à s'intéresser aux problèmes d'enseignement et aux processus d'apprentissage ? A devenir une théorie de l'apprentissage ? Et quels sont les résultats expérimentaux du béhaviorisme sur lesquels la technologie éducationnelle se fonde pour construire sa charpente conceptuelle ?

De Watson, les béhavioristes gardent le souci d'étudier les faits comportementaux observables ou objectivables et l'importance accordée à l'environnement en tant que matrice des stimulus. Après Watson, beaucoup de psychologues²⁷ adopteront, dans l'étude de l'humain, une attitude et une méthode déjà à l'œuvre dans la psychologie animale. Mais devant les difficultés théoriques et les critiques provenant spécialement des tenants du mentalisme, certains commenceront à inclure dans leurs analyses des variables cognitives ou affectives comme la motivation²⁸. D'autres, plus fidèles au béhaviorisme, critiqueront le cadre habituel des analyses du comportement selon le schéma presque pavlovien du réflexe

²⁵ L'acte de naissance du béhaviorisme est constitué par l'article intitulée : «*La Psychologie telle qu'un béhavioriste la voit*», que John B. Watson publia en 1913, dans la revue qu'il dirigeait «*Psychological Review*». En 1925, Watson publie son livre «*Behaviorism*» dans lequel il énonce les critères d'une psychologie scientifique. «*Elle devra, dit-il, limiter son objet à l'étude des réactions objectivement observables qu'un organisme exécute en riposte aux stimuli, eux aussi objectivement observables, venant du milieu*».

²⁶ Si nous mettons de côté la vision réductrice de certains béhavioristes de vouloir réduire la psychologie à l'étude des comportements, Ce terme introduit par John B. Watson désigne en fait cette branche de la psychologie qui, au nom de la scientificité et de l'objectivité, ne se préoccupe que des seules données comportementales observables. En effet, c'est en réaction à la psychologie de l'introspection et mentaliste, et en accord surtout avec le positivisme ambiant, que le béhaviorisme choisit de négliger les faits de conscience et des phénomènes complexes tels que les idées, le raisonnement et la pensée, pour n'examiner que les comportements élémentaires. C'est pour cette raison qu'il se caractérise, au plan de la méthode, par le refus d'émettre des hypothèses sur le fonctionnement et la structure de la pensée et s'en tient aux faits observables, quantifiables, c'est-à-dire aux caractéristiques de la situation ou du milieu où est placé l'élève (stimulus) et de son comportement provoqué par cette situation (réponse).

²⁷ Voir à ce propos C. HULL (1943) *Principles of Behaviorism* ; (1952) *A Behavior system*

²⁸ Nuttin (1953) comme Tolman font intervenir des événements psychiques pour expliquer les résultats d'apprentissage. Pour eux, les réponses dépendent des événements psychiques et non des stimulus. C'est de ces événements que dépendent les comportements. En cela, ils se rapprochent des psychologues de la cognition.

conditionné (stimulus-réponse) et commenceront à s'intéresser aux conséquences du comportement sur les comportements futurs (Cf. la loi de l'effet de Thorndike²⁹, reprise par Skinner pour élaborer le conditionnement opérant). Mais comment des études sur des comportements des animaux est-on passé au processus d'apprentissage humain ? Aux machines à enseigner, à l'enseignement programmé et à l'enseignement par machine ? A quel type d'enseignement conduit-il ?

L'idée de concevoir des «machines à enseigner» n'est pas pourtant une invention de Skinner. Celui-ci la reprend de Sydney Pressey³⁰, qui est considéré comme le père des premières machines à enseigner. En effet, aux environs de 1920, Pressey construisit des machines, qui à la différence des aides audiovisuelles courantes, non seulement testaient automatiquement l'intelligence et les connaissances, mais permettaient à l'élève de jouer un rôle actif dans le processus d'apprentissage. Là où Skinner innove par rapport aux machines de Pressey, c'est lorsqu'il fait passer l'idée de la machine à enseigner du stade de l'utopie au stade de la recherche scientifique et de la réalisation pratique en formulant clairement les principes psychologiques du conditionnement opérant qui en fondent l'efficacité et la pertinence pédagogiques³¹. Cette formulation se réfère aux connaissances acquises en laboratoire sur les grandes lois de l'apprentissage. Ainsi, même si Skinner s'est efforcé de démontrer que la machine n'est qu'un accessoire, car les fondements de la théorie d'apprentissage qu'elle déploie étant d'ordre comportemental, psychologique, non mécanique, il n'insistera pas moins

²⁹ En montrant que les effets de l'action doivent être inclus parmi les causes de l'action future, Thorndike prouvait que le comportement n'est pas seulement fonction des stimulus, mais aussi de ses conséquences. (Une réponse qui a été suivie par un certain type de conséquence a plus de chance de se reproduire, disait-il).

³⁰ Déjà dès 1809, on cite des brevets des machines à enseigner. Mais c'est seulement vers 1920, que S. L. Pressey, construit les premières «machines à enseigner». Ces machines étaient destinées à faire passer des tests par des séries de questions au choix multiples imprimées sur une bande en papier, auxquelles les sujets répondaient en appuyant sur l'une des quatre touches possibles de réponse. Si l'étudiant avait bien répondu, on lui présentait la question suivante, sinon la machine enregistrait une erreur et demandait à l'étudiant d'essayer de nouveau. On peut donc situer là le point de départ des efforts les plus constructifs dans ce domaine des machines à enseigner. (Voir à ce sujet B.F. Skinner (1969) *La révolution scientifique de l'enseignement*, pp. 39-42 ; voir aussi les commentaires de G. Barbey (1971), *L'enseignement assisté par ordinateur*, p.47). Pour Skinner, les machines de Pressey ne pouvaient qu'améliorer l'enseignement et non l'apprentissage. C'est pour cette raison qu'elles n'ont pas connu du succès. Pressey, écrit-il, travaillait avec, en arrière plan, des théories psychologiques qui n'avaient pas abordé adéquatement les mécanismes d'apprentissage (1969, p.42). Il faut se tourner vers les machines à apprendre...

³¹ Le conditionnement opérant est une technique d'analyse expérimentale du comportement. Selon le paradigme béhavioriste, cette méthode devrait absolument permettre d'objectiver les faits du comportement, les analyser et les mesurer le cas échéant lorsque l'observation directe est impossible. D'où la nécessité de construire des dispositifs expérimentaux qui soient à même de contrôler les contingences du renforcement et d'enregistrer le comportement dans toutes ses modalités, c'est-à-dire les réponses et leur débit, leur fréquence, et enfin les mesurer. L'utilisation des machines ou de dispositifs mécaniques dans l'enseignement ne répond à une autre logique que celle-là.

sur les avantages pédagogiques des machines dans l'enseignement programmé ou dans l'éducation tout simplement.

Pour les béhavioristes classiques³², en effet, et pour Watson principalement, seuls les comportements extérieurs peuvent être objectivés, contrôlés expérimentalement. Skinner se désolidarise de ce courant et se propose d'objectiver les conditions de discrimination des événements intérieurs tels que le langage ou les faits de conscience, bref des comportements acquis. Et plus qu'objectiver, il innove en n'étudiant que des comportements acquis ou les processus d'acquisition de ces comportements³³. Ce qui justifiera la facilité du transfert des observations expérimentales sur les animaux aux processus d'apprentissage humain, étant donné qu'apprendre pour les béhavioristes, c'est acquérir une multitude de réponses, de comportements bien définis (Skinner, 1969, p.22).

C'est d'abord à partir des mécanismes de conditionnement pavlovien³⁴ ou classique (Ivan Pavlov, E.R. Guthrie, H.S. Liddell et Thorndike) que les béhavioristes classiques ont cherché à analyser le processus de modification des comportements. Guthrie et Thorndike sont les premiers à interpréter les résultats des analyses expérimentales du comportement impliquant les animaux en termes de mécanisme d'apprentissage. Pour sa part, E.R. Guthrie parlera d'*apprentissage par contiguïté* lorsque l'association entre le stimulus et la réaction a une forte chance de se produire quand deux processus se succèdent immédiatement. Tandis que les expériences de Thorndike sur le comportement de résolution des problèmes des animaux (avec des dispositifs appelés boîte-problèmes) ont permis de découvrir le mécanisme d'*apprentissage par «essais et erreurs»*.

Mais jusqu'à cette date, le saut n'est pas fait pour transférer ces résultats sur le comportement humain et sur l'apprentissage humain, ni pour utiliser ces résultats pour

³² Pour eux, tout stimulus provoque, suscite ou déclenche une réponse. De manière générale, les réponses de l'organisme ont une fonction adaptative, puisqu'elles constituent des ripostes aux changements du milieu. Ainsi le comportement de chaque organisme fluctue au gré des modifications de son environnement. L'organisme apprend donc à produire les réponses qui lui permettent de s'adapter au milieu.

³³ Pour les béhavioristes, la psychologie de l'apprentissage a révélé deux aspects importants du processus d'apprentissage : il s'agit de l'interaction au plan biologique d'une part, et d'une interaction socioculturelle, d'autre part. L'apprentissage est donc un processus biologique ou socioculturel d'adaptation et d'interaction entre l'humain et son milieu, entre les humains entre eux. On a là les deux aspects du processus d'apprentissage mis en lumière par les psychologues de l'apprentissage.

³⁴ Dans ces recherches en psychologie, I.P. Pavlov n'attache plus d'importance qu'au conditionnement du comportement par le milieu. Il explique le comportement par ses conditions antécédentes ; car pour lui si un chien salive à la vue d'un morceau de viande, la réponse qu'il donne aux stimulus est provoquée mécaniquement par eux. On appelle souvent ce conditionnement de premier ordre pour le distinguer du conditionnement skinnerien

améliorer l'enseignement. Il faudra attendre les travaux de Skinner sur le comportement opérant pour que soient étendues à l'être humain les observations faites sur le mécanisme du comportement acquis chez l'animal ; pour que des applications pratiques des recherches en psychologie du comportement sur l'enseignement et l'apprentissage deviennent réalités. Il faudra attendre Skinner pour que le comportement humain acquis soit l'objet d'analyse expérimentale du comportement et que l'on commence à monter des dispositifs expérimentaux pour objectiver le comportement acquis, le principe de l'apprentissage animal.

Thorndike, dans son article «*Animal intelligence*» publié en 1898, tout en posant les jalons d'une psychologie de l'apprentissage dont le succès et son effet sur l'action qu'il engendre constituent l'essentiel, décrit le principe d'apprentissage par «*essais et erreurs*»³⁵. Ce que l'on retient le plus souvent de ses recherches, et qui ont permis des avancées majeures en psychologie de l'apprentissage et qui ont une incidence dans la construction des machines à enseigner, ce sont les deux lois de l'apprentissage qu'il a formulées : *la loi de la fréquence* et *la loi de l'effet*. La loi de l'effet a suscité beaucoup de recherches sur l'importance ou le rôle du succès et de l'échec dans l'apprentissage. Pour K. Lewin, par exemple, l'expérience du succès non seulement renforçait la liaison entre S-R, mais augmente en même temps la confiance en soi et, par conséquent, élevait le niveau des aspirations ou des motivations. C.L. Hull reformula à sa manière la loi de l'effet de Thorndike. Skinner l'analysera pour sa part et lui donnera une autre portée plus positive, en en faisant le fer de lance de son analyse expérimentale du comportement.

A proprement parler, la technologie éducationnelle prend son envol avec la mise au point de la méthode de l'enseignement programmé et «de machines à enseigner» par Skinner. Les recherches faites ultérieurement vont permettre non seulement de les perfectionner, mais surtout d'améliorer la technique de l'enseignement programmé (voir la méthode de l'enseignement programmé de N. Crowder qui s'adapte aux caractéristiques personnelles de l'élève et aux capacités logiques de la machine (ordinateur), et la méthode dite de Sheffield qui marie les deux premiers types d'enseignement programmé). Elle s'est vraiment constituée en discipline à la suite de plusieurs efforts théoriques et pratiques qui se sont cristallisés, surtout depuis 1960 (G. BARBEY, 1971, p.22).

qui prétend que c'est la satisfaction obtenue par le comportement qui suscite sa répétition (Cf. le principe du renforcement).

³⁵ E.L. THORNDIKE (1898), «*Animal intelligence*», in *psychological review*. Monography supplement 2, New-York.

Les applications des recherches de Skinner sur le conditionnement opérant à l'enseignement et l'introduction des machines à apprendre dans les écoles ont obligé un bon nombre de pédagogues et d'enseignants à penser leurs problèmes en termes d'efficacité. De même, les appareils nouveaux et apparemment spécialement adaptés à l'enseignement que l'industrie mettait sur le marché faisaient naître de nombreuses réflexions sur l'utilisation de ces appareils. La technologie éducationnelle ne pouvait qu'en sortir gagnante.

2.2.1. Le conditionnement opérant ou technique d'analyse expérimentale du comportement.

En établissant le principe du conditionnement opérant, et en l'appliquant comme technique d'investigation expérimentale des faits de comportement acquis, Skinner³⁶ a ouvert à la psychologie du comportement la voie à de nouvelles applications en l'enseignement programmé et en thérapie des troubles du comportement. En cherchant à exécuter divers programmes de renforcement de comportement par des dispositifs mécaniques capables de contrôler et d'enregistrer expérimentalement et avec précision le débit de la réponse, il a préparé le terrain où devra éclore la technologie éducationnelle comme une pratique organisée et scientifique au service de l'éducation. Autrement dit, en plaidant pour l'introduction et l'utilisation des moyens mécaniques ou machines dans l'apprentissage, il a contribué à poser implicitement les principes d'élaboration de la technologie éducationnelle, à en déterminer les conditions théoriques préalables.

Même si Skinner a su profiter des acquis fondamentaux du béhaviorisme (Pavlov, Watson et Thorndike), il faut cependant souligner que l'objet de recherche en psychologie s'étend aux événements intérieurs de la psychologie humaine que ses prédécesseurs négligeaient totalement. D'une part, il s'affirme disciple de Watson auquel il emprunte les deux idées directrices du béhaviorisme ; l'antimentalisme ou le rejet des explications du comportement qui ont recours à des forces mentales ou psychiques dont la nature n'est pas objectivée (désirs, besoins, cognition) et l'importance de l'environnement. D'autre part, Il s'en écarte par son souci d'englober dans une analyse béhavioriste toutes les conduites de l'organisme

³⁶ En bon disciple de John Broadus Waston, Skinner (1953), dans son livre «*Science et comportement humain*», fait d'abord siennes les deux idées directrices du béhaviorisme. D'abord, il explique qu'il est inutile d'expliquer le comportement en référence à la vie psychique du sujet, cette notion ne reposant que sur des hypothèses mal fondées, et n'ayant pas de valeur explicative. Ensuite, il précise qu'il faut se limiter à l'observation du comportement visible dans sa relation avec le milieu, sans se préoccuper du fonctionnement organique proprement dit, en particulier nerveux et hormonal ; seul est important «l'organisme comme un tout ». Par contre, c'est dans son livre «la révolution scientifique de l'enseignement », que Skinner dévoile son projet de fonder l'enseignement sur des bases objectives et scientifiques ; sur les résultats confirmés en psychologie expérimentale du comportement (B. F. Skinner (1969), *La révolution scientifique de l'enseignement*).

humain, y compris celles qui, chez l'humain, constituent ce que l'on range, traditionnellement, dans la vie mentale consciente, commente Marc Richelle (1973, p.30). Comme Pavlov, il veut uniquement s'attaquer au conditionnement du comportement par le milieu. Mais au lieu d'expliquer le conditionnement par le stimulus comme lui et tous ces prédécesseurs sauf Thorndike (voir cause, antécédents ou origine), il l'explique par la satisfaction ou ses effets, et fait du contrôle du comportement par ses conséquences l'axe de toutes ses recherches et analyses.

Rejetant la loi de la fréquence, il réinterprète au contraire l'apprentissage par «essais et erreurs» et fait sienne la loi de l'effet de Edward L. Thorndike et les intègre à une théorie globale du conditionnement qui tient surtout compte des conséquences du comportement. Il isole un troisième moyen par lequel l'environnement agit sur le comportement. Les deux premiers étant la liaison S-R innée et la liaison S-R conditionnelle classique. Le troisième moyen est la modification de l'environnement par le comportement, la modification du comportement par les stimulus qui le suivent, dont la récompense et sa suppression sont deux cas typiques. Pour Skinner, c'est le renforcement qui est la condition qui permet l'établissement d'une connexion entre un stimulus et une réponse. Ainsi le schéma de base n'est plus la relation entre stimulus-réponse, mais bien entre la réponse et le renforcement. Skinner appelle ce type de conditionnement ou comportement qui agit sur le milieu et provoque un renforcement, conditionnement opérant.

2.2.2. Notion de renforcement : enseignement programmé et machines à enseigner

L'enseignement programmé est une technique directement dérivée du laboratoire de conditionnement opérant, destinée à associer le renforcement maximum au contrôle exercé par un environnement soigneusement organisé (1969, p.33), écrit Skinner³⁷. L'instruction programmée, elle aussi écrira-t-il, est née au laboratoire, avec la programmation minutieuse des contingences de renforcement (idem, p.80). Selon son propre avis, l'enseignement programmé et les machines à enseigner sont les applications des plus en vue du béhaviorisme et du comportement opérant à l'enseignement et à l'apprentissage ; les manifestations les plus connues de la technologie de l'enseignement. Qu'est-ce à dire ? Qu'en ses débuts, la technologie éducationnelle était-elle une application du béhaviorisme ?

³⁷ Parmi les connaissances pratiques acquises de l'expérience au laboratoire, on peut encore citer la nécessité de construire des programmes qui entretiennent le comportement. L'appareil expérimental doit traduire objectivement les réponses produites et faciliter l'analyse, la mesure. Les contingences de renforcement constituent un trait important dans l'étude des variables indépendantes envisagées par une analyse expérimentale.

Selon Skinner, les causes du comportement opérant sont constituées par les effets des conduites antérieures de sorte qu'en se répétant, il s'ensuit une continuité de comportement qui forme la base de la stabilité de la pensée, de l'agir et du caractère. Skinner, en partant de la loi de l'effet établie par Thorndike, a réussi à démontrer par des expériences sur les animaux qu'un stimulus n'est pas du tout nécessaire pour consolider un comportement opérant³⁸. Ce constat, soutient W. Correll (1972, pp.34-35), va à l'encontre de la conception de Thorndike et de Hull qui pensaient à une simple association stimulus-réponse découlant de l'expérience du succès. Car pour Skinner, le succès accompagnant un comportement opérant renforce cette forme de comportement, qui tendra à se reproduire le plus souvent. (Voir apprentissage par le succès). Le comportement opératif, selon lui, ne devient significatif que lorsqu'il agit sur le milieu de façon à se trouver renforcé. C'est pourquoi pour lui, l'apprentissage par essais et erreurs est une perte de temps inutile, parce qu'il prend trop de temps.

Une notion est donc essentielle pour comprendre le conditionnement opérant chez Skinner, il s'agit de la notion de renforcement³⁹. Est renforcement, écrit Richelle (1973, p.15), tout événement qui, survenant à la suite d'une réponse, en augmente la probabilité d'émission. Nous renforçons, explique Skinner, un comportement opératif lorsque nous rendons une réaction ou comportement plus probable ou, en fait, plus fréquente. Ainsi pour Skinner, dans la mesure où les causes et les conséquences d'une forme de comportement sont contrôlables par le renforcement, il devient possible de former à volonté un comportement opératif et de donner à l'éducation une nouvelle dimension (dans le sens d'une modification programmée de comportement).

Chez Skinner, il s'agit de renforcer des comportements naturels, qui ont lieu par hasard, sans aucune finalité. Mais si ce sont des comportements complexes, pour qu'ils apparaissent durablement chaque fois que le renforcement sera présent, il faut préalablement les décomposer en unités de comportement plus petites, puis renforcer une à une les innombrables manifestations du comportement de l'organisme qui vont dans la bonne direction. «En faisant chaque fragment successif aussi petit que possible, on accroît au maximum la fréquence du renforcement fait remarquer Skinner, et on réduit au minimum l'éventuel caractère aversif des erreurs» (1969, p.30).

³⁸ Pour plus d'amples informations, lire M. Richelle (1973) *Le conditionnement opérant. Une introduction et un guide à la recherche de laboratoire*, pp. 175-176

En conséquence, l'observation directe n'est plus possible. Du fait du nombre énorme des comportements à renforcer et des contingences dont il faut tenir compte dans l'analyse objective des réactions, les expériences en conditionnement opérant exigent un minimum d'organisation, de planification ou de programmation. Il faut programmer les différentes étapes devant faire aboutir au résultat final ; il faut être méthodique et viser l'objectivité. Bref, il faut savoir programmer l'expérience. Ainsi de l'expérimentation programmée, Skinner tirera le principe de l'enseignement programmé d'autant plus que les deux visent la modification des comportements.

Du fait du nombre inimaginable des contingences de renforcement à contrôler, l'impossibilité d'une cueillette des résultats par observation directe, le conditionnement opérant en tant qu'une technique d'analyse expérimentale du comportement exige le recours à des dispositifs qui doivent prendre la place de l'expérimentateur⁴⁰. L'expérimentateur doit alors se faire remplacer par des dispositifs mécaniques ou électriques à cause du nombre d'événements à programmer ou à enregistrer au cours d'une séance d'expérience⁴¹.

Partant de cette observation, et du fait qu'à l'école l'enseignant doit se débrouiller avec une multitude de renforcement, Skinner conseille de faire remplacer les enseignants par les machines à enseigner. La technique du renforcement au laboratoire révèle donc le rôle incontournable des machines dans la programmation de l'expérience, son exécution et l'enregistrement des résultats. Skinner par exemple construira des programmes de renforcement pour modifier les comportements des pigeons en utilisant des «Skinner-box» ou pour leur permettre d'acquérir des comportements nouveaux et complexes⁴². De ces expériences, il tirera la conclusion qu'en maîtrisant, qu'en programmant minutieusement les contingences du renforcement, on a les moyens de contrôler le comportement. Pour Skinner

³⁹ Pour Skinner, le terme renforcement se substitue à celui de récompense. Il désigne dans un sens étymologique tout simplement l'affermissement d'une réponse (voir *Analyse expérimentale...*, p.152)

⁴⁰ Car, une expérience en conditionnement opérant exige le recours à des dispositifs d'enregistrement et de contrôle du mécanisme de renforcement parce qu'un contrôle des opérations expérimentales par l'expérimentateur lui-même et une observation directe et continue du comportement du sujet sont impossibles, inimaginables.

⁴¹ La nécessité expérimentale d'arranger les contingences du renforcement par rapport au comportement à faire acquérir, de contrôler leurs résultats et de les mesurer a démontré l'importance d'avoir un plan de leur programmation et d'être méthodique et méticuleux dans le choix des renforcements. Cela provient d'une pratique expérimentale qui se voulait objective et scientifique

⁴² Il y a plusieurs sortes de programmes de renforcement ; programme de renforcement positif (nourriture, boisson), des programmes impliquant un contrôle aversif (choc électrique), des programmes simples, complexes (où plusieurs modalités sont combinées), les programmes à renforcement continu (ou chaque réponse est renforcée), des programmes à renforcement intermittent (où certaines réponses seulement sont renforcées).

donc, il est possible par suite d'enchaînements de comportements élémentaires renforcés, de faire apprendre à un animal des conduites de plus en plus complexes.

2.2.3. Prolongement et conséquence méthodologiques du béhaviorisme dans l'éducation.

Selon la perspective de Skinner, on pourrait dire que la technologie de l'enseignement est aux sciences de l'éducation ce que la technique de l'analyse du comportement est à la psychologie du comportement : une technique qui lui permet de contrôler les apprentissages, une technique qui doit attester son statut scientifique. Doter l'enseignement des dispositifs mécaniques ou automatiques n'a d'autres buts que de chercher à contrôler objectivement les apprentissages, à les améliorer. Bref, à modifier les comportements. Car pour Skinner, le rôle de l'enseignant est pareil à celui de l'expérimentateur lequel consiste à programmer les contingences de renforcement de comportement.

Pour Skinner, enseigner, c'est construire (1969, p.9). Enseigner, c'est construire des contingences de renforcement, «c'est organiser les contingences de renforcement qui accélèrent l'apprentissage⁴³. L'enseignement est une manière expéditive et concentrée de provoquer l'apprentissage, car un individu qui bénéficie d'un enseignement apprend plus vite. Tout enseignement vise à installer des comportements». Enseigner, c'est arranger (ou programmer) systématiquement les contingences de renforcement, c'est-à-dire les relations entre le comportement et ses conséquences (récompense et punition). Il écrira encore : «Enseigner quelque chose, c'est inviter l'élève à s'engager dans de nouvelles formes de comportements clairement définies, dans des occasions clairement définies elles aussi" (idem, p.43). Et l'apprentissage n'est qu'une modification des comportements»⁴⁴.

⁴³ Par les contingences du renforcement, on a les moyens de contrôler le comportement. En variant ou en changeant les contingences de renforcement dans la direction du comportement souhaité, on est en mesure de provoquer un nouveau comportement. Il suffit d'un seul renforcement pour observer un changement évident dans le comportement. L'enseignement n'échappe pas à la règle.

⁴⁴ On ne s'étonnera donc pas que Skinner ait défini la tâche de l'école comme étant celle de doter l'enfant d'une multitude des réponses et des comportements bien définis. Pour cela, l'enseignement doit consister à mettre le comportement des élèves sous contrôle d'une vaste gamme de stimuli.

2.2.4 Applications à l'éducation : enseigner, c'est organiser les contingences de renforcement: c'est programmer.

L'élève peut apprendre sans qu'on lui enseigne, mais il apprend mieux si l'on aménage des conditions favorables. Les maîtres ont toujours, sans le savoir, arrangé des contingences efficaces chaque fois qu'ils ont enseigné avec succès, mais ils le feront d'autant plus qu'ils comprendront ce qu'ils font. En général, la technologie éducationnelle restera fidèle à la conception de l'apprentissage qui ressort de travaux de Skinner, celle de l'apprentissage individualisé, qui suit un programme bien précis, ne laissant pas de place à l'erreur, où beaucoup de tâches réservées traditionnellement aux enseignants sont remplacées ou dévolues à la machine (rejet de l'apprentissage par essais et erreurs). Cette structure rigide impliquée dans cette approche doit répondre au besoin surtout de transmettre un contenu spécifique plutôt que de favoriser la réflexion sur la matière enseignée. Elle donne lieu à un enseignement directif. La conception skinnerienne de l'éducation sera toujours taxée de ne pas respecter la liberté humaine, de promouvoir une approche autoritaire de l'enseignement où les élèves ne sont pas considérés comme des sujets libres et intentionnels.

2.2.5 Historique des machines à enseigner : légitimation théorique de la technologie éducationnelle

L'idée de construire des machines à enseigner et de doter l'enseignement des moyens mécaniques ou automatiques de contrôler efficacement l'apprentissage n'est pas neuve au temps de Skinner. Ce qui est nouveau avec les machines à enseigner de Skinner, c'est qu'elles sont construites pour donner un support concret à l'enseignement programmé lui-même conséquence technique de l'analyse expérimentale du comportement, de la théorie du conditionnement opérant. La technologie éducationnelle tire alors sa légitimité théorique et pratique du béhaviorisme skinnérien et dans la construction des premières machines à enseigner.

Selon Skinner, «les appareils mis au point par l'analyse expérimentale du comportement furent les premières machines à enseigner» (1969, p.79). Les machines à enseigner évolueront avec les améliorations apportées dans les principes de l'enseignement programmé.

Skinner lui-même, de son vivant, concevra des machines à enseigner l'arithmétique, l'orthographe, etc. Il s'appliquera aussi à déterminer les caractéristiques des machines à enseigner en interprétant les résultats de ses expérimentations au laboratoire, des connaissances pratiques acquises dans la construction des dispositifs d'expérimentation et travaillera à leur amélioration⁴⁵. Explicitement, il a lui-même contribué à sceller le sort de la technologie éducationnelle. C'est en tout cas, ce qu'il fera dans son ouvrage «la révolution scientifique de l'enseignement» lorsqu'il fait le plaidoyer de l'enseignement par machine, pour démontrer l'importance des machines à enseigner.

2.2.6. La technologie éducationnelle et l'avènement des ordinateurs dans l'enseignement : ordinateurs comme incubateur des connaissances, comme outil pour penser avec.

Par exemple, dans les premières machines qui proposaient l'enseignement programmé, il y avait un dialogue des sourds et il faut ajouter que celles-ci ne tenaient pas compte des caractéristiques individuelles des élèves. Ceux-ci ne recevaient guère d'autres instructions que «vrai» ou «faux», tandis que les ordinateurs modernes permettent le dialogue, l'interaction entre élèves et machines.

Les travaux de Papert ont aidé à comprendre les avantages épistémologiques et didactiques de l'utilisation des ordinateurs dans le système éducatif. Grâce à l'ordinateur, celui qui apprend, écrit Papert, se trouve en présence d'une forme de relation nouvelle avec un immense domaine du savoir. Selon lui, à la différence des autres outils électroniques (calculatrices, télévisions, jeux électroniques, programmes de radio ou de télévision ou toute autre nouvelle technologie) qu'on rencontre en classe, seul l'ordinateur a cette capacité de transformer qualitativement les connaissances. La télévision ne peut offrir, dans les meilleurs des cas, que des améliorations quantitatives en éducation et dans une forme d'enseignement qui existe sans elle (1981, p. 33). Grâce à l'ordinateur, un enfant peut apprendre à programmer. Par conséquent, pour un enfant qui apprend à programmer, le processus

⁴⁵ Le principe de l'enseignement programmé s'est enrichi des connaissances amassées en laboratoire sur les expériences sur le comportement opérant. Une d'elle stipule qu'un enseignement efficace doit présenter la matière à apprendre en fragments de difficultés progressivement échelonnée, de telle sorte que le comportement que l'on veut installer finalement soit acquis, avec la même sûreté qu'une réponse obtenue par découpage chez l'animal. Une autre qui est d'un intérêt pratique et technique pour la machine affirme qu'un comportement nouveau s'acquiert aisément si le sujet émet des réponses, s'il est renforcé et non s'il est simplement exposé à des stimulus, ou bien un comportement nouveau s'acquiert le plus aisément si des renforcements appropriés sont utilisés et s'ils sanctionnent les réponses au bon moment. D'autres observations, comme l'importance des différences individuelles dans le rythme d'apprentissage, lesquels doivent être prises en considération dans le choix d'un programme, ont servi à enrichir le principe et la pratique de la programmation de l'enseignement.

d'apprentissage s'inverse et se présente sous une forme active et autodirigée. Ses connaissances, l'enfant les acquiert dans une intention personnelle et consciemment perçue. Il peut alors les utiliser pour faire d'autres découvertes, d'autres apprentissages. Son savoir nouveau devient une source de pouvoir et de savoir.

Selon les propres mots de Papert, les ordinateurs ont un grand potentiel de changement culturel parce qu'ils sont porteurs de «gènes » ou de «semences » (de changement) culturels (cf. p.22). Ainsi pour Papert, en ce qui concerne l'apprentissage, les ordinateurs offrent aux enfants des supports efficaces et insoupçonnés à leurs apprentissages préalables et futurs, c'est-à-dire des «objets-pour-penser-avec». Et les ordinateurs eux-mêmes sont considérés par Papert comme des «objets-pour-penser-avec». Bref, le projet pédagogique de Papert est de montrer qu'il est possible et même réaliste de construire, en utilisant toutes les potentialités des ordinateurs, des environnements informatiques qui puissent favoriser les apprentissages de base des enfants, et à long terme, pourrait-on dire, leur insertion dans la société technologique et informatique qui est entrain, bon an mal an, d'éclore.

Nous pouvons résumer le projet de Papert tel qu'il apparaît dans son livre, au titre français très évocateur «*Le jaillissement de l'esprit*», nous pouvons dire Papert se propose d'ouvrir de perspectives nouvelles à la recherche en pédagogie tout simplement en insistant sur la nécessité de créer des conditions qui permettront le mieux d'ancrer aux modèles intellectuelles une dimension concrète et surtout intuitive, affective. Il entend concrètement créer des conditions qui permettront aux enfants d'explorer «naturellement » certains domaines du savoir jusqu'à présent réservés à un enseignement didactique formel. Autrement dit, son idée est de faire en sorte que les enfants soient au contact des matériaux –concrets ou abstraits- dont ils pourront se servir pour un apprentissage piagétien, préscolaire (cf.p.223), apprentissage qui sera le tremplin vers les apprentissages scientifiques et scolaires (voir incidence en robotique).

Puisque les enfants sont les bâtisseurs de leurs propres structures intellectuelles à partir des matériaux que leur fournit leur environnement, ainsi toute intervention éducative efficace ne peut consister qu'à réaménager leur environnement pour qu'ils aient des nouveaux matériaux de construction entrant dans la construction de leurs connaissances et de leurs structures cognitives.

Papert part de l'hypothèse que l'ordinateur devrait permettre de concrétiser le domaine formel, les connaissances formelles⁴⁶. Vu sous cet angle, l'ordinateur, pour Papert, n'est pas un énième instrument pédagogique, qui se contenterait d'être puissant. Il a ceci de particulier, d'unique qu'il nous fournit les moyens de nous attaquer à ce que Piaget et bien d'autres considèrent comme l'obstacle majeur à surmonter pour passer de la pensée enfantine à la pensée adulte. Ainsi l'ordinateur peut nous permettre de déplacer la frontière entre le concret et le formel. Aussi des connaissances naguère accessibles exclusivement par des processus formels peuvent-elles désormais être abordées par une approche concrète. Et dans ces connaissances nouvelles se trouvent, conclue Papert, des éléments nécessaires pour que l'enfant devienne un penseur formel.

Tout en décrivant de manière nouvelle le rôle de l'ordinateur comme stimulant et incubateur des nouveaux matériaux conduisant à l'élaboration de modes des pensée puissants et concrets, Papert décrit en même temps qu'il regrette l'utilisation massive de l'ordinateur comme un outil pédagogique d'enseignement programmé pour faire faire aux élèves des exercices d'orthographe ou d'arithmétique, comme des machines à enseigner ; il décrit également l'utilisation de l'ordinateur dans le seul but de programmer l'enfant. A l'opposé de nos classes habituelles où les enfants finissent peu à peu par avoir horreur d'apprendre⁴⁷, les apprentissages guidés par ordinateur suscitent le goût d'apprendre. L'ordinateur permet aussi d'éviter des apprentissages dissociés, cloisonnés. Autrement dit, il favorise ou facilite des apprentissages transversaux. En bref, l'ordinateur permet de motiver les enfants.

En disant que les enfants sont des constructeurs, des bâtisseurs nés, Papert emprunte à Jean Piaget cette affirmation selon laquelle les enfants eux-mêmes sont les bâtisseurs de leurs connaissances et de leurs propres structures cognitives. En effet, selon Piaget, les

⁴⁶ Papert reconnaît la distinction piagétienne entre la «*pensée concrète*» qui est bien élaborée quand l'enfant commence sa première année primaire et se renforce dans les années qui suivent, et la «*pensée formelle*» qui elle ne se développe réellement que lorsque l'enfant a presque le double de cet âge. Ce dont il n'est pas d'accord, c'est que certains spécialistes ont émis l'idée que bien des personnes ne parviennent jamais à une pensée pleinement formelle. Il n'admet pourtant pas complètement la distinction de Piaget, même s'il convient avec Piaget qu'une seule innovation pourrait bien avoir un retentissant qualitativement plus important sur le développement intellectuel que des milliers d'autres innovations aux effets quantitatifs cumulés. (cf. Jaillissement de l'esprit, p.33)

⁴⁷ Selon Papert, l'école va jusqu'à rendre les enfants incapables à apprendre, car à l'école tout justement, on ne leur apprend pas à apprendre selon le mode naturel décrit par Piaget. Inconsciemment, elle décourage les enfants lorsqu'elle les évalue sous la modalité du vrai et du faux. Plus encore, l'école, selon la façon naturelle d'apprendre des enfants («ramener ce qui est inconnu, nouveau à ce qui est connu = assimilation»), ne leur offre pas assez d'outils cognitifs qui soutiennent leur aventure intellectuelle. C'est pour cela que Papert envisage une transformation totale de l'école telle que nous la connaissons, sinon sa disparition complète. D'après Papert, si l'école ne s'adapte pas, il faudra la remplacer carrément par les micromondes (cf.p.167). Les micromondes

enfants ont des capacités naturelles pour apprendre, car bien avant d'aller à l'école ils accumulent un vaste savoir et se construisent des théories pour expliquer et comprendre les phénomènes qui surgissent dans leur environnement. Dans ce processus d'apprentissage d'avant l'âge de scolarisation, il semble qu'il y a des apprentissages qui se font plus tôt et spontanément, tandis que d'autres sont reportés plus tard, seulement s'ils n'ont pas lieu dans un cadre d'enseignement délibérément imposé.

Le report dans les apprentissages pourrait se comprendre de deux façons dans la théorie constructiviste de Piaget. Si l'enfant construit sa propre connaissance par adaptation à son environnement, comme tout constructeur, tout architecte, il a besoin de matériaux. Or nous savons depuis Piaget que c'est la culture environnante qui en est le pourvoyeur. Si elle en fournit en abondance, l'enfant apprend sans problèmes et il s'ensuit le développement de son intelligence. Dans le cas où l'abondance des matériaux pourvus par l'environnement serait attestée et qu'il y a lenteur ou remise à plus tard d'un apprentissage d'une notion ou tout simplement un développement lent dans l'apprentissage de certaines notions, Piaget invoque sa plus grande complexité, tandis que Papert perçoit l'explication du côté de la pauvreté de la culture environnante en matériaux qui rendraient la notion ou le concept simple et concret (Ibidem, p.18). Papert décrit par ailleurs certaines situations où la culture ambiante fournit des matériaux en abondance, mais en interdit l'usage. Selon lui, les enfants ont des difficultés à apprendre les mathématiques formelles, non pas seulement à cause de la pénurie des matériaux concrets ou formels indispensables, mais surtout à cause du blocage culturel, à cause de tous ceux qui, professeurs ou adultes, les présentent comme une matière coriace et inaccessible aux enfants moins doués. En effet, écrit-il, la culture moderne est «mathophobe»; puisqu'elle ne permet et ne favorise pas l'assimilation joyeuse des mathématiques par les enfants.

2.2.7. Rôle des «fausses théories» dans l'apprentissage naturel et scolaire : théories de transition vers les théories scientifiques.

Papert s'insurge sur le fait que dans le système scolaire, on rejette et on combat comme jamais les conceptions et les «théories fausses» des enfants, lesquelles à son avis en disent long sur le cheminement d'apprentissage naturel des enfants. En rejetant et surtout en combattant ces théories considérées faussement comme erronées, l'école fait grand fi de la manière dont les enfants apprennent et par conséquent aussi des découvertes qui soulignent l'importance de la démarche d'apprentissage naturel qui passe par des théories fausses.

2.2.8. Technologie éducative, EAO, Robotique pédagogique, ExAO

Ce qui a donné un regain de vigueur à la technologie éducative vers les années soixante, c'est la possibilité de pouvoir implanter l'enseignement programmé sur les ordinateurs ou la possibilité de pouvoir utiliser l'ordinateur pour diffuser l'enseignement programmé. Depuis on a commencé à parler d'enseignement programmé par ordinateur. Mais, leur conception s'inspire entièrement des prescriptions skinnériennes. Comme l'a écrit Barbey, l'ordinateur est sans doute la plus perfectionnée et la plus souple de toutes les machines à enseigner. Mais dès qu'on a découvert l'importance de la représentation graphique comme fonction cognitive au service du raisonnement, et à se tourner vers d'autres théories de l'apprentissage, il devient possible d'utiliser les ordinateurs comme auxiliaire à l'enseignement, comme outil d'apprentissage, de laboratoire.

Suite aux critiques adressées à l'enseignement programmé⁴⁸, et en vue de donner poids à la présence humaine dans l'enseignement, on commença à parler d'Enseignement Assisté par Ordinateur (EAO). Ce rôle d'assistant à l'enseignement et à l'apprentissage que l'on confère à l'outil-ordinateur a été largement mis en valeur par Papert (1981), dans son livre *«Jaillissement de l'esprit : ordinateurs et apprentissage»*⁴⁹. Par ce changement de

⁴⁸ Parmi les critiques adressées à la pratique de l'enseignement programmé, il y a d'abord le fait que les connaissances sont réduites à des fragments de comportements, ensuite le fait de ne pas prendre en considération les activités cognitives des apprenants et surtout leurs capacités de construire leur propre connaissance.

⁴⁹ Les recherches de Seymour Papert s'inscrivent dans la continuité ou la perspective des théories piagétienne de l'apprentissage naturel ou spontané, de l'apprentissage sans enseignement prémédité et sans maître (cf. p.45). Elles s'inscrivent pour ainsi dire dans le cadre ce que Papert appelle lui-même «l'apprentissage piagétien». Mais il s'en distingue pourtant sur deux points : d'abord, il retient de Piaget le rôle spécial et dynamique de l'environnement dans la construction et le développement des connaissances chez les enfants, mais contrairement à Piaget, il définit son projet comme une tentative de créer des environnements informatiques d'apprentissage (micromondes) capables d'induire des modifications dans les schèmes des enfants une évolution intellectuelle et de ce fait créer des conditions susceptibles de permettre aux enfants d'acquérir mieux et plus de connaissances

terminologie, on veut signifier que l'ordinateur ou la machine ne remplace pas l'enseignant, n'enseigne pas, mais il est un auxiliaire important, une aide au service de l'enseignement pour la construction des activités d'apprentissages enrichissantes, un support à l'apprentissage. La méthodologie de l'enseignement assisté par ordinateur ne se démarqua pas sensiblement de la méthode de l'enseignement programmé. Car pour l'essentiel, les programmes d'EAO en ses débuts ne se calquaient que sur les modèles de Skinner, de Crowder ou de l'université de Sheffield. Mais l'utilisation de l'ordinateur conduira à affiner sensiblement la méthodologie. Aujourd'hui, la méthodologie a progressé sensiblement et a déjà rompu d'avec les schémas classiques de l'enseignement programmé⁵⁰.

Jusque dans les années quatre-vingts, la technologie éducationnelle étant liée à l'enseignement programmé, était confondue à l'enseignement programmé. Dans la mouvance des critiques adressées à l'enseignement programmé, et la nécessité d'intégrer d'autres considérations afin d'améliorer les enseignements scientifiques, la robotique pédagogique naquit en mettant au point l'approche qui sous-tend le principe des Expérimentations Assistées par ordinateur (ExAO) ou laboratoire assisté par ordinateur, qui aujourd'hui a le vent en poupe (voir annexe 1 : ce qu'il faut savoir sur les principes de l'ExAO).

La robotique pédagogique marque donc une évolution dans la pratique de la technologie éducative, et une rupture. Elle marque l'ouverture de la technologie éducative à d'autres théories de l'apprentissage que le béhaviorisme, à d'autres approches pédagogiques comme l'approche cognitive. Elle ouvre la technologie éducative à l'apprentissage des stratégies cognitives comme la résolution de problèmes en contexte expérimental. Elle rompt avec une vision unilatérale des phénomènes d'apprentissage. Voyons comment elle intéresse notre problématique. Voyons comment elle aborde les activités de résolution de problèmes dans l'approche pédagogique qu'elle constitue.

Dans les années soixante, la robotique pédagogique se limitait à l'utilisation de l'ordinateur pour le contrôle interactif et en temps réel d'une expérience de laboratoire (Laurencelle, 1970). On parlait alors d'expériences contrôlées par un appareteur, par un ordinateur, ordinateur outil de laboratoire (Voir Appareteur-robot). Cette approche basée sur la théorie de

sous le mode de l'apprentissage spontané. Pour cela, il misera sur l'ordinateur, qui mieux que les autres outils, permet sans trop de difficultés la conception et la construction de tels environnements. Les travaux de Papert sont donc parmi ceux qui ont permis ce changement d'orientation dans la manière d'utiliser l'ordinateur dans les applications pédagogiques et surtout en enseignement des sciences.

⁵⁰ La place accordée à l'enseignant, l'importance accordée à la machine plus qu'à l'acte d'apprentissage ou pédagogique, manque d'analyse du contenu d'enseignement intégré à une approche psychologique

la «*lunette cognitive*» (Nonnon, 1986)⁵¹ sera féconde dans l'enseignement des sciences expérimentales. Elle sera la base de l'ExAO en tant qu'application pédagogique de l'ordinateur destinée au contrôle des expériences de laboratoire (Sourdillat 1983 ; Nonnon et al, 1972 ; Nonnon 1986 ; Marchand 1992 ; Baufils et Le Touzet 1992). Bref, une sorte d'appariteur-robot (Nonnon, Laurencelle 1984) qui facilite la préparation, la mise en œuvre et l'interprétation des expériences de laboratoire.

Avec l'introduction des micro-ordinateurs dans le milieu scolaire, vers les années quatre-vingts, l'apprenant est invité à construire lui-même son robot et le reliant à l'ordinateur grâce aux interfaces, il peut programmer ses déplacements et les activités qu'il désire lui faire réaliser. Le robot devient un moyen ludique de relier l'univers de l'enfant aux préoccupations d'apprentissage. Cette approche va se développer dans la perspective de la tradition logo visant à diversifier les micromondes utilisés et cherchant à construire des situations signifiantes pédagogiquement pour les apprenants (voir robots pédagogiques). Une spécificité de la démarche tient au fait que les apprenants construisent eux-mêmes les robots.

La robotique pédagogique élabore des environnements pédagogiques informatisés pour l'enseignement des sciences expérimentales et de la technique (appariteur-robot, didacticiels pour l'enseignement de la physique, logiciels éducatifs, etc.). Elle exploite à cet égard les ressources graphiques de l'ordinateur et offre un support concret à l'apprentissage, dans une vision constructiviste de l'apprentissage (Nonnon, 1989, p.195). Ces environnements pédagogiques ExAO sont conçus pour engager les élèves dans une démarche heuristique de résolution de problèmes traitant des phénomènes physiques, démarche hypothético-déductive qui devrait les amener à formuler des hypothèses, à construire un schéma de contrôle des variables, à les confronter avec l'expérience réelle, à formuler des lois et de construire le modèle théorique. Puis dans une démarche inverse, il pourra tester ce même modèle en procédant de façon déductive du théorique au réel expérimental.

En tant qu'approche pédagogique de l'enseignement et apprentissage des sciences expérimentales et techniques, la robotique pédagogique s'inspire des principes du constructivisme interactionniste piagétien. Elle privilégie de ce fait la construction des stratégies ou habiletés cognitives à partir d'une approche expérimentale et concrète de l'apprentissage, et se distingue de l'enseignement programmé qui est entièrement un

⁵¹ La métaphore de la «*lunette cognitive* » essaie de rendre compte de la valeur pédagogique qui ressort du principe de la représentation en temps réel de l'action expérimentale et sa représentation graphique.

enseignement des contenus. En donnant plus d'importance aux manipulations en laboratoire, elle accorde une prééminence à la réalité, à la situation d'apprentissage, à la méthode d'investigation ou exploration des phénomènes naturels⁵² pour faire accéder les élèves à la pensée formelle. Elle privilégie les activités de type plutôt heuristique qu'algorithmique et opte pour la démarche hypothético-déductive et rejette tout enseignement théorico-déductif classique.

En tant qu'environnement informatique d'apprentissage des sciences expérimentales, l'approche ExAO promeut une stratégie d'enseignement axée sur la construction des connaissances par la résolution des problèmes et la réalisation des projets individuels⁵³. Elle est une pédagogie active, visant à responsabiliser l'apprenant.

L'analogie de «*lunette cognitive*» résume et précise la place que la robotique assigne à l'ordinateur comme outil d'apprentissage et l'intérêt de son approche pédagogique dans l'acquisition du schème de contrôle de variable en facilitant le passage du concret à l'abstrait. L'ordinateur comme outil de laboratoire permet la représentation simultanée de l'évolution des variables et l'expérience. Grâce à l'ExAO, l'élève peut être initié à la démarche scientifique hypothético-déductive, à l'abstraction mathématique, qui est une des caractéristiques de la pensée formelle. Ce qui revient à dire que les expériences réalisées sous ExAO facilitent la compréhension des phénomènes physiques puisque la représentation symbolique signifiante est associée à l'action expérimentale concrète en temps réel, grâce à l'ordinateur⁵⁴ (voir aussi la conception de Papert selon laquelle l'ordinateur a la capacité de rendre concret les apprentissages formels, le monde formel).

⁵² C'est à partir des différentes constatations qu'en robotique on a opté pour donner plus d'importance aux manipulations en laboratoire, nous pouvons citer : - On apprend bien lorsqu'on va du concret vers l'abstrait. - On apprend bien là où tous les sens sont impliqués. - On apprend bien ce que l'on fait soi-même. - On apprend bien en travaillant avec du matériel à trois dimensions. - On acquiert un jugement critique, un esprit d'organisation et de synthèse, une capacité de travail d'équipe, par les expériences de laboratoire et les discussions post-laboratoires.

⁵³ En robotique, une démarche de résolution de problème est possible lorsque l'apprenant est placé dans une situation-problème déterminée par le matériel didactique investi. La situation problème est le moteur des activités qui permettent à l'apprenant de construire ses représentations. Ces représentations peuvent être exprimées de manière implicite par la manipulation des objets et des informations, puis traduites sous forme des théorèmes en acte au sens défini par G. Vergnaud.

⁵⁴ L'approche pédagogique sous-jacente à l'ExAO suppose l'élève comme programmeur-expérimentateur. Dans cette approche, l'ordinateur est le seul intermédiaire entre l'expérimentateur-élève et la situation expérimentale (survivance behavioriste). Le système ordinateur-outil de laboratoire se caractérise, dans cette optique, par une double interaction. D'une part, une interaction bidirectionnelle entre l'élève et l'ordinateur, et d'autre part, par une interaction bidirectionnelle entre la situation expérimentale et l'ordinateur (Nonnon, 1986, p.41).

Tout récemment, en ExAO, on a commencé à concevoir des environnements d'apprentissage assistés par ordinateur intégrant la simulation interactive (Désautels, 1995) afin de donner aux élèves des référents sensoriels, visuels surtout ou iconiques (représentations partielle et schématique de la réalité sur écran) des interactions des variables se produisant à l'intérieur de systèmes réels non visualisables où les variables ne sont pas directement observables (cf. étude d'un système de réfrigération ; comme on ne voit pas directement la température et la pression, la compréhension de l'interaction entre les deux variables devient difficile ; Nonnon, Hudon 1993).

Dans ces environnements informatiques d'apprentissage, la réalité expérimentale est simulée de manière symbolique et iconique. L'animation de la représentation iconique et la représentation graphique du phénomène réalisée en simultanée favorisent chez les élèves l'acquisition d'un langage graphique de codage signifiant qui peut aider à comprendre ce qui se passe dans le système fermé. Si on manipule les données du phénomène à l'étude, l'ordinateur va d'abord représenter ses variables graphiquement et construire en même temps une représentation iconique simulée, la visualiser en mode animé en même temps que la représentation iconique de ce phénomène.

Daniel Cervera (1992,1993) propose, dans cette perspective, un logiciel de simulation assistée par ordinateur pour l'apprentissage des concepts d'énergie des fluides⁵⁵. Cet environnement informatisé est construit de telle sorte qu'il puisse conduire l'élève à travers une démarche de modélisation, au moyen de situations expérimentales dont il pourra observer le comportement et visualiser les phénomènes impliqués. Cet environnement laisse à l'élève la possibilité de pouvoir créer ses propres situations expérimentales (en simulation), les mettre à l'essai et explorer toutes les hypothèses de fonctionnement voulues. Par rapport aux recherches classiques en robotique, ce qui est nouveau ici, c'est la volonté de vouloir provoquer le changement conceptuel chez l'apprenant en lui laissant la tâche de construire virtuellement lui-même ses situations d'apprentissage, d'émettre des hypothèses d'explorer les hypothèses de fonctionnement et de construire le modèle de compréhension qu'il va comparer avec le modèle explicatifs formels des fluides. Quels types de situation d'apprentissage cet outil informatique permet-il de construire ? A quels problèmes

⁵⁵ Les outils robotiques intégrant le principe de simulation assistée par ordinateur sont parmi les plus efficaces pédagogiquement qui seront mis sur le marché. Mais la question qu'on est en droit de se poser, c'est de savoir s'ils permettent de situations ou des activités d'apprentissage capables d'engager les élèves dans la construction et la structuration des connaissances scientifiques. Est-ce que ces outils permettront la réalisation des situations d'apprentissage basées sur la résolution des problèmes et favorisant la structuration des connaissances ?

d'enseignement et d'apprentissage répondent-ils ? Quelles sont les variables didactiques avec lesquelles son application joue, quelles sont celles pour lesquelles son application n'amène pas de renseignements, laisse indifférentes ?

Comme il convient de le souligner, les efforts déployés par Cervera, quelques louables qu'ils soient, ne modélisent cependant pas assez la situation d'apprentissage et surtout la fonction de l'enseignant, en ne stipulant pas le cadre précis du contrat didactique qui devrait accompagner de tels outils. On aurait intérêt, s'il faut compléter cette recherche, à imaginer quelques situations problèmes ou quelques situations d'enseignement qui donneront des repères précis à l'action éducative, à l'activité d'apprentissage. Car, sans guide, sans une intention manifeste d'enseigner, les élèves risquent de se complaire dans des manipulations ludiques, désordonnées puisque non finalisées didactiquement.

La partie qui suit essaie de théoriser les éléments psychocognitifs, psychogénétiques, épistémologiques et didactiques qui permettent d'asseoir la pertinence pédagogique d'une approche constructiviste et adaptationniste de l'apprentissage sur laquelle s'appuient la démarche de résolution des problèmes et l'approche d'enseignement des sciences que préconise actuellement la didactique des sciences.

2. 3. L'enseignement des sciences et la didactique

«La grande majorité des travaux de didactique des sciences s'écarte du béhaviorisme sous ses différentes formes, et s'en tiennent pour ce que l'on peut cataloguer grosso modo comme du «constructivisme» », écrivent Johsua et Dupin (1993, p.71). Si cela est vrai quant à la théorie psychologique de l'apprentissage à laquelle elle se réfère, il n'est pas moins vrai que son approche pédagogique s'est constituée grâce à la transposition à l'enseignement et apprentissage de la science des concepts empruntés à l'épistémologie et à la philosophie des sciences. Qu'est-ce à dire ? Tout simplement que l'on ne peut pas passer sous silence la théorie piagétienne de l'apprentissage (*psychologie cognitive et épistémologie génétique*), tout comme la place centrale des concepts de problème et d'obstacle dans l'épistémologie de Bachelard, si l'on veut comprendre la démarche actuelle de la didactique des sciences.

Avant de dégager les acquis des recherches modernes dans la constitution et le développement de la didactique des sciences, qu'il nous soit permis de résumer la contribution spéciale de trois auteurs **Piaget**, **Bachelard** et **Brousseau**, qui ont marqué, chacun à sa façon, les trois moments importants de l'évolution ou du développement de la didactique des sciences. Ce résumé s'articulera autour des principaux concepts qui ont marqué la réflexion didactique et le renouvellement des pratiques en enseignement des sciences. Et la logique qui nous guidera sera de laisser voir l'évolution des rapports entre d'une part la psychologie du développement cognitif (Piaget) et l'épistémologie, toutes deux comme science de référence ; et la didactique des sciences, de l'autre. Nous ferons aussi allusion aux recherches actuelles autour des concepts de *modèle* et de *modélisation* : Nous verrons comment à partir du rejet ou de la critique de tout enseignement des sciences qui part des modèles, on en vient aujourd'hui à vouloir remettre en scelles l'apprentissage de la modélisation, pour faire des modèles des savoirs opérants, à la fois objet et outil d'apprentissage. Nous verrons en quoi ces recherches trouvent des applications intéressantes dans l'enseignement de la biologie, la géologie et même en physique. Néanmoins, elles sont encore balbutiantes.

2.3.1. Piaget : psychologie du développement cognitif. Approche constructiviste de l'apprentissage : épistémologie génétique

En se situant au plan de la psychologie du développement cognitif, Piaget découvre ce que la théorie béhavioriste de l'apprentissage rejetait, c'est-à-dire l'activité et le rôle structurant du sujet dans le processus d'apprentissage, et pose les bases de l'hypothèse constructiviste de l'apprentissage⁵⁶. La psychologie du comportement, en réduisant les mécanismes d'apprentissage aux mécanismes de conditionnement, a donné naissance à une théorie pédagogique basée sur l'acquisition des connaissances, et une interprétation des apprenants comme des récipients vides, des tables rases, donc cognitivement passifs. Piaget (1941, 1955, 1970a) a réussi à mettre en évidence non seulement l'activité structurante du sujet dans les apprentissages, le processus ou les mécanismes de cognition, mais surtout le caractère dynamique de la cognition ainsi que les divers stades de son développement (Cf. Théorie opératoire de l'intelligence). Le sujet construit ses connaissances par une adaptation personnelle avec son environnement, conclut Piaget⁵⁷.

⁵⁶ Une chose mérite d'être soulignée ici pour expliquer l'importance de cette référence à Piaget lorsqu'il est question de situation scolaire d'apprentissage : les connaissances d'un élève ne dépendent plus seulement de la situation, mais aussi des connaissances antérieures du sujet et de leur organisation interne. En cela, Piaget s'inscrit en faux contre les applications dans le domaine de l'enseignement des résultats de la psychologie du comportement. Même si, par ailleurs, ses propres travaux reflètent une insuffisance didactique notoire, il n'en a pas moins influencé les approches de l'enseignement-apprentissage qui se réclament du constructivisme au point d'en être une référence majeure. Comme il le dit lui-même, il a commencé ces travaux de recherche afin d'informer l'épistémologie des résultats scientifiquement établis de la psychologie et d'établir la continuité entre le développement de la connaissance individuelle et celui des connaissances scientifiques (Piaget, 1950, 1983). D'après Seymour Papert (1981), qui fut un de ses étudiants, ce que Piaget lègue à l'humanité, c'est l'idée que les enfants apprennent tant de choses sans qu'on les leur enseigne, qu'il contribue activement à la construction de sa personne et de son univers cognitif. Selon lui, Piaget n'a rien dit sur une possible éventualité de créer des conditions permettant aux enfants d'acquérir encore plus de connaissance selon ce merveilleux processus de l'apprentissage spontané. Pour ce fait, il appelle Piaget le théoricien de l'apprentissage sans programmes, sans enseignement. Les travaux de Papert ont beaucoup inspiré la robotique pédagogique, les recherches sur l'utilisation de l'ordinateur comme outil d'apprentissage. Il appellera les environnements d'apprentissage assistés par ordinateur, de «micromondes» ou «incubateurs de savoirs».

⁵⁷ C'est dans ses travaux en épistémologie génétique que Piaget décrit le développement cognitif de l'enfant découlant de l'apprentissage même, et met en exergue non seulement les mécanismes des processus d'apprentissage mais aussi les différentes étapes du développement de l'intelligence. Pour Piaget, enseigner ce n'est pas arranger les contingences de renforcement en vue d'une modification possible des comportements comme chez Skinner, mais une activité d'aménagement des situations ou environnement pour faciliter son interaction avec les élèves, afin non seulement qu'il construise ses connaissances, mais surtout qu'il acquiert des outils cognitifs capables de stimuler son développement intellectuel. Chez Skinner, l'apprentissage résulte de l'interaction entre l'organisme et le milieu. L'avènement de la subjectivité pensante advient avec Piaget dans la théorie de l'apprentissage, sauf qu'il se préoccupera de l'organisation des structures logio-mathématiques des enfants qu'il oubliera de prendre en considération «le savoir à enseigner» et le caractère déterminant du rapport qu'un apprenant peut avoir avec le savoir scientifique. Ceci est une des raisons pour lesquelles Piaget n'est plus le cadre de référence unique à la didactique des sciences. On peut trouver dans ces limites la raison pour laquelle

Pour Piaget, les connaissances s'acquièrent plus par un processus de construction que d'absorption et d'accumulation d'informations venues du monde extérieur. Ce processus de construction entraîne l'élaboration de structures cognitives qui transforment l'information reçue de l'environnement et se trouvent par ce fait même réorganisées. Ainsi les connaissances ne s'empilent pas linéairement comme le béhaviorisme le laisse supposer (enseignement encyclopédique et directif des connaissances), au contraire elles se structurent et s'intègrent dans la structure cognitive du sujet ; elles s'organisent, grâce à l'action du sujet, en s'appuyant sur les schèmes et les invariants opératoires déjà là⁵⁸. Pour Piaget, les connaissances ne sont pas de copies de la réalité, mais plutôt des assimilations du réel à des structures intellectuelles existantes, elles-mêmes en constante restructuration, transformation⁵⁹.

Nous retenons donc de Piaget que la connaissance dérive de l'adaptation du sujet à son environnement et constitue un cas particulier d'un processus biologique plus général qui est celui d'un jeu incessant entre assimilation et accommodation. Autrement dit, l'intelligence est le produit de l'interaction du sujet avec son environnement : celle-ci se manifeste et se développe dans la maîtrise des opérations nécessaires pour passer d'un stade opératoire à un autre. L'intelligence se développe grâce à la *coordination progressive des actions*⁶⁰. C'est

même la psychologie du développement cognitif est passée du statut de science de référence externe au rôle de participante à l'étude et à la compréhension de l'ensemble des phénomènes d'enseignement, ou à l'ensemble des phénomènes didactiques en général.

⁵⁸ Piaget (1975) distingue dans le processus d'adaptation de l'enfant à son milieu deux champs cognitifs différents qu'il doit construire ; le champ de la connaissance physique et celui de la connaissance logico-mathématique. Le premier se structure à partir des interactions de l'objet physique avec l'action du sujet, tandis que le second type est structuré par les actions même du sujet et de leur *coordination* ; l'important étant l'acte mental de mettre les objets en rapport et non l'acte moteur, qui consiste à les manipuler, les déplacer dans l'espace, à les tourner et les retourner dans tous les sens, à les laisser tomber, bref, à jouer avec...

⁵⁹ En effet, les travaux de Piaget ont mis en lumière les rapports entre les structures logico-mathématiques et les connaissances nouvelles. Ces rapports relèvent des mécanismes soit de l'assimilation ou de l'accommodation. Piaget interprète chaque forme d'apprentissage comme une victoire remportée sur une perturbation du précaire équilibre cognitif de l'individu. Pour lui, c'est le caractère de nouveauté des situations ou des objets qui incite à apprendre, qui crée un déséquilibre, une perturbation et nécessite une adaptation. Ce processus d'apprentissage n'est pas seulement un apprivoisement des connaissances nouvelles, mais aussi rééquilibrage du système cognitif qui a subi des bouleversements à cause de l'intégration de nouveaux schèmes. Le processus d'équilibration permet en effet de régler les rapports entre la structure cognitive du sujet et les sollicitations extérieures.

⁶⁰ Pour Piaget, l'action est le facteur le plus important du processus d'apprentissage. Chez tout sujet humain, l'action est progressivement intériorisée et finit par devenir opération. En Mathématique par exemple, l'action se transforme en connaissance par abstraction des propriétés et des relations propres aux actions et opérations du sujet. En général, l'enfant construit ses connaissances à partir des connaissances préalables elles-mêmes acquises par hasard au contact des objets de son environnement, de son milieu (hypothèse constructiviste de l'apprentissage et de l'intelligence). Comme l'expliquera plus tard S. Papert (1981), si l'enfant construit ses propres connaissances, ses propres structures cognitives, comme tout bâtisseur, il le fait en s'appropriant des matériaux qu'il trouve autour de lui, et surtout, de façon manifeste, en s'appropriant les modèles et les métaphores suggérées

de cette coordination que résulte une succession d'étapes qualitatives distinctes entre elles que Piaget appelle «*stades du développement intellectuel*». Chacun de ces stades correspond à un mode d'organisation mentale particulier qui intègre les acquisitions du stade précédent. L'intelligence est comme un système d'actions intériorisées conduisant à l'adaptation de l'enfant à son environnement. Pour faire court, disons que Piaget définit l'intelligence et son développement en termes de *coordination* et d'*équilibre*⁶¹.

La théorie opératoire de l'intelligence a eu plusieurs impacts ou incidences sur l'enseignement et l'apprentissage des sciences ; on peut citer le rôle reconnu aux environnements riches pour soutenir les apprentissages des élèves (voir la planification des situations d'apprentissage et leur rôle dans le processus d'apprentissage) et à l'action comme étant un des facteurs des plus importants dans le processus de connaissance⁶² ; la nécessité de mettre l'accent dans l'enseignement sur l'acquisition des outils ou habiletés cognitifs qui servent à aider les élèves à développer leur capacité de raisonnement, leurs structures logiques de raisonnement ; la nécessité de mettre l'apprenant au centre de ses apprentissages. Au plan pédagogique, la théorie piagétienne de l'apprentissage a conduit les pédagogues à être attentifs à l'implication des élèves dans leurs apprentissages (approches actives). Elle a permis aussi de prendre conscience de la nécessité de créer des situations d'apprentissage riches pouvant aider l'élève à construire ses connaissances et se développer intellectuellement.

Il faut cependant ajouter qu'il n'y a pas chez Piaget une théorie explicite de l'enseignement et encore moins un modèle opératoire de l'apprentissage scolaire. Piaget est un biologiste, un psychologue et un épistémologue ; ses expériences, il les réalise dans un cadre clinique. Il n'a pas fait œuvre de pédagogue et encore moins de didacticien, sauf dans ses écrits proprement pédagogiques où il se limite à donner des prescriptions selon lesquelles les enfants jeunes

par la culture environnante. Cette dernière, comme dirait Papert, lui offre des «objets-pour-penser-avec», des «outils-pour-apprendre-avec», des «matériaux-pour-bâtir-avec-ses-connaissances». Et il devient même «un objet-pour-penser-avec».

⁶¹ Pour rendre intelligible ce processus d'acquisition de données du monde extérieur, ce processus de formation des connaissances Piaget (1972) évoque un mécanisme invariant qui assure le fonctionnement de ces conduites. Ce mécanisme comprend eux processus, d'assimilation et d'accommodation, qui aboutissent à l'adaptation du sujet à son environnement. Même lorsque la psychologie génétique a perdu son statut de science de référence principale ou absolue à tous les phénomènes d'enseignement, sa prétention d'être la seule à fournir à l'éducation son vrai fondement scientifique, la conception de l'apprentissage comme adaptation reste fondamentale et incontournable en didactique et devient même un des concepts majeurs que l'on retient de Piaget.

⁶² Pour beaucoup de psychologues, à la suite de Piaget comme Vergnaud, considèrent que l'activité en situation est à la fois source et critère de la pensée conceptuelle. On sait que chez Piaget l'action se transforme en connaissances mathématiques par abstraction des propriétés et des relations propres aux actions et aux opérations du sujet. Il y a là déjà des raisons sérieuses pour plaider qu'on réserve dans l'organisation des séquences

devraient être mis dans des environnements matériels riches en vue de favoriser leur développement intellectuel ou à interdire qu'il ne faut pas chercher à enseigner une capacité qui appartiendrait à un stade supérieur à un enfant trop jeune⁶³. Selon Piaget, les enfants construisent, élaborent leurs structures de pensée de manière préconsciente et spontanée, sans qu'elles leur soient inculquées par qui que ce soit. On ne peut pas les accélérer. Ainsi qu'on peut le remarquer, Piaget, dans ses recherches, s'est limité à l'apprentissage dit naturel, et ne s'est pas soucié des composantes affectives de l'assimilation du savoir comme le lui reproche Papert, composante qui peut devenir stimulante pour la construction des connaissances⁶⁴.

Plus explicitement, nous verrons, avec Guy Brousseau (Théorie des Situations Didactiques), comment la compréhension piagétienne de l'apprentissage comme adaptation du sujet à l'objet (à son environnement), va être relue en fonction des contraintes et caractéristiques propres à l'enseignement, en subissant une réduction du côté du sujet épistémique ou sujet connaissant en général (il deviendra élève) et une extension du côté de l'objet (ça deviendra un environnement, une situation)⁶⁵. Tandis que Piaget construit un modèle *sujet-objet* dans lequel il y a intégration de l'objet par assimilation ou accommodation⁶⁶, mais qui postule

d'enseignement concernant les sciences une place aux activités fonctionnelles d'apprentissage, où l'on invite les élèves à s'engager, à agir, à manipuler, à chercher, à explorer son environnement.

⁶³ Jean Piaget (1969), *Psychologie et Pédagogie*, Paris : PUF

⁶⁴ Papert partage l'hypothèse constructiviste de Piaget dans son ensemble, et son explication de l'apprentissage en termes de processus d'adaptation et d'équilibration. Mais si Piaget explique un certain type de l'apprentissage humain comme un processus d'assimilation qui correspond à l'action du sujet sur le milieu et se traduit par la compréhension du monde extérieur à travers les structures intellectuelles déjà construites du sujet, Papert trouve, quant à lui, que Piaget s'attache presque exclusivement à l'aspect cognitif de l'assimilation et exclut la composante émotionnelle ou affective de l'assimilation du savoir. Pour Papert, en effet, dans le processus d'assimilation d'un savoir, il y a une idée de rapprochement de ce qui n'est pas connu à ce qui est connu ; de ce qui est à connaître de ce qui est déjà connu et maîtrisé, de ce qu'on possède déjà connaissances. Ainsi une notion qui se rapprocherait à quelque chose de connu pour l'enfant et ayant une valeur émotionnelle pour l'enfant aurait, selon Papert, plus de chance à être facilement assimilé que ce qui n'en a pas. (Cf. les engrenages d'enfance de Papert qui lui ont permis de comprendre intuitivement la notion d'équation linéaire).

⁶⁵ Il faut dire que les autres tentatives d'appliquer les résultats de la psychologie cognitive et génétique à l'enseignement ont créé beaucoup d'impasses. D'abord, il y a le fait qu'elles ont exclu le savoir, en opérant une substitution d'objets d'enseignement. Ainsi l'enseignement est devenu le lieu privilégié pour introduire une sorte de programme de développement opératoire, des structures opératoires ou logiques de l'élève. Les situations d'enseignement alors commencent à avoir comme objectifs d'accélérer le développement cognitif ou d'en compenser le retard. Les contenus d'enseignement étant mis au rancart. Dans cette perspective applicationniste de la psychologie génétique à l'enseignement, on transfère les plans expérimentaux de la méthode d'entretien clinique propre à la psychologie, dans des propositions pédagogiques et des situations d'enseignement. Et on fait abstraction dans la question des transformations des connaissances, ce qui en elles revient aux transformations culturelles, aux corpus des savoirs en question, à la position de l'institution scolaire et des enseignants.

⁶⁶ Piaget explique *le mécanisme d'assimilation* de la sorte : pour apprendre l'enfant doit être en interaction avec un objet de connaissance. S'il arrive que dans sa quête de connaissance, il ne rencontre aucun problème, alors il

implicitement une distance entre le sujet connaissant et l'objet à connaître, Guy Brousseau propose un modèle *sujet-situation* où l'élève est dans la position de rencontrer des connaissances scolaires et de les construire, de manière autonome. Un modèle sujet-situation où l'élève est amené à éprouver le besoin de connaître, à s'adapter à la situation. C'est le recours à la traduction pédagogique de la notion de problème tirée de l'épistémologie de Bachelard qui permettra aux didacticiens de coupler les concepts de «situation» et de «problème» et à la didactique des sciences d'être conforme aux exigences constructivistes de l'apprentissage des sciences

En bref, pour le bénéfice de notre recherche, ce que nous pouvons retenir de Piaget, c'est le fait qu'il a mis en relief le rôle actif et l'importance de l'élève dans la construction de ses connaissances (approche constructiviste de l'apprentissage). Nous exploiterons cette activité de construction de l'élève dans les activités fonctionnelles, de résolution de problèmes et même de structuration. Nous retenons aussi que le mécanisme à la base de l'apprentissage est un mécanisme d'adaptation, d'interaction entre élève et l'environnement d'apprentissage. Autrement dit, on ne peut former un élève à la rationalité scientifique et technique sans qu'on puisse lui permettre de construire de manière autonome ses connaissances ou d'acquérir les outils ou habiletés cognitifs nécessaires dont il a besoin pour ce faire.

assimile les données de son environnement à des schèmes existants au préalable. S'il arrive que l'objet à connaître présente quelque résistance à l'assimilation, c'est-à-dire, si le schème tend à se différencier des objets nouveaux du fait des différences notables existant entre ceux-ci et les objets qui ont servi antérieurement à l'édification du schème, le schème d'assimilation doit se modifier pour bien accomplir sa fonction d'assimilation. Autrement dit, le sujet humain n'est sensible aux stimuli nouveaux que dans la mesure où il dispose des schèmes susceptibles de les assimiler, sinon dans le cas contraire le schème d'assimilation doit se modifier, se transformer pour être à la mesure de sa tâche. *Le processus d'accommodation* : pour Piaget intervient lorsque le sujet n'arrive pas à assimiler les données du monde extérieur, c'est-à-dire lorsque les schèmes sont incapables de les assimiler, n'arrivent pas à s'appliquer aux objets nouveaux avec lesquels l'enfant entre en contact. Ainsi, pour contrecarrer les résistances qu'il rencontre, le sujet est conduit à modifier les schèmes, et à les diversifier. Ce processus qui consiste à modifier les schèmes et à les enrichir si besoin s'impose, est le processus d'accommodation. Réciproquement, le sujet ne peut être sensible à la nouveauté à laquelle il doit s'accommoder qu'en fonction des schèmes d'assimilations dont il dispose déjà.

2.3.2. **Bachelard** : rôle moteur des obstacles épistémologiques dans la construction des connaissances. Liens problèmes et savoirs dans les activités scientifiques et didactique.

Avec Piaget, nous avons une théorie sur les mécanismes de développement cognitif et de l'apprentissage en général, dont les conclusions trouvent, sans qu'elles ne prétendent lui fournir des normes absolues, des applications concrètes en pédagogie. Du point de vue de l'approche constructiviste dont il a été le premier à proposer pour décrire les phénomènes d'apprentissages, sa théorie garde toute sa pertinence encore aujourd'hui. Mais ce sont les recherches de Bachelard qui auront explicitement de répercussions sur les approches pédagogiques et les stratégies d'apprentissage qui prévalent dans l'enseignement actuel des sciences⁶⁷. La stratégie d'enseignement basée sur la résolution de problèmes découle directement des travaux de Bachelard en épistémologie. On ne peut donc pas en percevoir toute la signification, toute la quintessence si l'on ne se réfère pas aux concepts «d'obstacle épistémologique» ou de «problème» et aux rôles moteurs qu'ils jouent dans le développement historique de la science.

2.3.2.1. Obstacles, problème et savoirs scientifiques

Les concepts de problème et d'obstacle épistémologique sont les deux notions clés dans l'épistémologie de Bachelard, qui ont connu une transposition dans les recherches pédagogiques, et de ce fait intéressent au plus haut point notre problématique. La notion d'obstacle épistémologique a été introduite pour la première fois par Bachelard dans son livre publié en 1938 : «La formation à l'esprit scientifique». Quand on cherche les conditions psychologiques des progrès de la science, écrit-il, on arrive bientôt à cette conviction que c'est en termes d'obstacles qu'il faut poser le problème de la connaissance scientifique. Ces obstacles ne sont pas le fait de la faiblesse des sens ni de l'esprit humain, mais bien une nécessité interne à l'acte même de connaître. Car, explique-t-il, c'est dans l'acte même de connaître qu'apparaissent, par une sorte de nécessité fonctionnelle, des lenteurs et des

⁶⁷ Si Piaget a été le premier à affirmer qu'au point de départ de toute question didactique il y a la nécessité d'une prise de position constructiviste concernant le rapport du sujet connaissant à l'objet de connaissance, Bachelard est celui dont les recherches ont permis à la didactique de prendre en ligne de compte les caractéristiques épistémologiques des savoirs à enseigner et la dynamique du développement de la pensée scientifique dans leur tentatives de construire une approche cohérente d'enseignement et d'apprentissage des sciences. Il faudra cependant attendre les recherches de Chevallard sur la transposition didactique pour étudier le rapport que l'enseignant noue avec le savoir dans le cadre de l'institution scolaire et poser la question de la correspondance entre les connaissances individuelles des élèves et les savoirs constitués historiquement (voir importance du système didactique). Toujours dans le cadre de circonscrire tout le système didactique, Vergnaud contribuera pour

troubles⁶⁸. C'est dans les causes de la stagnation et de parfois de régression de la science que Bachelard décèle les causes d'inerties qu'il appelle des «*obstacles épistémologiques*»⁶⁹.

Pour Bachelard, les obstacles épistémologiques constituent le moteur de la progression scientifique. Et ils sont constitutifs de toute connaissance scientifique, de toute formation ou production des connaissances. Car selon lui, la connaissance du réel est une lumière qui projette toujours quelque part des ombres. Et en fait, explique encore Bachelard, on connaît contre une connaissance antérieure, en détruisant des «*connaissances mal faites*»⁷⁰, en surmontant ce qui, dans l'esprit même, fait obstacle à la spiritualisation. Accéder à la science, dans cette perspective, c'est spirituellement rajeunir, c'est accepter une mutation brusque qui doit contredire un passé (idem, 1938, p.13-14).

Bachelard distingue les obstacles qui interdisent l'entrée dans le discours scientifique des obstacles qui viennent scander son développement normal. Il dresse une liste de ces obstacles qui interdisent l'entrée dans un discours scientifique dans son livre «*La formation de l'esprit scientifique. (1938)* ». Il s'agit de l'expérience première qui n'est qu'en fait l'expérience sensible non questionnée, de la connaissance trop générale, de l'anthropomorphisme, du finalisme, de l'artificialisme, l'obstacle verbal, de l'animisme, du substantialisme, le sens commun et le bon sens⁷¹.

sa part à décrire les organisations cognitives des connaissances du sujet du point de vue de contenu des savoirs en lien avec la situation didactique qui la provoque.

⁶⁸ Autrement dit, le concept d'obstacle ne fait pas allusion à l'obstacle épistémologique que peut constituer le recours à une théorie ancienne et fautive lorsque celle-ci ne permet pas d'envisager la possibilité de tenir compte des expériences nouvelles et disponibles qui la contestent, la disqualifient ou prouvent le contraire de ce qu'elle affirme. Au contraire, elle fait référence au système de pensée en lui-même qui peut se figer de l'intérieur après une rupture épistémologique. Autrement dit, ce concept d'obstacle épistémologique fait référence au cas où la connaissance elle-même déjà scientifique dans son essence devient obstacle au progrès futur de la science.

⁶⁹ Le concept «d'obstacle ou de rupture épistémologique», selon Johsua, doit se comprendre d'abord comme l'effet limitatif d'un système de concept sur le développement de la pensée (Johsua, 1993, p.63).

⁷⁰ Sans entrer dans la polémique sur le sens des conceptions premières ou fausses conceptions, nous voulons dire que nous utiliserons pour notre part pour parler de ces connaissances inadéquates, mal faites les notions ci-après : conceptions naïves, premiers savoirs de l'élève, savoirs de l'élèves, représentations inadéquates. Ceci dans le but de les différencier par rapport aux savoirs savants, aux savoirs institués. On les considère ainsi ici dans la mesure où ils peuvent être un obstacle ou un frein à la progression cognitive et à la construction des connaissances scientifiques.

⁷¹ Ce sont ces obstacles de premier ordre qui nous intéressent au premier chef ici. Car ce sont ces obstacles qu'on retrouve très souvent au début des apprentissages scientifiques pour une matière déterminée. Ce sont eux qu'il faut combattre pour aider les élèves à s'investir dans une démarche de construction des connaissances scientifiques et de compréhension des phénomènes physique selon l'esprit scientifique.

Pour Bachelard toute élaboration du savoir exige de rompre avec la pensée commune et les «connaissances premières», de surmonter tous ces obstacles, c'est-à-dire, de remettre profondément en cause les conceptions déjà acquises qui peuvent devenir des obstacles, des barrières au développement de la science ou à la construction des concepts nouveaux.

2.3.2.2. Implications sur l'enseignement des sciences : rôle des erreurs et des conceptions initiales dans la construction des connaissances scientifiques.

Les réflexions de Bachelard l'ont conduit à observer et à analyser les pratiques éducatives en vigueur en enseignement des sciences et à tirer un certain nombre de conclusions qui ont aidé à changer non seulement la visée de l'enseignement des sciences, mais aussi sa pratique concrète. «Dans l'éducation, écrit-il, la notion d'obstacle pédagogique est également méconnue. J'ai souvent été frappé du fait que les professeurs des sciences, plus encore que les autres (...), ne comprennent pas qu'on ne comprenne. Peu nombreux sont ceux qui ont creusé la psychologie de l'erreur, de l'ignorance et de l'irréflexion» (1938, p.18).

Bachelard en évoquant cette psychologie de l'erreur valorise, pédagogiquement parlant, l'erreur en la considérant comme un élément moteur de la connaissance, dans la construction des connaissances scolaires. Il parle de l'erreur utile, positive contrairement à Skinner qui développe une psychologie de l'apprentissage basé sur la réussite et la bonne réponse, qui impute à l'erreur l'effet de l'ignorance, de l'incertitude et du hasard. Pour Bachelard, l'erreur est l'épiphénomène, le révélateur d'une connaissance antérieure, ayant ses intérêts, ses succès, mais qui maintenant se révèle fausse ou simplement inadéquate.

Pour Bachelard, la connaissance scientifique ne part pas de zéro et les élèves sont loin d'être d'arriver comme des ignorants à l'école, ils se construisent des connaissances ; ils possèdent un savoir d'expérience, souvent inadéquates, naïves et non opérants. Ces deux constats lui ont permis de repenser la finalité de l'enseignement des sciences, en la formulant de la sorte : «Il s'agit alors, non pas d'acquérir une culture expérimentale, mais bien de changer de culture expérimentale, de renverser les obstacles déjà amassés par la vie quotidienne» (p.18). Forts de conclusions de Bachelard sur l'enseignement, beaucoup de recherches en didactique des sciences ont été menées pour faire la liste des conceptions premières, naïves qui constituent des obstacles à la construction des concepts scientifiques et à l'initiation à la démarche scientifique. Plusieurs stratégies d'apprentissage ont été essayées dans le but de dépasser ou renverser les conceptions préalables, dépasser les obstacles épistémologiques ou invalider les fausses conceptions. Nous n'avons qu'à penser à la stratégie du conflit cognitif,

du changement conceptuel (voir modèle de Posner et Strike, 1982, 1985) et celle d'un dérangement épistémologique qui elle ne vise pas l'abandon d'une conception spontanée au profit d'une autre dite scientifique, mais bien le développement chez les élèves d'une compétence épistémologique qui lui permet de passer des unes aux autres de manière avertie, comme un producteur des connaissances (Désautels, 1992, p.229).

Le concept d'obstacle épistémologique sera rediscuté plus tard. Pour Guy Brousseau (1983), un obstacle se manifeste par les erreurs, mais ces erreurs ne sont pas dues au hasard et encore moins l'indice d'un comportement inadapté comme chez Skinner. Elles sont chez un même sujet liées entre elles par une source commune, une manière de connaître, une conception caractéristique, cohérente sinon correcte, une connaissance ancienne et qui a réussi dans un autre domaine d'action⁷². Brousseau, contrairement à Bachelard, catégorise trois types d'obstacles selon leur origine. Les obstacles d'origine didactique sont ceux qui sont liés au choix du système éducatif et résultent de la transposition didactique. Les obstacles d'origine ontogénétique ou cognitive désignent ceux qui sont liés aux limitations (neurophysiologiques) propres de l'apprenant et qui surviennent à un moment donné de son développement. Les obstacles d'origine épistémologique sont liés aux caractéristiques intrinsèques de la connaissance à acquérir. Ces derniers, dit Brousseau, sont inévitables et font partie de la connaissance elle-même. On les retrouve souvent dans la genèse historique du concept en question. Dans ce sens, elles correspondent aux obstacles au sens de Bachelard.

Brousseau discerne quatre caractéristiques d'un obstacle ; il faut qu'il soit une connaissance, une conception et non une difficulté ou un manque de connaissance ; il faut que cette connaissance ait un domaine de validité et d'efficacité, Elle doit produire des réponses pertinentes et adaptées dans un contexte fréquemment rencontré, mais se révèle fausse, inefficace et source d'erreur hors contexte ; cette connaissance doit attester une certaine résistance au rejet de la connaissance antérieure et à l'établissement d'une nouvelle connaissance. Il ne suffit pas de posséder une meilleure connaissance pour que la précédente disparaisse. Enfin, cet obstacle doit continuer de se manifester de façon intempestive même après la prise de conscience de son inexactitude dans un nouveau champ d'application.

⁷² Guy Brousseau (1983) «Les obstacles épistémologiques et les problèmes de mathématiques», dans *Recherche en didactique des mathématiques*, vol.4, 2, p. 171

En didactique des mathématiques comme en didactiques des sciences, plusieurs stratégies ou approches ont été conçues pour permettre le franchissement d'obstacles, pour favoriser le changement ou l'évolution conceptuelle chez l'apprenant. Resnick (1989) et Giordan (1989) les regroupent en trois catégories fondamentales selon qu'on voudrait organiser ou provoquer ce franchissement d'obstacle : «*contre*» les conceptions antérieures, «*à partir ou grâce à*» de conceptions initiales ou «*avec*» les conceptions anciennes de l'élève⁷³.

Dans les approches «*contre*» les conceptions initiales, il s'agit de remettre en question les conceptions des élèves et de les inciter à les reconsidérer et à les réviser à la suite d'une prise de conscience d'une contradiction pouvant se manifester sous trois modalités. D'abord sous forme d'une contradiction empirique où l'élève est confronté à des résultats expérimentaux qui vont à l'encontre de ses attentes et de ses conceptions antérieures. Ensuite, sous la forme d'une contradiction logique où l'élève voit son système de connaissance insuffisant et inefficace pour résoudre certains problèmes. Enfin, sous forme de contradiction sociale qui consiste en une confrontation avec des conceptions rivales soutenues par des pairs. Dans les deux premiers cas de contradictions, il s'agit de situations conflictuelles pouvant aller jusqu'à déstabiliser les conceptions antérieures des élèves et de créer ainsi un conflit cognitif. Dans la troisième forme de contradiction, des interactions sociales en classe peuvent engendrer un conflit socio-cognitif. Malheureusement, de nombreux résultats expérimentaux (Johsua, 1989 ; Viennot, 1989 ; Désautels, 1989) tendent à relativiser l'impact de ces contradictions sur l'ébranlement des convictions premières des élèves. Ceci est dû en grande partie grâce à la capacité d'adaptation intellectuelle des élèves qui fait coexister les anciennes conceptions à la nouvelle, et à la négligence du rôle de l'enseignant qui est criante dans l'approche qui se fonde sur le conflit socio-cognitif.

⁷³ Papert mettra en doute le bien-fondé de l'utilisation des représentations des enfants en sciences comme immatures, comme des théories fausses devant être abolies pour laisser place, au moyen de l'enseignement, aux conceptions typiquement scientifiques. S'appuyant sur le fait que l'enfant utilise ce qu'il connaît déjà pour se lancer dans la connaissance de ce qui il ne connaît pas, Papert ira jusqu'à les considérer comme des théories de transition nécessaires à l'enfant pour accéder à un mode de pensée scientifique, qui n'est toujours pas conforme à sa façon naturelle d'apprendre et de comprendre les phénomènes de la nature. On comprend que chez Papert, il n'y aura pas de stratégie de franchissement d'obstacle ou de modification des conceptions préalables ou naïves. Pour lui, l'enseignement doit prendre appui sur le modèle de l'apprentissage naturel. Pour lui, le mécanisme d'apprentissage chez les enfants doit être normatif pour l'enseignement. Mais n'est-il pas entrain d'oublier que les mathématiques sur lesquelles il tire ses exemples ne sont pas le modèle de toutes les sciences. On peut donc dire que sa théorie de l'apprentissage exclue le savoir et ses rapports changeant selon les domaines avec les élèves. Ceux-ci n'ont pas les mêmes rapports au savoirs en mathématiques qu'en géologie, biologie ou sciences physiques. Chaque discipline ayant des spécificités propres,

Dans le second type d'approche qui base sa stratégie de franchissement d'obstacles «à partir de» ou «grâce» aux conceptions initiales, il s'agit de modifier les conceptions initiales des élèves, et ce, par un processus d'acquisition graduelle basé sur leurs conceptions initiales en évitant la restructuration radicale et la contestation. Dans l'enseignement, dans une perspective de modification de conceptions, il conviendrait d'identifier les concepts-clés et d'aider les élèves à les appliquer à des phénomènes auxquels ils n'auraient pas pensé pouvoir le faire auparavant. C'est de cette manière que les limites de ces conceptions premières vont être prolongées à travers de nouvelles expériences pertinentes. Cette approche ne permet que des modifications successives mineures (Voir à ce propos Resnick, 1989). Elle semble aussi donner une légitimité aux conceptions initiales, spontanées ou naïves en leur accordant un potentiel de conceptions correctes. Ce qui a miné sa crédibilité didactique.

Dans l'approche avec les conceptions anciennes, le franchissement d'obstacle vise à remplacer les conceptions erronées des apprenants. A l'opposé de l'approche précédente, celle-ci consiste à aider les élèves à explorer une conception hypothétique nouvelle pour ensuite la comparer avec la conception ancienne. Ainsi d'après Resnick, quand il s'agit de proposer aux élèves des points de départ différents de leurs propres conceptions, il est souhaitable de leur faire prendre conscience que la nouvelle conception suggérée est une alternative à leur propre conception et de les inviter à identifier les principales différences entre les deux. Ainsi peut-on croire que les systèmes conceptuels anciens et nouveaux ayant été éventuellement considérés, le nouveau système pourra alors être suffisamment fort pour rivaliser avec la conception spontanée d'origine (Resnick, 1989, p.274).

Du point de vue des principes épistémologiques et didactiques, cette dernière forme de franchissement d'obstacle semble être la plus adéquate dans l'esprit constructiviste de l'enseignement des sciences. Le temps des croisades contre les conceptions anciennes est révolu. L'enseignement actuel devrait gagner en efficacité à fonctionner selon cette approche qui est propre à l'apprentissage basé sur la métacognition. Il semble que l'enseignement actuel ne fonctionne pas assez selon cette approche, car dans des cas où cette approche est fonctionnelle, la phase de différenciation entre les différents systèmes conceptuels ne soit pas toujours explicite, présente. D'aucuns se demandent cependant si cette approche pourrait s'avérer efficace et bénéfique pour tous les élèves du secondaire car elle nécessite déjà une capacité de réflexion et de critique peu ordinaire. Désautels (1992) a expérimenté une approche d'enseignement basée sur la stratégie du dérangement épistémologique, qui est

proche de cette troisième forme de franchissement d'obstacles auprès des étudiants du collégial. Est-ce que tous les objets d'enseignement doivent être enseignés selon cette perspective unique ? Ou faut-il le faire dans une perspective complémentaire ? Comment permettre à l'élève de franchir les obstacles, comment provoquer un dérangement conceptuel, comment l'aider à progresser dans la structuration de ses connaissances, dans les contraintes réelles de l'organisation d'une classe ou d'une leçon ?

Notre objectif n'est pas de décrire ou d'identifier les difficultés ou les obstacles que rencontrent les élèves au cours de leurs apprentissages scientifiques, ni non plus seulement d'attester la pertinence épistémologique et le caractère moteur des obstacles dans la production ou la transformation des connaissances scientifiques et la formation scolaire des connaissances par les élèves. Ce passage en revue de différentes formes de franchissement n'a pour but que de nous sensibiliser sur l'importance des conceptions premières dans l'enseignement des sciences et la nécessité de mettre les élèves au centre des apprentissages, de partir réellement des élèves. Notre but n'est pas d'en choisir une ou de nous en limiter à une seule car le danger serait de ne pas tenir compte des facteurs contextuels comme le niveau cognitif, l'âge et le type de connaissance.

Comme on le sait, les chercheurs ne s'accordent pas sur la manière de définir et d'organiser le franchissement d'obstacles. Pour notre part, au lieu de verser dans la discussion, nous allons choisir dans chaque approche des éléments qui pourraient nous aider à construire des séquences d'enseignement visant les premières conceptions des notions électriques, à identifier les conceptions naïves, à provoquer leur franchissement en les intégrant dans des activités d'apprentissage fonctionnelles, de résolution de problèmes et de structuration. Plus concrètement, nous voulons réaliser, avec l'aide de Physicor, des séquences d'enseignement qui visent les premières constructions des concepts de tension électrique, de courant électrique et de puissance électrique. Avec les situations que nous allons concevoir, nous allons essayer de faire évoluer les conceptions des élèves ou observer si Physicor leur a permis de construire une représentation des concepts du courant et de tension qui peuvent leur permettre de résoudre de problèmes simples où ils interviennent.

2.3.2.3 La fonction épistémologique du problème en sciences / fonction didactique du problème en enseignement des sciences. Importance didactique de la résolution de problèmes.

Les épistémologues modernes dits rationalistes donnent une place fondamentale aux problèmes dans la construction du savoir scientifique. C'est le cas de Bachelard, Popper, Kuhn et Laudén qui ont fait du problème un élément important de leur conception de la science, de l'activité scientifique ou du développement de la science. Quels liens existent-ils entre les savoirs scientifiques et le problème ? Quelles sont les conséquences didactiques d'une telle conception sur la finalité de l'enseignement des sciences ? Quels savoirs devrions-nous enseigner à l'école ? Dans l'enseignement pouvons-nous initier les élèves à la construction des problèmes scientifiques ?

Bachelard note que «pour un esprit scientifique, toute la connaissance est une réponse à une question» (1986, p.14). Il note encore que les sciences sont une activité qui consiste à poser et à résoudre des problèmes. Dans la même perspective, Karl Popper indique pour sa part que la science commence par des problèmes (1991, p.230). La traduction didactique de cette fonction épistémologique du problème comme origine de la connaissance est explicite dans ce qu'écrit le pédagogue Philippe Meirieu : «Nous n'intégrons un élément nouveau que si celui-ci est, d'une manière ou d'une autre, une solution à notre problème» (1989, p.167). Les connaissances à leur tour sont le cadre d'apparition des problèmes, car comme le souligne K. Popper, le problème ne naît pas uniquement du monde extérieur, mais de l'interaction entre ce monde et un arrière-plan d'éléments théoriques (1991, p.261). L'interprétation didactique de cette relation connaissances-problèmes réside dans le fait qu'un problème scientifique n'est pas quelque chose qui existe par lui-même et qui peut être apporté de l'extérieur (par le maître) ; il est au contraire sous la dépendance à la fois des données empiriques et des conceptions ou des savoirs des élèves (Orange, p.11).

Selon L. Laudén, «La science est essentiellement une activité qui vise à résoudre des problèmes» (1977, p.32 et 33). En ce sens, la formulation et la résolution de problèmes ne sont pas seulement les moyens d'une science qui viserait à produire des connaissances toujours plus vraies, c'est l'objet même des connaissances scientifiques, conclut Orange (1997, p.11-12). Le problème c'est la science ; la connaissance, c'est sa maîtrise. Il y a donc, explique-t-il, une relation circulaire entre les savoirs et problèmes ; primo, des connaissances naît un problème dont la résolution modifie la connaissance, secundo, un problème entraîne

des connaissances qui modifient à leur tour le champ des problèmes. Ainsi comme l'affirme Canguilhem, définir un concept, c'est formuler un problème. Transposé à la classe, le problème ne peut pas alors être simplement un auxiliaire didactique de motivation des élèves : c'est un objet d'enseignement et d'apprentissage (Orange, 1997, p.12). Mais qu'est-ce qu'un problème ? A quels savoirs donne lieu sa construction ?

Pour les épistémologues et les scientifiques, un problème scientifique ne peut pas être considéré comme une simple difficulté qui apparaît sur l'arrière-plan des connaissances ou des théories existantes. Au contraire, le problème est une construction, et c'est là que se situe son véritable enjeu, soutient Orange. «Avant tout, écrit Bachelard, il faut savoir poser des problèmes. Et, quoi qu'on dise, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes» (1938, p.14). Epistémologiquement et didactiquement, le problème renvoie donc à l'ensemble d'un processus : de ce qui fait problème au problème construit à partir de références, théoriques et empiriques, que cela fait évoluer. Maîtriser un problème scientifique ne veut pas simplement dire savoir le résoudre, mais également et surtout savoir le poser. (Orange, p.14)

Poser un problème devient ici le travail de l'enseignant, et c'est le défi qui lui est posé et qui sera le nôtre dans cette recherche. Il appartiendra aux élèves de le résoudre, de mobiliser leurs savoirs, leurs compétences cognitives ou les habiletés acquises pour construire de nouvelles connaissances. On peut donc comprendre l'importance accordée au cours des dernières années à l'approche de résolution de problèmes dans l'enseignement. On peut aussi comprendre comment ce fait a permis de donner corps, dans le système d'enseignement, à l'idée que c'est en effectuant ce travail de résolution de problèmes que se construisent, chez les élèves, les connaissances scientifiques et leurs sens. N'en déplaise aux constructivistes strictes et dogmatiques, une situation d'enseignement et d'apprentissage exige beaucoup plus d'activités que celles de résolution de problèmes pour qu'elle soit fonctionnelle, une situation didactique requiert plus d'activités pour faire fonctionner une connaissance précise, la finalité de l'école n'est pas seulement de provoquer la construction des connaissances, mais aussi de faire acquérir des compétences scientifiques ou des habiletés manuelles ou cognitives aux élèves⁷⁴.

⁷⁴ Selon Guy Brousseau, il semble que les problèmes n'auraient guère de sens s'ils étaient, pour leur usage en classe, s'ils étaient isolés les uns des autres. Ils ne seraient que des épisodes erratiques du travail scolaire, probablement non signifiants, s'ils n'étaient reliés entre eux par des nécessités plus vastes comme celle qui caractérisent le projet d'enseignement. Ils doivent alors, dans cette logique, être compris comme des éléments d'une organisation didactique plus large, que Brousseau appelle «situation», qui comprend des questions, des méthodes, des heuristiques et des informations. Il appartient à l'enseignant, pour peu qu'il ait l'intention

2.3.2.4. Savoirs opérants et caractéristiques d'un enseignement basé sur la stratégie de la résolution de problèmes.

On parle de savoir opérant, écrit Astolfi, lorsque les connaissances mises en jeu peuvent être explicitées et justifiées par les élèves (1992, p.67-77). Idéalement, écrit aussi Orange, un élève doit acquérir un savoir qu'il peut utiliser pour maîtriser des problèmes scientifiques. S'il est possible de définir clairement les catégories de problèmes scientifiques que peut maîtriser un élève, nous dirons alors que ses connaissances sont opérantes. Un savoir opérant est donc un savoir qui permet de poser et résoudre des problèmes scientifiques. Mais tous les problèmes scientifiques ne sont pas du même ordre. Tout problème ne renvoie pas à un obstacle, tout problème n'est pas la manifestation d'une rupture. De même tout ce qui n'est pas obstacle ou rupture ne crée aucune difficulté. Kuhn distingue des problèmes normaux relatifs à la science normale des problèmes extraordinaires ou de rupture qui occasionnent un changement net de la connaissance, dans son organisation interne, qui sont responsables de révolutions scientifiques. Ceux-ci sont relatifs à la période de science extraordinaire⁷⁵.

La résolution de problèmes normaux apporte de nouvelles connaissances d'un autre ordre que celui des concepts de base du paradigme. Car tout problème n'est pas une remise en cause de la connaissance qui la crée. Didactiquement, cela nous renseigne sur le fait qu'il n'est pas souhaitable de renvoyer ou de confondre tout apprentissage au franchissement d'un obstacle et tout problème à une rupture, en distinguant les problèmes et les apprentissages de rupture des problèmes et apprentissages normaux (cf. Orange, p.16).

Selon Orange, les savoirs opérants ne correspondent pas à la maîtrise de problèmes scientifiques quels qu'ils soient, mais uniquement à celle de problèmes normaux, dans un paradigme donné (ibidem). Les problèmes normaux dans le système de Kuhn permettent à chacun de prouver son habileté, correspondent à des problèmes dont on suppose qu'ils ont une solution et obéissent à des règles, explicites ou non. Selon Kuhn, il existe trois classes de problèmes normaux, correspondant à trois fonctions différentes :

d'enseigner, de choisir selon les circonstances et parmi ces diverses avenues ce qu'il faut cacher ou dévoiler pour faire fonctionner la connaissance.

⁷⁵ Pour ce qui concerne la notion de problème, de savoirs opérants, de modélisation, nous nous inspirons ou nous résumons les chapitres 1-4 du livre de Christian Orange (1997) *Problèmes et modélisation en biologie, quels apprentissages pour le lycée ?* Paris : PUF l'éducateur

- La détermination des faits significatifs ; (l'apprentissage convient pour l'enseignement professionnel)
- L'élaboration théorique du paradigme ; (l'enseignement doit prendre en charge l'acquisition de certains outils et de certaines règles du paradigme ; l'objectif n'est pas de rendre les élèves capables de maîtriser par eux-mêmes les problèmes d'élaboration théorique des paradigmes.
- La mise en concordance des faits et de la théorie ; (il ne s'agit pas de reproduire une technique, ni de créer de nouveaux concepts ; il faut expliquer ou mettre à l'épreuve. Cette mise en concordance correspond à un double travail, l'un étant expérimental, l'autre théorique.

C'est dans cette dernière catégorie de problèmes normaux que doivent se recruter ceux dont la maîtrise peut être un objectif d'enseignement, soutient Orange (1997, p.18). Si l'on tient compte des travaux en psychologie cognitive sur la résolution des problèmes, les savoirs opérants correspondent à une planification descendante, où le sujet est appelé à construire préalablement une représentation du problème de laquelle il va déduire un plan de solution⁷⁶. Les outils qu'il s'agit de dégager sont des aides à la représentation du problème, des aides à la gestion de l'analogie. Qu'est-ce que cela signifie pour notre problématique ?

L'enseignement des sciences doit donc viser la résolution des problèmes normaux, la maîtrise des problèmes normaux. Comment cela ? Comment un enseignement peut-il incorporer ces savoirs opérants dans ses activités d'apprentissage ? Que devrait-il viser ?

Selon Orange, dans un enseignement qui vise un savoir opérant, c'est-à-dire, un savoir qui correspond à la mise en concordance des faits et de la théorie dans le cadre d'un paradigme, devrait

- Rendre les élèves capables de maîtriser certains types d'énigmes dans un paradigme donné qui sont des problèmes de mise en concordance des faits et de la théorie. Une des caractéristiques principales des problèmes scientifiques, même normaux, tient à ce qu'ils soient construits. Ainsi la maîtrise de problèmes ne correspond pas à la résolution de simples exercices d'application.

⁷⁶ Cette planification descendante des processus de résolution de problèmes, selon Weil-Barais, se distingue de la planification ascendante où les sujets partent du but à atteindre tel qu'ils se le représentent (1993, p.540)

- Permettre aux élèves d'organiser et de mettre en relation les éléments de l'espace-problème fournis par le paradigme sous forme de concepts, de règles, de formalismes déjà disponibles.
- Provoquer de changement de conceptions, un apprentissage de rupture ; ceci afin d'accéder au paradigme. La rupture n'étant pas la condition suffisante à la maîtrise de problèmes normaux, et pour que le savoir devienne opérant, il faut réaliser les promesses du paradigme et donc faire acquérir aux élèves des outils théoriques et de règles de fonctionnement de ce paradigme (1997, p.22).
- tenir compte de la distinction entre savoirs opérants expérimentaux (dans lesquels il s'agit de rechercher des compétences de construction et de conduite de protocoles expérimentaux, dans un cadre théorique donné, pour la mise à l'épreuve de résultats théoriques ou la mise en évidence de phénomènes prévus) et savoirs opérants théoriques (dans lesquels on vise des compétences pour l'élaboration de constructions théoriques, dans un paradigme, pour rendre compte de phénomènes, les expliquer, les prévoir)

2.3.2.5. Modèles et modélisation en didactique des sciences et dans l'enseignement usuel des sciences

Selon Orange, la construction de modèle correspond à la maîtrise de problèmes normaux de mise en concordance. Les modèles sont souvent désignés comme des intermédiaires entre un champ empirique (savoirs opérants expérimentaux) et le champ théorique (savoirs opérants théoriques). La modélisation regroupe la connaissance (le modèle, avec les concepts et les outils qu'il utilise), et l'action, l'utilisation (la modélisation) de cette connaissance pour résoudre des problèmes. La modélisation ne dissocie pas les démarches scientifiques de la formation des concepts. C'est pour toutes ces raisons-là que la modélisation est devenue un enjeu de plus en plus important dans l'enseignement des sciences.

Pour Orange, c'est pour définir les savoirs opérants théoriques qu'il en vient à considérer la construction et l'utilisation de modèles dans la pratique scientifique et dans l'enseignement, comme objet et outil d'apprentissage. Son souci est de déterminer comment les activités de modélisation peuvent conduire à définir des savoirs opérants théoriques, c'est-à-dire des compétences de maîtrise, dans un paradigme donné, de problèmes de mise en concordance des faits et des théories, et les contenus correspondants (outils théoriques). L'acquisition d'un

tel savoir, selon Orange, ne peut se faire qu'à travers la confrontation à des problèmes, donc lors de situations de modélisation mettant en jeu, les conceptions des élèves et un débat scientifique. C'est en cela que consiste l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation.

Selon Orange, la modélisation a fait l'objet de plusieurs recherches en didactique des sciences. Mais selon lui, la modélisation est l'enfant pauvre de l'enseignement des sciences. C'est l'avis de Anne-Marie Drouin aussi qui constate que malgré le rôle important des modèles et de la modélisation dans les sciences expérimentales, l'école prend rarement en compte cette dimension de la démarche scientifique⁷⁷. Pourtant ils espèrent tous que de plus en plus dans l'enseignement des sciences, on enseignera la modélisation comme outil pour la maîtrise de problèmes scientifiques, compte tenu de l'intérêt des modèles dans la définition et la construction des savoirs opérants. Les recherches sont encore insuffisantes pour infléchir la tendance actuelle basée sur la construction des concepts scientifiques et l'acquisition des compétences par la résolution de problèmes. Il y a cependant parmi elles des pistes qui pourraient nous aider à concevoir de situations d'enseignement et à les analyser concrètement, qui pourraient aider l'enseignement à incorporer la modélisation dans ses activités. Il s'agit de considérer les modèles comme des aides didactiques pour l'apprentissage de concepts. Il s'agit plus précisément d'analyser comment, par des images spatiales, des représentations graphiques ou des simulations, il serait possible de soutenir la pensée qui est en train de se construire chez les élèves. On pourrait aussi prendre les conceptions des élèves comme une base explicite d'un processus de modélisation et d'instaurer par-là un débat scientifique dans la classe permettant aux élèves de donner un sens au savoir et au maître l'occasion de provoquer un « changement conceptuel » (voir les travaux de Samuel Johsua et Jean-Jacques Dupin).

2.3.2 6. Résolution de problèmes et enseignement des sciences

Comment l'enseignement incorpore-t-il la résolution de problèmes dans ses activités d'apprentissage ? Si comme l'écrit Bachelard, « tout enseignement est une réponse à une question », alors tout apprentissage d'une connaissance nouvelle passe par la réussite à un problème posé.

⁷⁷ Anne-Marie Drouin (1988) « Le modèle en question », dans *Aster*, n°7, Paris : INRP, 1-20. Cet article éclaire sur les différentes fonctions et résonances du concept de modèle qu'on trouve dans l'activité scientifique. L'article décrit aussi l'efficacité descriptive, explicative et prédictive du modèle.

Selon Andrée-Marie Dumas-Carré et Michel Caillot, l'enseignement peut incorporer la stratégie de résolution de problèmes dans ses activités de deux manières : comme point de départ de l'apprentissage et comme point d'arrivée (concepts et principes). Tandis que comme point d'arrivée d'une séquence d'apprentissage, après un exposé des concepts et des principes, les activités de résolution de problèmes correspondent alors à une phase de consolidation ou d'évaluation des acquisitions. Dans ce cas, résoudre un problème est considéré comme une application du cours. Le problème est extérieur à l'élève, il est imposé par le maître (problème-exercice ou exercice d'application)⁷⁸. Une autre façon d'utiliser la résolution de problèmes est de la considérer comme un enseignement de la méthode. Dans ce cas, en apprenant des heuristiques spécifiques au domaine des méthodes de résolution, les concepts et les principes acquièrent du sens dans des situations d'apprentissage particulières (Polya, 1965). L'utilisation des heuristiques dans la résolution des problèmes a été fortement critiquée d'autant qu'elles ne prennent pas suffisamment en compte le contenu, et dans le cas de la physique, c'est surtout du fait que l'on a accordé peu de place à la construction de la représentation du problème par l'élève, à la formulation du problème, à l'analyse de représentations, à la phase de structuration et réorganisation des acquis, qui explique des tentatives faites pour l'enseignement de méthodes de résolution de problèmes.

Tout enseignement dont la stratégie repose sur la démarche de résolution des problèmes doit s'ancrer à la fois sur l'épistémologie (objet de savoir à enseigner), sur les recherches en psychologie cognitive et sur les observations empiriques des erreurs les plus fréquentes des élèves, concluent nos auteurs. Selon les didacticiens modernes comme Jean-Pierre Astolfi, Darot, Toussain et Ginsburger-Vogel (1997), cette stratégie doit être portée par trois types d'activités d'apprentissage qui lui donneront son plein dynamisme. Ce sont les activités fonctionnelles, de résolution de problèmes et de structuration.

⁷⁸ Cf. Andrée-Marie Dumas-Carré et Michel Caillot (1988) «Résolution de problèmes et apprentissage de la physique» dans *GRECO, CNRS eds, Didactique et acquisition des connaissances scientifiques*, Actes du Colloque de Sèvres.

2.3.3. Guy Brousseau : la théorie des situations didactiques (TSD) et importance du contrat didactique.

Si Piaget est parvenu à expliquer la genèse et le développement cognitif à partir de sa théorie de l'apprentissage comme adaptation et à attirer l'attention des pédagogues quant à l'importance ou la nécessité de réguler les objectifs d'enseignement par rapport aux stades du développement cognitif et psychologique des élèves, Brousseau a quant à lui permis de restituer un rôle à l'enseignant dans le processus d'apprentissage, sans tomber dans le piège de l'enseignement formel ou ostentatoire du début du siècle, contre lequel se sont élevés Presley et Skinner. De même, si Bachelard est à l'origine du fait que les didacticiens ont commencé à prendre en considération la science dans sa dimension épistémologique, s'il est à l'origine de l'intérêt que portent les didacticiens au rapport entre le cheminement d'apprentissage des élèves avec la construction et le développement des connaissances scientifiques, Brousseau a pour sa part élargi la problématique éducative en essayant de décrire les phénomènes de l'enseignement, de dépasser l'approche d'apprentissage qui déduit l'acquisition des connaissances scolaires d'une stricte interaction sujet/savoir faisant par là même abstraction de l'intention d'enseigner. De ce qui précède, on peut déjà soupçonner les contributions essentielles de Brousseau dans le développement de la didactique. Dégageons maintenant le fil conducteur de ses travaux en didactique⁷⁹.

Il conviendrait d'abord de souligner que les travaux de Guy Brousseau en didactique des Mathématiques sont de ceux qui, parmi les tout premiers, ont permis à la didactique moderne de porter un intérêt particulier non seulement aux opérations essentielles de la diffusion des connaissances, mais surtout à l'enseignement scolaire dans sa spécificité, c'est-à-dire comme lieu désigné de la genèse artificielle des connaissances, comme système de relations constituées entre maître, élèves et savoir. Ces relations étant orientées et finalisées par la volonté d'enseigner un savoir ou de provoquer chez les élèves des adaptations, des apprentissages. Ce système de relations, Brousseau l'étudie en termes de situation didactique et contrat didactique. Par-là, il arrive à dépasser le clivage classique entre les

⁷⁹ C'est avec Guy Brousseau que la didactique en tant que description et analyse des activités liées à communication et la transformation des connaissances prend son envol. Avant lui, les phénomènes d'enseignement dérivant des activités d'apprentissage ou de communication des connaissances sont restés inexpliqués par les disciplines auxquelles on faisait d'ordinaire appel pour résoudre les problèmes posés par l'enseignement. En fait à partir de lui, au lieu d'envisager successivement et séparément les activités de l'enseignant, l'élève et le savoir, on commence à les prendre comme formant un système, système qui deviendra l'objet d'étude de la didactique. L'analyse et la description du fonctionnement de ce système didactique sa finalité première.

situations d'enseignement et les situations d'apprentissage, ainsi que l'abstraite et fallacieuse opposition entre les connaissances et les élèves⁸⁰.

Ainsi selon Brousseau, «l'enseignement consiste à provoquer chez l'élève les apprentissages projetés en le plaçant dans des situations appropriées auxquelles il va répondre «spontanément» par des adaptations» (Guy Brousseau, 1988, p.323). Ces adaptations ne se réduisent pas à des réponses conditionnées par l'échange entre le maître et l'élève, puisqu'elles dépendent dans une large mesure du fonctionnement cognitif du sujet «élèves». Les adaptations, autrement dit, sont la conséquence de l'interaction entre élève et maître, mais elles ne sont pas déduites d'elle, sinon la signification des concepts n'aurait aucune nécessité, aucune importance puisqu'il suffirait de suivre les règles de ce jeu social pour l'élaborer, commente Jean Portugais (1994, p.36). Ainsi on peut dire que le processus d'adaptation chez Brousseau a une nature opératoire chez les sujets, il rend compte ou dérive du fonctionnement cognitif en situation didactique. Ce fonctionnement doit, selon Jean Portugais, être analysable en termes de mécanismes fonctionnels comme ceux d'équilibration et de conceptualisation. (Ibidem)

Comme il le dit lui-même Guy Brousseau, l'ensemble de ses recherches est motivé par le désir d'analyser l'importance du rôle joué dans le processus d'enseignement par les phases d'apprentissage où l'élève travaille de façon presque isolée sur un problème ou dans une situation à propos desquels il assume un maximum de responsabilité (phénomène de dévolution). Pour ce faire, il formule la théorie des situations didactiques.

Guy Brousseau modélise l'acte qui consiste, pour un professeur, à se défaire de tout ou d'une partie de sa responsabilité à l'élève et à la faire accepter par celui-ci. Dans la théorie des situations didactiques (TSD), Brousseau décrit les différents protagonistes de cet enjeu sans lesquels l'enseignement n'aurait pas lieu ; de cet enjeu dont l'apprentissage est la finalité : le maître, l'élève et le milieu⁸¹. Par rapport à Piaget ou à Papert, on peut dire que Guy

⁸⁰ Voir à ce propos le livre de André Giordan (1991) *l'élève et/ou les connaissances scientifiques. Approches didactiques de la construction des concepts*. Berne : Peter lang

⁸¹ Brousseau définit le milieu comme ce avec quoi l'élève agit, excepté l'enseignant. C'est à la fois ce qui agit sur l'élève et ce sur quoi il réagit. Le milieu est, écrit Brousseau, le système antagoniste de l'élève. En ce sens, le milieu est toute situation construite de telle sorte qu'à son contact avec l'élève, les rétroactions de ce dernier permettent une progression significative du jeu, de telle sorte que ses rétroactions par rapport au milieu soient perçues comme des stratégies gagnantes par rapport aux énigmes ou contraintes du jeu. Pour Brousseau, le milieu doit être dénué de toute intention didactique, de toute intention d'enseigner sinon on s'écarte du principe de l'apprentissage qui est construction ou activité du sujet et on tombe dans les pièges de l'enseignement classique traditionnel qui n'est rien d'autre qu'une transmission ou simple communication des connaissances. En effectuant la dévolution du bon problème, l'enseignant met en place les conditions suffisantes pour que l'élève construise

Brousseau modélise les situations d'apprentissage où effectivement l'intention d'enseigner un savoir est manifeste, est ce qui est au cœur de tout système d'enseignement. Au lieu d'étudier chaque pôle ou élément du système didactique individuellement, La TSD étudie quatre types de situation didactique nécessaires dans la genèse scolaire d'une connaissance : situation d'action, situation de formulation, situation de validation et situation d'institutionnalisation, lesquelles correspondent aux différents statuts que peuvent prendre les connaissances en jeu, qu'on veut faire fonctionner. Brousseau considère le contrat didactique comme la règle de jeu et la stratégie de la situation didactique. C'est le moyen que le maître a de la mettre en scène et d'amener l'élève à éprouver le besoin de connaître, explique Brousseau. C'est le moyen pour faire respecter la dévolution en cours d'enseignement.

Pour Brousseau, modéliser une situation d'enseignement, c'est laisser apparaître les jeux existant entre ses différents acteurs ; leurs rôles respectifs, les stratégies utilisées par l'élève pour résoudre une situation-problème. Selon Brousseau, les deux principaux jeux du maître requis, pour que l'élève soit engagé dans une démarche de construction de ses connaissances, sont *la dévolution* et *l'institutionnalisation*. La dévolution est l'acte qui consiste, pour le maître, à se défaire de tout ou une partie de sa responsabilité et à la faire accepter à l'élève dans le but que celui-ci s'investisse dans la construction de son savoir. Le maître doit chercher à faire dévolution à l'élève d'une situation et d'un problème qui vont demander chez ce dernier un important travail adaptatif. Le rôle du maître est dès lors de choisir les situations qui vont provoquer l'apparition des adaptations souhaitées chez les élèves. Pour cela, les conditions didactiques aménagées à cette fin sont déterminantes puisque ce sont elles qui vont permettre ou non à l'élève de reprendre à sa charge le problème posé par la situation, de le faire sien et de rechercher activement les moyens pour y répondre. Il peut choisir par exemple de communiquer ou s'abstenir de donner des informations, ou selon les cas, des questions, des méthodes d'apprentissages ou des heuristiques. Mais lorsque les conditions didactiques sont réunies, et cela en règle générale, le maître devra, pendant la période de travail cognitif de l'élève, se refuser à intervenir comme « proposeur » des connaissances qu'il veut voir apparaître (Brousseau, 1986, p.49). Ceci prouve que l'enseignant doit être impliqué dans le jeu avec le système des interactions de l'élève avec les problèmes qu'il lui pose. L'enseignant doit de ce fait aider l'élève à se

son savoir, pour que l'appropriation des connaissances soit possible. Le rôle de l'élève est de jouer son jeu et de chercher à gagner ; son rôle est de trouver de stratégies gagnantes lui permettant de contrôler toute la situation didactique avec tous les feed-back cachés, les conflits possibles. Et qu'en est-il des connaissances ?

dépouiller de tous les artifices didactiques pour lui laisser la connaissance personnelle et objective (Fondements et méthodes, p.65).

La dévolution est « l'acte par lequel l'enseignant fait accepter à l'élève la responsabilité d'une situation a-didactique ou d'un problème et accepte lui-même les conséquences de ce transfert » (Brousseau, 1988, p. 325) Ce qui signifie que l'enseignant doit concevoir la situation d'enseignement de telle sorte que l'élève qui y sera confronté non seulement ne découvre vite son intention d'enseigner, mais encore puisse être partie prenante dans la résolution de la situation-problème. Par la dévolution, l'enseignant met sciemment l'élève dans une situation a-didactique⁸², de manière contradictoire, son intention est de communiquer un savoir sans avoir à le dévoiler. Autrement dit, le rôle de l'enseignant n'est pas de transmettre, de communiquer de manière magistrale les connaissances, mais plutôt c'est de proposer des situations dans lesquelles les connaissances devront apparaître comme la solution optimale et la plus économique au problème posé. Ainsi pour Brousseau, si l'apprentissage n'est pas le résultat d'un conditionnement, mais bien le résultat de l'activité d'adaptation de l'élève à une situation, l'enseignement sans dévolution revient à exclure l'élève de la charge de l'apprentissage, se réduit tout simplement à la communication ou transmission d'une connaissance. Cet enseignement devient incapable d'engager l'élève sur le chemin de la construction des connaissances. Ainsi, si l'enseignement est la dévolution à l'élève d'une situation a-didactique, l'apprentissage, estime Brousseau, est une adaptation à cette situation

La dévolution et l'institutionnalisation sont, pour Brousseau, deux genres bien distincts de négociation du contrat didactique. L'institutionnalisation est le processus par lequel l'enseignant garantit la validité du savoir de l'élève, reprend le contrôle de la situation et redonne aux connaissances un statut de savoir. Dans l'institutionnalisation, écrit Brousseau, le maître définit les rapports que peuvent avoir les comportements personnels ou les productions libres de l'élève avec le savoir culturel, le savoir institutionnel, avec le projet didactique : il gère les rapports entre les réponses personnelles de l'élève et le savoir attendu. (Guy Brousseau, fondements et méthodes, cf., J. Brun, p.114). Il existe un autre rôle dévolu à l'enseignant, celui d'organiser les situations d'apprentissage. Ce rôle consiste, par-dessus tout, à organiser les différentes contraintes et à maintenir les conditions d'interactions optimales du milieu ou de la situation d'enseignement avec l'élève.

⁸² Pour Brousseau, une situation a-didactique est une situation dans laquelle l'intention d'enseigner est cachée. Elle est tout le contraire d'une situation non didactique.

Le contrat didactique est la règle de jeu et la stratégie de la situation didactique : il est le moyen qu'a le maître de mettre en scène la situation didactique. Mais ce contrat se modifie au fur et à mesure que la situation change. Et cette modification du contrat doit appeler la mise en scène de nouvelles situations. Le contrat didactique n'est pas comme le contrat pédagogique, car comme le soutient Brousseau, il dépend étroitement des connaissances en jeu. Ce contrat porte sur les règles de comportement du professeur ou des élèves. Et il opère comme source d'objectivité de la connaissance en tant qu'il fixe les enjeux mutuels de la situation

La théorie des situations didactiques, en tant que théorie qui essaie de modéliser la genèse artificielle des connaissances, contrôle aussi les rapports existant entre connaissances et situations, entre sens et situations. Elle permet d'éclairer le lien existant entre situation didactique et savoir, comment une situation didactique détermine ou provoque tel ou tel autre savoir. Pour Guy Brousseau, chaque connaissance construite ou acquise est caractéristique d'une situation a-didactique qui en préserve, qui détermine le sens et qu'il appelle «situation fondamentale» (Fondements et méthodes, cf. Jean Brun, 1996,p.64). Mettre l'élève dans une autre situation, ce sera une toute autre connaissance qu'il construira. Selon Jean Brun (1994,p.36), la théorie de la situation didactique confirme le rôle des connaissances spontanées (connaissances de l'élève) dans leur rapport aux savoirs enseignés. En cela, elle permet d'étudier l'enseignement des connaissances ordinaires laissées à la responsabilité de l'élève seul. Car l'élève doit mettre en œuvre, parmi les connaissances nécessaires à l'apprentissage d'un savoir scientifique, des connaissances qui ne sont pas enseignées bien que l'on attende de lui qu'il les utilise

Les travaux de Guy Brousseau ont l'avantage d'expliquer les conditions et le mécanisme de l'adaptation de l'élève à une situation d'apprentissage. Dans la perspective de la théorie constructiviste, il nous apprend ce en quoi devrait consister un enseignement scolaire et ce que devrait être le rôle respectif de l'élève et de l'enseignant. Il nous apprend aussi comment dans un enseignement à inspiration constructiviste, il est impérieux de valoriser la créativité de l'élève dans son processus d'apprentissage sans déresponsabiliser l'enseignant, sans tout faire reposer sur les élèves⁸³.

⁸³ Brousseau ne conçoit pas le travail de l'enseignant à la manière de l'approche pédagogique classique : l'enseignant comme pourvoyeur des connaissances, transmetteur des savoirs. Au contraire, il décrit le rôle de l'enseignant comme celui qui prépare les situations didactiques ou a-didactiques auxquelles les élèves vont se confronter. Il est celui qui initie le processus de dévolution et d'institutionnalisation des connaissances. Une

Brousseau ne modélise pas ce qui se passe dans la tête des élèves, ce qui se passe au niveau cognitif dès que l'enfant est aux prises avec une situation-problème. Sa théorie n'est pas une théorie psychologique, mais didactique. Il essaie au contraire de modéliser le processus d'adaptation. Pour en savoir plus sur ce qui se passe quand un élève est entrain de construire ses connaissances sur le fonctionnement cognitif, il faudra se tourner vers les travaux de Vergnaud sur la conceptualisation⁸⁴. Il n'y a pas non plus chez Brousseau cette distinction que fera plus tard Conne entre savoir et connaissance, entre la dimension subjective de la connaissance et la dimension institutionnelle et objective du savoir ou savoir de référence⁸⁵. En fait, si Brousseau nous livre des procédés pour provoquer des adaptations (théorie du jeu), Vergnaud décrit quant à lui le mécanisme des adaptations ou de la connaissance.

situation a-didactique est une situation par laquelle l'élève perçoit la connaissance comme une nécessité, un besoin ; autrement dit, c'est une situation qui fait éprouver un élève la connaissance comme une nécessité. La connaissance devient ainsi ce qui résout une crise, comble un besoin, fait franchir un obstacle.

⁸⁴ Vergnaud (1990) définit la conceptualisation comme un triplet de trois ensemble $C = (S, I, s)$; l'ensemble des situations qui donnent sens aux concepts (ou la référence S), l'ensemble des invariants opératoires qui permettent de les analyser du point de vue mathématique et permettent aux schèmes (les signifiés) de fonctionner et l'ensemble des signifiants ou l'ensemble des formes langagières et non langagières qui permettent de symboliser les concepts, ses propriétés, les situations et les procédures de traitement (le signifiant). Pour lui, la conceptualisation est un processus induit de la mise en rapport entre le sujet et le monde qui l'entoure. C'est une sorte d'interface entre les actions et les structures de l'action. Elle est constituée par un double mouvement : elle dirige l'action d'une part et de l'autre elle est dirigée vers l'action. On peut donc dire qu'il y a un mouvement de va et vient entre le réel et sa représentation cognitive. Pour Vergnaud, la connaissance n'est possible que parce qu'il y a conceptualisation, un travail sur les concepts mentaux. Un concept, selon lui, ne peut être réduit à sa définition. C'est à travers des situations et des problèmes à résoudre qu'il acquiert du sens pour l'enfant. Le développement ou le fonctionnement cognitif d'un sujet ou d'un groupe de sujets en situation d'apprentissage repose sur le répertoire des schèmes disponibles, antérieurement formés pour chacun des sujets pris individuellement. La théorie des champs conceptuels de Vergnaud est donc une théorie sur le fonctionnement cognitif. Ce que nous garderons à l'esprit et qui est le fruit que nous pourrons tirer des travaux de Vergnaud, c'est la confirmation que les processus cognitifs et les réponses du sujet sont fonctions des situations auxquels ils sont confrontés

⁸⁵ Conne considère le savoir comme constitué. Pour lui, le savoir est le modèle de référence aux connaissances. Le savoir (voir savoir opérant) est une connaissance qui transforme une situation. D'un côté, la situation est inductrice de connaissance, d'un autre côté, la connaissance permet d'agir sur la situation. Il semble que la distinction entre un savoir et une connaissance tient d'abord à leur statut culturel. Ainsi, un savoir est une connaissance «institutionnalisée». Le passage de l'un à l'autre implique des transformations et des relations didactiques différentes qui se nouent à leur propos. Il est impossible d'évoquer une connaissance indépendamment de tout savoir, la référence au savoir pris comme modèle s'y trouve d'emblée inscrite, et il est difficile de parler séparément de la connaissance et du savoir. Pour Conne, c'est le critère d'utilité qui sépare l'ordre du savoir de celui de la connaissance. Savoir et connaissance désignent deux positions du sujet dans ces rapports avec une situation. Toujours selon lui, l'étude de la connaissance procède d'une transposition du savoir. « Enseigner, écrit Conne, c'est travailler le savoir pour induire dans un cadre situationnel choisi un processus cognitif supportant l'apprentissage dont le produit sera en retour constitué en savoir » (Did des mathématiques, p.313). Nous ne nous attarderons pas beaucoup sur ces différences. Car ce qui nous concerne ici, c'est le rapport entre savoir et situation, entre savoir et problème qui peut nous éclairer sur les soubassements de la stratégie de la résolution de problèmes.

Pour notre compte, nous retenons de Brousseau le rôle qui revient à l'enseignant d'organiser de manière pertinente et a-didactique les activités d'apprentissage. Nous retenons aussi les concepts de dévolution et d'institutionnalisation par lesquels il circonscrit le rôle de l'enseignant et de l'élève dès lors qu'on est dans une perspective impliquant les hypothèses constructivistes. Nous retenons finalement le concept de situation.

Voilà le cadre que nous avons choisi pour parler du développement de la didactique des sciences. Comme on peut le voir, la didactique des sciences et la technologie éducationnelle se sont développées parallèlement. On ne peut pas nier qu'il y a eu ça et là des tentatives de rapprochement. Nous prendrons pour exemple les travaux de Papert qui se réfère sur beaucoup de points au constructivisme de Piaget mais dont les intuitions ont beaucoup inspiré la robotique pédagogique, ont aidé à reproblématiser l'importance des machines dans l'apprentissage. Plus concrètement, il faudrait citer les travaux de Désautels pour mettre en œuvre la stratégie du dérangement épistémologique qui se sont soldés par la mise au point du logiciel l'Enigmatique. Là nous avons un bel exemple d'un didacticien qui utilise les atouts de l'ordinateur et les met au service d'une approche pédagogique, de la construction des connaissances. Il en va de même du logiciel Activité et Nutrition de Orange (voir livre Problème et modélisation en biologie) où l'ordinateur intervient dans une activité d'apprentissage comme auxiliaire, comme soutien à une démarche didactique de modélisation. Mais, comme on le voit, les deux tentatives ne concernent pas les activités de résolution de problèmes, et encore moins les activités qui nécessitent le changement conceptuel.

Que dire à la fin de cette recension des écrits ? Quelles questions nous suggère-t-elle ? Comment éclaire-t-elle notre problématique ? Quelles sont les théories ou les concepts qui nous aideront à concevoir, réaliser et analyser les séquences didactiques qui soient capables de produire un changement conceptuel sans lequel il serait difficile aux élèves de construire des concepts ou représentations vraiment scientifiques des concepts physiques étudiés. Comment allons-nous mener la réalisation didactique de ces séquences pour être en accord avec l'approche constructiviste de l'apprentissage ? Comment répondre aux problèmes que rencontrent les élèves et les enseignants, lors de l'enseignement des sciences ? Du point de vue de la méthodologie de notre recherche, à quoi cette recension des écrits attire-t-elle notre attention ?

Mais avant d'en arriver là, récapitulons, sous forme d'analyse a priori, les caractéristiques épistémologiques et didactiques de l'électricité comme non seulement objet de savoir scientifique, mais aussi comme objet d'enseignement au secondaire. Après avoir passé en revue les obstacles et les premières représentations des élèves en électricité, nous terminerons ce propos en donnant les caractéristiques techniques et didactiques du logiciel physico.

2.3.4. Analyse des caractéristiques épistémologiques de l'électricité comme objet de savoir scientifique

L'électricité est une des branches de la physique qui a le plus d'applications dans la vie quotidienne des gens. C'est aussi l'une des celles dont les gens ont des conceptions inadéquates pour ne pas dire incorrectes, des fausses théories ancrées qu'ils traînent même jusqu'au début des études universitaires, car ces concepts ont un degré d'abstraction très élevé ou utilisent des analogies qui tout en aidant à faire construire des concepts scientifiquement conformes, renforcent par ailleurs certaines perceptions fausses, certains obstacles cognitifs.

Il y a historiquement deux périodes dans l'élaboration de ce que nous appelons actuellement électricité. Il y a la période qui va de l'antiquité grecque jusqu'à la fin du dix-septième siècle. Pendant cette période, seules les propriétés de l'électricité statique sont connues. La notion de courant électrique est encore loin d'être élaborée même si déjà les phénomènes d'attraction et de répulsion des objets chargés sont déjà circonscrits et connus des savants d'alors. Et puis, il y a la période qui va du début de l'ère moderne jusqu'à ces jours où les bases de l'électricité ont été établies progressivement, expérimentalement et mathématiquement. Comme beaucoup des branches de la Physique, c'est surtout la découverte de ses lois formulées mathématiquement au XVIII^e et au XIX^e siècles passés qui ont propulsé l'électricité dans le giron des branches des sciences expérimentales. C'est pendant la même période que Christian Oersted (1777-1851) découvre par hasard l'existence du champ magnétique créé par le courant électrique. En 1831, le physicien anglais Michael Faraday découvre, à l'inverse, que le mouvement d'un aimant près d'un fil pouvait occasionner un courant électrique. A partir de ce moment, de ces découvertes, le destin de l'électricité et du magnétisme se scella. Les travaux du physicien français André Marie Ampère sur les phénomènes électrodynamiques et les contributions de Michael Faraday à l'élaboration de la théorie électromagnétique ont fini par établir le lien entre les phénomènes

électriques et les phénomènes magnétiques. Le physicien écossais James Maxwell formalisa ces deux découvertes, à partir de 1855, dans sa théorie de l'électromagnétisme.

Lorsqu'on parle aujourd'hui d'électricité dans les manuels scolaires, on fait allusion aux notions et aux lois définissant le courant électrique, peu importe son lieu de production. En tant que branche de la physique, les lois de l'électricité se sont constituées principalement grâce à la force des arguments expérimentaux. En tant que telle donc, elle est une science expérimentale où seule l'expérience est habilitée à valider les lois. En tant que branche de la physique, elle possède aussi un arsenal des concepts et des notions pour décrire les phénomènes électriques, lesquels ont des significations particulières (courant, intensité, tension, différence de potentiel, générateur de tension, circuit, résistance, etc.). Historiquement parlant, les travaux qui ont mené à la découverte de l'électricité ou du courant électrique n'avaient pas pour but de répondre à des questions théoriques qui cherchaient à prouver le lien entre la matière et l'énergie, c'est-à-dire que ces travaux n'étaient pas entrepris dans le cadre d'un projet de recherche ni sur la matière, ni sur l'énergie. Ces théorisations viendront plus tard.

L'électricité comme branche de la physique s'est donc constituée peu à peu comme un corps autonome des savoirs. Les découvertes en ce domaine et les réalisations techniques subséquentes prouvent à suffisance combien cette science a révolutionné la vie des hommes. Comme la physique est une science à la fois descriptive et explicative, en électricité on tente d'expliquer les phénomènes électriques et de les décrire mathématiquement les lois qui les régissent.

2.3.5. Analyse des caractéristiques didactiques de l'électricité comme objet d'enseignement au secondaire.

Selon le programme québécois pour l'enseignement des sciences au secondaire, l'électricité s'enseigne en principe au secondaire 4, dans le cadre du cours des sciences physiques voué à la découverte des caractéristiques de la matière et de l'énergie (voir programme d'études 416-436). Selon ce programme, l'enseignement des sciences physiques doit permettre aux élèves de s'inscrire dans la société scientifique et technologique dans laquelle ils vivent, en leur permettant d'acquérir une culture scientifique adéquate. Concrètement, comme la culture scientifique suppose ou exige l'acquisition des connaissances mais aussi la compréhension des conditions et des méthodes de production ou d'élaboration des méthodes, lois, théories et l'invention des objets techniques, l'enseignement des sciences physiques devrait permettre aux élèves de construire un ensemble des connaissances et d'outils intellectuels, et d'utiliser la méthode scientifique pour se construire des concepts de la matière et de l'énergie dans un contexte d'éducation relative à l'environnement, devrait permettre aussi la prise de conscience des liens entre la science, la technologie et la société.

Le programme des sciences physiques (416-436) est subdivisé en trois modules. Dans le premier module, il propose qu'on parcoure les propriétés et la structure de la matière. Dans le deuxième module, il propose l'exploration des phénomènes électriques, tandis que dans le troisième, le programme propose d'aborder les phénomènes ioniques. S'agissant du deuxième module, comme c'est lui qui nous concerne, l'objectif du module est ainsi défini : *«Explorer, à l'aide de la méthode scientifique, des propriétés électriques de la matière, des impacts de la production, de la transformation et de l'utilisation de l'énergie électrique sur l'environnement et la vie des québécoises et québécois».*

Ce programme prévoit 60 heures des cours pour l'enseignement des phénomènes électriques. Ce programme 416 s'adresse à tous les élèves de 4^e secondaire qui n'envisagent pas de poursuivre au collégial des études en sciences de la nature et dans des programmes professionnels exigeant des préalables en chimie ou en physique ; tandis que le cheminement du programme des sciences physiques 436 s'adresse aux élèves qui en ont la capacité ou qui sont désireux de poursuivre des études en chimie et en physique en 5^e secondaire et au collégial. Compte tenu des possibilités du logiciel physikor et du temps que nous disposons pour réaliser cette recherche, nous nous limiterons aux concepts utilisés dans le logiciel ou qu'il permet d'élaborer. De même, nous n'avons pas l'ambition de couvrir tous les objectifs de

ce module. Du point de vue méthodologique, les situations d'apprentissage ou situations-problèmes que nous allons concevoir tourneront autour des concepts les plus ordinaires de l'électricité comme courant, tension, intensité, résistance, unicité du courant. Comme notre recherche ne se passe pas dans une vraie situation de classe, en situation de programme régulier, nous nous attellerons à dégager l'impact des situations-problèmes sur les connaissances des élèves et le changement et l'évolution de leurs conceptions.

Le programme ne donne pas place à l'électrostatique ni aux phénomènes liés à la propriété magnétique de la matière. On dirait que ces concepteurs ne privilégient pas un découpage de matières respectant l'élaboration historique des lois de l'électricité. Est-ce que ce sont des parties qui seront abordées plus tard en secondaire 5 ? Comme on le sait, ni l'électrostatique ni le magnétisme ne sont inscrits au programme du secondaire 1 ou 2, encore que certaines expériences peuvent être accessibles aux élèves de 13-14 ans, et plus que jamais motivantes, stimulantes. En secondaire 1, le programme est axé sur l'écologie : il met l'accent sur l'étude du vivant et cherche à faire découvrir à l'élève les différentes interrelations qui existent entre les divers éléments de l'environnement. Au secondaire 2, le programme des sciences physiques traite de l'environnement physique. Ces deux programmes sont destinés aux élèves de 13-14 ans, qui sont en majorité au niveau du stade opératoire concret, niveau où l'élève déduit des notions simples à partir d'un support concret, où sa compréhension repose sur l'expérimentation.

Mais quelques manuels réservés à l'introduction aux sciences de la nature au primaire présentent des activités simples d'apprentissage sur les phénomènes électriques et même magnétiques (Thouin, 1996, 1997)⁸⁶. Ce qui nous pousse à affirmer que quelques notions d'électricité sont déjà à la portée des élèves du primaire, dans le cadre du cours des sciences de la nature. Ce cours n'est pas donné de manière systématique et élaborée à l'école primaire, mais à travers quelques situations-problèmes les élèves peuvent se construire des concepts authentiques en électricité et dépasser certains obstacles.

La manière dont le programme de cet enseignement de l'électricité est établi semble inscrire sa compréhension dans une perspective historique, si nous tenons compte du fait qu'il sépare l'électrostatique et l'électricité. Le deuxième module porte le titre de «phénomènes électriques» et dans la description de l'objectif global, il ne s'agit que des phénomènes

⁸⁶ Voir à ce sujet Marcel Thouin (1997) *La didactique des sciences de la nature au primaire*. Québec, Sainte-foy : Éditions Multimonde.

électriques de la matière. Mais, lorsque le programme spécifie les objectifs terminaux, on y voit apparaître le concept de champ magnétique : «L'élève sera capable d'analyser les caractéristiques d'un champ magnétique mises en évidence lors de ses travaux scientifiques» (p. 22). On se demanderait si les concepteurs du programme n'ont pas cherché à se rattraper car en effet il ne s'agit pas d'apprendre l'électricité pour elle-même, mais dans une perspective qui permette de construire les concepts de matière et d'énergie. Or ces concepts font appel aussi aux phénomènes magnétiques. On parle de l'énergie électrique tout comme de l'énergie électromagnétique. Pourquoi alors n'a-t-on pas tout simplement intitulé le module : «phénomènes électriques et magnétiques» ? D'autant plus que les deux entrent dans les objectifs du programme qui sont de faire construire les notions des matières et d'énergie. D'ailleurs certains livres qui essaient de donner un contenu à ce programme, traitent du magnétisme au sein du même module, d'autres traitent séparément l'électricité et le magnétisme. Il y a là un choix pédagogique et didactique ambiguë à notre sens.

Il nous semble qu'au Québec, contrairement aux pays comme la France ou la Belgique où l'enseignement de l'électricité se fait très tôt pour les élèves qui commencent le secondaire, l'enseignement de l'électricité au secondaire répond davantage à un souci de donner aux élèves une culture générale dans le domaine scientifique. Il faudra attendre l'entrée au collège et dans la filière scientifique pour que l'enseignement de l'électricité soit plus consistant, plus élaboré.

2.3.6. Analyse didactique, épistémologique et cognitive des représentations et des obstacles d'apprentissage en électricité.

Notre analyse didactique des conceptions initiales et des obstacles épistémologiques en électricité a pour but de ressortir les représentations habituelles des élèves en ce qui concerne l'électricité, selon la littérature scientifique. Plus concrètement, ainsi que le fait Marcel Thouin (1996a, 1996b, 1997), à partir de ces conceptions initiales, nous allons essayer de construire des activités d'apprentissage et prévoir des indicateurs d'une évolution de conception. Par indicateurs, nous entendons poser de questions orales ou écrites ou préparer des grilles d'observations ou des fiches d'appréciation pour vérifier dans quelle mesure les activités auront permis une réflexion et une évolution. Ici, nous résumons surtout le travail de synthèse de Samuel Johsua sur les conceptions et les raisonnements courants des élèves en électrocinétique en courant continu.

Les différentes recherches sur la manière dont les élèves se représentent le courant électrique ont mis en lumière quatre types de représentation ou conception initiale qui sont autant d'obstacles à franchir pour faire évoluer leurs conceptions vers des conceptions plus scientifiques. Il s'agit de :

- la représentation «contact» : selon Johsua, lorsqu'on demande aux élèves d'expliquer pourquoi la lampe s'éclaire lorsqu'on la branche à une pile à l'aide des fils, les enfants de 8-10 ans répondent en restant à la surface des choses. Beaucoup d'entre eux expliquent que la lampe s'allume parce qu'elle touche la pile.

- la représentation «unifilaire» : les élèves s'appuient sur la métaphore du fluide en mouvement pour décrire les phénomènes pour expliquer ce qui se passe quand une ampoule s'allume lorsqu'elle est branchée à une pile à l'aide de fils. Beaucoup pensent qu'il suffit d'un fil unique pour que le courant arrive de la pile à l'ampoule où il sera consommé. Cette représentation a été signalée par beaucoup d'auteurs comme Tiberghien et Delacôte (1976), Durey (1978), Fredette et Clément (1981), Ben Hamida (1980). Plusieurs auteurs ont vu dans la représentation unifilaire un cas patent de ce que Halbwachs (1971) a appelé «la causalité simple». Comme quoi, un agent (la pile) agit sur un patient (l'ampoule) par un intermédiaire (le fil). Autrement dit, le fluide en mouvement, en l'occurrence l'électricité, est l'intermédiaire entre la cause et l'effet. Notons aussi que les enfants considèrent que le retour est soit jugé superflu, soit admis comme nécessaire pour apporter plus de fluide (courant) à l'ampoule.

- la représentation de «courants antagonistes». Les élèves croient qu'il y a deux courants qui partent de la pile et qui vont alimenter l'ampoule sans retour à la pile. Certains élèves considèrent que le courant sort de la pile par les deux lamelles et se dirige vers l'ampoule en empruntant les deux fils. Ici, aussi, le courant est consommé sans retour à la pile et en aucun instant on peut s'imaginer la conservation du courant électrique. En fait, il semble que pour certains élèves, les deux fils transportent le même type de courant. Pour eux, il faut deux fils pour amener le courant à l'ampoule. Selon Johsua, cette représentation est une amélioration de la représentation unifilaire souvent produite par la nécessité de tenir compte de l'expérience, qui impose la présence de deux fils. Pour d'autres élèves, il y a deux courants différents qui sortent de la pile pour aller à l'ampoule pour faire des étincelles, selon leur expression. Il semblerait que cette représentation pourrait être produite par la nécessité d'intégrer cognitivement la présence d'une dissymétrie sur la pile. Ici la perte d'énergie est encore complètement liée à la perte de matière. L'épuisement de la pile correspond à

l'épuisement des stocks d'électricité ou du fluide si on se réfère à l'analogie du fluide en mouvement. Pour Johsua, la représentation à courants antagonistes pourrait être prise comme une représentation intermédiaire entre la représentation unifilaire et la représentation circulaire.

- Enfin, une représentation circulaire avec «épuisement du courant». Ici, les élèves admettent le principe de la circulation de l'électricité, mais pour eux, le courant s'use plus ou moins au passage de l'ampoule, contrairement au principe de la conservation du courant dans un circuit-série. Les recherches révèlent que les élèves plus âgés tendent à rejeter les représentations à courants antagonistes. Le courant provenant de la pile arrive à l'ampoule puis en ressort pour retourner vers la pile, mais les élèves ajoutent que cela se fait avec une intensité moindre qu'à son entrée dans l'ampoule. L'épuisement ne se fait pas d'un coup, mais ils disent que le fluide s'épuise peu à peu. Cette représentation est attestée par une variété des résultats, comme ceux de Mc Dermotte et Van Zee (1984) et de Cosgrove (1984). Selon Johsua, cette représentation est particulièrement résistante et a tendance à se manifester chaque fois que les élèves seront confrontés à une situation semblable.

Et que se passe-t-il lorsque le circuit est ouvert ? Il semble que les élèves ont tendance à considérer que le fluide continuera à se déverser au dehors comme l'eau s'écoule d'une canalisation percée. Du point de vue de la physique institutionnelle, le raisonnement des élèves consiste à confondre la notion des charges électriques et le déplacement des charges, lequel est empêché par l'existence d'une résistance infinie si le circuit est ouvert. Mais il semble que du point de vue de l'élève, le raisonnement demeure tout à fait cohérent avec la métaphore du fluide en mouvement.

Du point de vue des raisonnements auxquels les élèves recourent dans leur description de ce qui se passe dans les circuits ou schémas électriques simples, les chercheurs en ont relevé deux types : il y a le recours massif au raisonnement dit en courant, et de façon corollaire la non-émergence du raisonnement en tension. Selon Johsua, la notion de tension est mystérieuse pour les élèves du secondaire, et le reste pour plusieurs étudiants du premier degré de l'université. Beaucoup d'élèves la confondent avec l'intensité du courant. Il y a aussi selon les chercheurs l'utilisation du raisonnement séquentiel dans l'analyse des circuits électriques par les élèves ; les élèves ne considèrent pas le circuit électrique comme un tout, comme un système déterminant ses parties. Autrement dit, le cours d'électricité devrait amener les élèves à développer le raisonnement en tension et à avoir une vision globale du

circuit électrique, ce qui les amènera à éviter les erreurs et à avoir une bonne représentation du courant électrique.

Les représentations de «courants antagonistes» et à «épuisement du courant» sont celles qu'on rencontre la plupart des fois chez les élèves du début du secondaire. Les élèves du primaire utilisent les représentations unifilaire ou de contact, pour la grande majorité. Mais, selon Johsua, la représentation «contact» apparaît plus comme le résultat d'un malentendu sur le sens de ce qui est demandé qu'une véritable construction cognitive (Johsua, 1989, p.123).

Selon Johsua, c'est l'utilisation à toutes les sauces de la métaphore du fluide en mouvement en électricité qui induit le raisonnement en courant. L'usure de la pile par exemple sera expliquée par les jeunes élèves par l'usure ou l'épuisement du fluide lui-même, de l'électricité, autrement dit, par le fait que le réservoir du fluide électrique se vide. Comme l'on sait, pour le physicien, ce fluide dont il s'agit se conserve dans le circuit et si l'on peut parler de consommation, il s'agit de la consommation de l'énergie par transfert d'énergie stockée sous forme chimique dans la pile vers la lampe où elle se dissipe sous forme de chaleur et de rayonnement. D'après Johsua, c'est parce que les enfants utilisent la métaphore du fluide en mouvement qu'ils sont amenés à rejeter catégoriquement le modèle du physicien qui affirme la conservation du courant électrique tout au long du circuit série. C'est à cause d'elle aussi que les enfants se passent volontiers de la notion de tension. Toujours selon les recherches de Johsua, il semble même plus de 70% des étudiants de deuxième année universitaire scientifique en France montrent encore de réticences à utiliser ou de difficultés réelles à comprendre la notion de potentiel électrique en point du circuit. Et qu'en est-il des représentations «à l'unicité du courant dans un circuit-série» et les représentations «à débit constant du courant» ?

Les recherches mentionnent une large utilisation de la métaphore du fluide en mouvement et la prééminence du raisonnement en courant dans les démarches de description et d'explication des phénomènes électriques. Selon ces mêmes recherches, il semble qu'aucun développement naturel ne paraît conduire à intégrer la notion de potentiel dans la métaphore du fluide. Cela semble avoir des conséquences cognitives et épistémologiques graves, pour l'enseignement et l'apprentissage de l'électricité.

Le traitement des circuits en série a conduit à mettre en exergue les difficultés des élèves débutants en électricité pour admettre l'unicité du courant. Il paraît cependant que même pour ceux qui semblent l'admettre, cela ne signifie pas qu'ils en sont parvenus à la représentation canonique des physiciens. Cela est vite vérifié dès qu'on les confronte à des circuits comportant des dérivations ou circuits avec des résistances en parallèle. Fischbein (1970), rapporte Johsua, a proposé à ses étudiants le problème suivant : « Deux résistances sont montées en dérivation sur une pile ; on y ajoute une résistance en dérivation. Qu'advient-il du courant parcourant chaque résistance ? ». Les réponses relatives à cette question montrent qu'une forte majorité des étudiants considère que l'intensité diminuera dans chacune des résistances. L'explication de Fischbein est la suivante : les étudiants considèrent que la pile délivre un courant constant quel que soit le circuit (cf. modèle dit « à débit constant » qui convient pour un circuit en série). La pile étant considérée comme un générateur à courant constant et non comme un générateur de tension constante. Par expérience et même par calcul, on sait que c'est le même courant qui circulera dans les deux premières résistances. A cause de la troisième résistance, le circuit forcera la pile à débiter plus de courant. Il n'y aura donc pas de diminution de l'intensité dans les deux premières circuits. Nous avons ici aussi une rémanence de la métaphore du fluide et une survivance des raisonnements en courant.

Il semble que si la représentation « à épuisement du courant » constitue l'obstacle majeur à une progression cognitive des élèves débutants, la représentation « à débit constant » est, elle, l'obstacle majeur des élèves confirmés en électrocinétique. Selon Johsua, la perdurance et la solidité de cette représentation pourrait bien être liée au type de situations proposées aux élèves, en classe. Dans la plupart de celles qui leur sont habituellement proposées, le courant débité par la pile est une donnée constante⁸⁷. Beaucoup d'auteurs voient dans la représentation « à débit constant » le développement et la systématisation de celle à « unicité du courant dans un circuit-série », elle-même appuyée sur la métaphore du fluide en mouvement⁸⁸, car, comme certains auteurs l'ont expliqué, l'unicité est conçue non pas comme

⁸⁷ L'hypothèse de S. Johsua c'est que la représentation « à débit constant » est récurrente parce que les situations d'apprentissage ne sont pas diversifiées ; elle serait donc un effet « négatif » de l'enseignement. Nous avons voulu en savoir plus. Dans le livre *Odyssée Sciences Physiques 416-436*, manuel de l'élève, nous avons passé en revue les situations proposées dans le module 2, traitant des phénomènes électriques. En effet, dans les schémas présentés à l'attention des élèves, le courant débité par la pile est une donnée fixe (voir pp.211, 212, 249, 250), qu'on peut aller connaître à l'aide d'un ampèremètre.

⁸⁸ Pour Johsua, la métaphore du fluide est un outil cognitif qui a ses avantages et ses inconvénients. Elle permet une amélioration régulière des raisonnements en courant. Le recours à la métaphore du fluide en mouvement est le reflet de la construction cognitive des élèves. Cette construction spontanée cependant ne conduit pas à intégrer la

une caractéristique ou une propriété du circuit, mais comme celle du générateur, dont le rôle ici serait de maintenir un courant constant, malgré toutes les occasions d'épuisement de celui-ci.

Du point de vue des conséquences didactiques, Johsua avance l'idée selon laquelle les aspects confus de l'intuition initiale qui emprunte tous ses atouts à la métaphore du fluide pousse les élèves à confondre courant et énergie. Et que ces aspects confus ne sont pas faciles à dépasser totalement. Et il apparaît, dans ce contexte, que la notion de potentiel en électricité est l'une des plus complexes à acquérir chez les élèves. Probablement que notre recherche nous permettra de vérifier cette affirmation. Une chose qu'il sera utile d'analyser de tout près, ce serait de voir si le logiciel *physicor* permet non seulement l'émergence de la notion de potentiel, mais surtout si la représentation que les élèves s'en font est conforme au savoir des physiciens. Ce sera là un indicateur d'une évolution possible des conceptions des élèves en électricité.

2.3.7. Analyse des caractéristiques techniques et didactiques d'ExAO et de Physicor.

L'outil informatique qui a retenu notre attention et conçu pour être utilisé dans le cadre de l'enseignement de l'électricité à l'école secondaire, c'est un logiciel prénommé «*Physicor*» (voir annexe 2). Ce logiciel fonctionne sur Windows 95 et utilise l'interface Orphy. Ce logiciel est écrit pour fonctionner avec les micro-ordinateurs compatibles IBM-PC ou IBM-PS et MacIntosh.

Physicor utilise l'interface Orphy qui permet le dialogue de l'ordinateur avec le monde physique. Ce logiciel est donc à utiliser dans un cadre d'enseignement des sciences expérimentales assisté par ordinateur. Dans ce cadre, trois axes de relations sont identifiables. Il s'agit de la relation entre l'apprenant et le système physique, l'apprenant et l'ordinateur et enfin l'ordinateur et le système physique via l'interface. L'ordinateur permet de mesurer, de calculer, de représenter et de superposer des résultats d'expérience à la demande de l'élève qui agit, en même temps, sur le système physique. L'ordinateur devient ainsi comme une sorte d'interface matérielle et cognitive entre le système physique et l'apprenant.

notion de potentiel. Même si ce raisonnement en courant se retrouve à tous les niveaux de l'enseignement jusqu'à l'université, la nature du courant n'est pas tout à fait celui du physicien. Il semble qu'il a tendance à se confondre avec, ou mieux, à absorber, certains aspects d'autres notions d'électricité comme l'énergie, le potentiel (courant comme force, cause des effets électriques).

Pour fonctionner avec le logiciel physicor, Orphy a besoin des trois capteurs ; un luxmètre, un voltmètre et un ampèremètre. Pour réaliser les expériences ou les situations d'apprentissage proposées, il faut aussi avoir les matériaux habituels qu'on utilise dans un laboratoire d'électricité : des résistances, des piles, des fils conducteurs, des ampoules, etc. Orphy comme interface permet le contrôle des expériences par l'ordinateur ou le transfert des données pour leur traitement ou leur visualisation graphique. Il permet donc de dégager des paramètres pertinents pour décrire le comportement du système physique (voir démarche inductive : recherche des lois à partir d'expériences). Il permet aussi la validation des hypothèses de comportement prédits à partir de l'observation préalable (démarche hypothético-déductive). Le meilleur atout d'Orphy et d'ExAO c'est de permettre une acquisition directe et facile de données ainsi que leur traitement graphique en même temps que se déroule en temps réel le phénomène physique

Le logiciel Physicor contient trois modules : module de physique, d'éditeur de schémas et un éditeur des symboles (voir annexe 3). Ces deux derniers modules ont cet avantage de permettre que l'enseignant puisse construire ses propres exercices, d'élargir le champ des situations d'apprentissage. Ceci pourrait aussi servir à l'élève de pouvoir s'essayer dans la construction des schémas en électricité et de faire de petits projets en vue d'évaluer ses propres connaissances. Mais cela peut être plus laborieux pour eux.

En ce qui concerne la dimension didactique et pédagogique du logiciel Physicor, il convient de dire que selon ses constructeurs, ce logiciel est destiné aux élèves de 4^e et 3^e secondaire du système scolaire français. Quelques fiches d'accompagnement du matériel l'attestent à suffisance. Mais on n'explique pas quels sont les critères du découpage du contenu d'enseignement et les indications qui accompagnent le matériel ne servent qu'à spécifier les conditions techniques de leurs utilisations judicieuses. Il n'y a aucune étude qui permette de rendre compte de son efficacité dans l'enseignement. Et encore moins il n'y a aucune spécification quant aux conditions et contraintes d'enseignement que requiert son utilisation. On ne sait pas les connaissances préalables il exige des élèves. On ne précise pas non plus la démarche d'apprentissage que les enseignants doivent mettre en œuvre pour que le logiciel atteigne les objectifs du programme des sciences physiques. On ne connaît pas les circonstances dans lesquelles l'enseignement par ce logiciel est plus performant, ce logiciel permet aux élèves de se construire les concepts de courant et de tension électrique.

Le module de physique est divisé en cinq parties bien distinctes qui apparaissent dès qu'il est activé. Deux parties concernent l'électricité (électricité U/I et électricité P/R) ; les autres concernent la chimie, la mécanique et une autre qui s'intitule divers (voir annexe 3). Notre travail n'utilisera que les deux sous-modules qui concernent l'électricité. Quand on entre dans un module, immédiatement un message apparaît pour annoncer si les bons capteurs sont fixés ou non. D'après le sous-module choisi, on entre dans un menu qui offre le choix entre plusieurs sujets (voir annexe 4). Chaque sujet est composé des exercices dont chacun est composé de quatre tableaux permettant de faire visualiser ce qui est demandé à l'élève, ce qu'il doit réaliser comme manipulation, les connexions qu'il doit faire entre les différentes composantes, le schéma électrique dans lequel consiste l'exercice, la représentation des données enregistrées par les instruments de mesure, un tableau d'enregistrement des valeurs (voir annexes 5 et suivants). A part cela, il y a des tableurs et des graphiques par lesquels l'élève peut visualiser l'évolution des variables, l'élève peut avoir une représentation de ce qui se passe dans son expérience. Nous y reviendrons lorsque nous allons construire les situations d'enseignement pour les encadrer et orienter le travail de l'élève.

3. Questions de recherche

D'après Balacheff, l'outil n'a pas de pertinence éducative intrinsèque : ce sont toujours les situations d'enseignement et d'apprentissage qui lui confèrent sa valeur d'usage, sa pertinence pédagogique et didactique. Notre projet est, pour ainsi dire, de didactiser les outils de robotique pédagogique, de remettre au centre de ses préoccupations ce qui caractérise l'essence de l'école, c'est-à-dire l'intention d'enseigner, l'intention de provoquer des connaissances conformes au savoir savant ou de faire évoluer les conceptions des élèves. Une de nos hypothèses est que les activités d'ExAO, dans le cas présent les activités que proposent physicor (voir annexes) peuvent engager les élèves dans une réelle démarche de construction des savoirs scientifiques pourvu qu'elles s'inscrivent dans une démarche didactique qui tient compte des conceptions naïves des élèves et qui comporte des activités fonctionnelles, des activités de résolution de problèmes et de structuration¹.

Le défi principal de notre recherche consiste donc à vérifier si les activités d'apprentissage incluses dans le logiciel physicor sont capables d'amener les élèves à la construction des concepts de tension et de courant électrique sans qu'elles soient complétées par des situations problèmes construites en respectant les principes de la didactique des sciences

Une autre hypothèse serait ici de voir si les avantages pour lesquels ExAO a été conçu (comme la maîtrise de la démarche hypothético-déductive, le contrôle des schèmes des variables et l'acquisition rapide de l'outil cognitif (mathématique) qu'est la représentation graphique, lequel est nécessaire dans la compréhension des phénomènes physiques) interviennent significativement dans la compréhension des phénomènes électriques simples. Nous pourrions aussi vérifier si, à la fin des apprentissages, les élèves ont une meilleure connaissance des appareils de mesure et sauront les utiliser adéquatement quelles que soient les situations.

¹ Nous allons, en fait, essayer de montrer que la trousse d'expérimentation assistée par ordinateur (physicor) ou n'importe quel outil destiné à l'ExAO, n'a de valeur éducative en soi, n'a en elle-même de pertinence didactique ; car si elle est mise telle quelle à la disposition de l'élève sans être intégrée dans des activités qui l'engagent dans une démarche de résolution de problèmes ou de structuration des connaissances, son efficacité didactique pourrait être aléatoire. Grâce à ces outils (physicor), certes, l'élève pourrait avoir des informations scientifiques, pourrait acquérir des habiletés scientifiques telles que la capacité d'observation, d'exploration, d'utiliser des appareils de mesure, le schème de contrôle des variables, mais il risque de ne réussir à se construire des savoirs opérants dont la spécificité est de pouvoir servir à résoudre et à maîtriser d'autres problèmes dans des situations tout à fait différentes. Il risque de ne pas réussir à provoquer un changement conceptuel et une évolution des conceptions.

Quelques questions de recherche vont guider notre analyse a posteriori de nos séquences d'enseignement et des résultats de nos observations didactiques :

- Est-ce qu'effectivement les situations d'apprentissage que propose physicor sont capables de permettre une compréhension des phénomènes électriques ? Permettent-ils l'acquisition des concepts relatifs à l'apprentissage de l'électricité ?
- Est-ce que les objets d'enseignement (par exemple l'électricité, ici) déterminent le rapport des élèves aux situations, des élèves à l'enseignant ? Suscitent-ils de phénomènes d'enseignement particuliers ou généraux, typiques ou atypiques.
- Est-ce que tous les concepts de la didactique des sciences et la démarche de l'ExAO nous permettent, en tant qu'enseignant, de décrire et de désamorcer les situations de blocage, de décrire les comportements cognitifs des élèves en situation d'apprentissage, d'anticiper sur le sens des interventions de l'enseignant
- Enfin, est-ce que le fait de compléter les activités d'apprentissage que propose physicor (ou le fait de les considérer comme des activités fonctionnelles) par les activités fonctionnelles, de résolution de problèmes et de structuration suffit à ce que les élèves non seulement puissent changer leurs conceptions premières, mais surtout construisent des conceptions typiquement scientifiques ou bien faut-il considérer d'autres choses ? par exemple certaines variables didactiques encadrant et déterminant le fonctionnement didactique et le processus de construction des connaissances dans une situation réel d'apprentissage ?

4. Méthodologie de recherche

Avant de préciser la méthode qui sera la nôtre dans cette recherche, il conviendrait de revenir sur les présupposées épistémologiques, philosophiques et didactiques qui fondent notre compréhension de l'éducation et orientent nos choix méthodologiques, limitent le champ de validité de nos hypothèses, interdisent toute tentative de vouloir extrapoler outre mesure les résultats de nos observations et interprétations. A cet égard, ce qui sera le plus important à signaler, c'est ce en quoi la recherche consiste vraiment : la manière dont nous allons opérationnaliser la partie portant sur les activités ou situations d'enseignement, déterminer le contexte d'enseignement ; décrire les outils dont nous allons nous servir pour obtenir des traces des activités des élèves, des échanges dans les débats ou de leur rétroaction face aux situations-problèmes ; comment nous allons évaluer la valeur et la crédibilité de ces données une fois recueillies, comment nous allons les analyser et les interpréter. Il conviendrait aussi d'explicitier la finalité de cette recherche, ce qui permettra de nous en tenir seulement à ce qui peut être profitable à l'enseignement des sciences, c'est-à-dire la mise en place ou la construction des séquences d'enseignement qui fonctionnent, qui soient susceptibles de soutenir une démarche de construction des connaissances et la progression cognitive, la structuration du système cognitif des élèves.

Pour les recherches en sciences de l'éducation, comme pour toutes les sciences humaines, le problème de la scientificité, de la crédibilité, de la validité et de la légitimité d'une recherche ou d'une démarche de recherche se pose avec acuité, et reste somme toute un point où il n'y a pas de consensus total. Quoi qu'il en soit, on peut dire que toute recherche sérieuse et crédible devrait toujours s'articuler autour de la formulation d'hypothèses ou des connaissances conjecturales, conditionnelles, contextuelles, partielles ou relatives. Et même validées, elles restent conditionnelles, partielles et relatives, car ce sont là les caractéristiques propres de toute connaissance scientifique.

Aujourd'hui plus que jamais, l'obsession de la scientificité et de l'objectivité expérimentale à l'Auguste Comte est de plus en plus remise en cause dans les sciences de l'éducation, ou tout au moins révisée, tempérée et relativisée². La raison principale c'est qu'on se rend de plus en plus compte que les phénomènes éducatifs ne sont pas si prévisibles qu'on le laisse penser. Cela tient surtout du fait que, le sujet humain, à la fois objet et agent de l'éducation, est un

² Jamais, les recherches en éducation du fait des contraintes du terrain et de valeurs qui fondent l'action éducative, ne pourront prétendre à utiliser des démarches scientifiques à l'image de des sciences positives et formelles telles que la physique, les mathématiques conformément aux critères fixés par les grands épistémologues comme Popper, Carnap, Kuhn et Habermass. Autrement dit, un projet scientifique de type positiviste est une utopie en science de l'éducation.

système ouvert, complexe et riche, qu'il est difficile, voir impossible, de l'enfermer dans un déterminisme réducteur et étroit. En fait, l'humain étant un être intentionnel et libre, son comportement n'obéit pas à des lois telles qu'il faudrait le considérer comme programmable, c'est-à-dire soumis ou docile à la manipulation des contingences³. De plus, comme intentionnalité, ses objectifs sont souvent contradictoires, imprévisibles et difficilement communicables sans qu'ils soient déformés ou réduits ; ses décisions sont souvent les résultats de négociations et ses comportements paraissent imprévisibles et irrationnels parce que ses raisons ou motivations sont complexes et reliées à un environnement trop riche en stimulations diverses pour qu'on puisse y sélectionner a priori les impacts réellement positifs dans une situation donnée⁴.

Comme les sujets impliqués dans l'éducation et leur environnement sont complexes et non contrôlables, la pratique de recherche montre que même si le souhait de prédire y est courant, il reste généralement décevant. Outre les problèmes de mise à l'épreuve relatifs à la difficulté de disposer de traces observables et indiscutables pour de nombreux concepts éducatifs, de cerner les situations éducatives qui peuvent regorger des richesses inouïes et des contradictions évidentes, à l'ambiguïté des indices, on peut tout simplement dire que nous avons là une épine dans le pied de la démarche expérimentale, et circonscrit une des limites intrinsèques au statut scientifique des sciences de l'éducation. Les mêmes remarques pourraient être adressées à la stratégie probabiliste mise en avant dans les plans expérimentaux pour des recherches qui s'appuient sur des stratégies statistiques pour se valider et se donner une crédibilité scientifique. Non seulement l'utilisation du hasard ou du principe de l'aléatorisation pose non seulement des problèmes d'efficacité technique et épistémologique, de validité écologique, mais aussi un problème qui rend paradoxaux les principes actuels sur lesquels reposent l'éducation, entre autres principes, on peut citer celui de l'égalité des chances pour tous les élèves.

³ Voir à ce sujet la problématique de la transférabilité ou de la répétabilité des résultats des recherches en didactique des sciences ou des expériences concluantes du point de vue didactique, problématique qui a jeté de l'ombre sur tous les travaux qui envisageaient l'innovation des pratiques éducatives ou d'enseignement, bref sur tous les travaux de recherche-action qui généralisaient les résultats d'une recherche dans un contexte bien limité à tout le contexte scolaire. C'est contre cette pratique que se sont soulevés des didacticiens comme Guy Brousseau, Chevallard, etc qui ont orienté les recherches et la réflexion didactiques vers la description du système didactique et de ses acteurs, vers l'explicitation des variables didactiques qui déterminent le fonctionnement du système didactique ou d'une situation d'enseignement, vers l'analyse didactique des phénomènes d'enseignement et d'apprentissage et la description des mécanismes et de ce qui est le moteur de la progression didactique (cf. théorie des situations didactique, théorie de la transposition didactique et la méthode de l'ingénierie didactique).

⁴ Nous nous inspirons à ce propos de Van der Maren, J.M. (1995) *Méthode de recherche pour l'éducation. Éducation et formation. Fondements*. Les Presses de L'université de Montréal, De Boeck Université, p.93.

Fort de cette constatation, débarrassé de cette prétention à la scientificité et à l'objectivité expérimentale, notre méthodologie se voudra d'être hybride ; elle va s'appuyer sur plusieurs éléments tirés de la recherche qualitative en éducation, tout en s'inspirant de la démarche de l'ingénierie didactique⁵. Et comme notre recherche entend concevoir, réaliser et analyser des séquences d'enseignement, nous allons privilégier la méthodologie monographique de type clinique, avec une préférence pour quelques techniques d'observation et d'analyse tirées des recherches d'ingénierie didactique (comme la technique consistant par exemple à faire émerger les connaissances des élèves dans un domaine précis en construisant ou imaginant des situations de message qu'ils envoient à d'autres qui doivent y répondre, l'utilisation de la phase de rappel avant chaque séance d'enseignement qui peut consister en une situation d'institutionnalisation (Cf. Guy Brousseau)). Notre démarche est moins empiriste, mais elle sera à la fois descriptive et interprétative dans une perspective constructive ; et les résultats de nos analyses ne pourront donc avoir une portée large, être extrapolés à d'autres situations ou contenus d'enseignement en sciences physiques. Ils sont à circonscrire en fonction des séquences d'enseignement que nous avons conçues et des élèves qui auront participé à l'expérience. Ils n'auront de ce fait qu'une valeur limitée, indicative et même prospective pour la compréhension des phénomènes d'enseignement et apprentissage des sciences.

Même si nous inscrivons notre recherche dans le cadre des recherches exploratoires et qualitatives, nous n'allons pas suivre à la lettre sa méthodologie⁶. En effet, compte tenu des objectifs qui sont les nôtres, nous allons surtout nous inspirer de la méthodologie de l'ingénierie didactique, surtout dans son option de ne pas offrir aux enseignants des situations d'enseignement prêts à utiliser, mais de leur permettre d'acquérir par expérience les outils didactiques pouvant leur permettre de tenir compte, dans chaque situation d'enseignement, des connaissances premières des élèves (savoirs d'expérience), des obstacles et erreurs, dans le but que les élèves construisent convenablement leurs connaissances, d'intervenir au cas par cas, à bon escient, pour permettre aux élèves faire évoluer leurs conceptions inadéquates ou de construire de manière autonome le sens de leurs connaissances, soit en jouant sur les variables de situation (variables de commande d'une situation didactique), soit en opérant des choix entre les situations possibles et en les organisant différemment dans la séquence didactique, soit en

⁵ L'ingénierie didactique est une méthodologie de recherche développée dans le cadre de la théorie des situations didactiques. En tant que technique de recherche, elle est le moteur de la progression didactique. Elle comporte quatre phases ; phase d'analyses préalables (analyse de trois cadre d'émergence, du fonctionnement et du développement d'un concept ou d'un savoir), phase de conception et d'analyse a priori des situations didactiques, phase de l'expérimentation et enfin la phase de l'analyse a posteriori et de la validation. Voir à ce propos Michèle Artigue (1988) *Ingénierie didactique*, dans J. Brun (1996) *Didactique des mathématiques*.

⁶ «La démarche complète de construction d'énoncés, écrit Van den Maren, comporte d'abord un mouvement inductif ou exploratoire qui vise à générer des hypothèses à partir des faits puis un mouvement déductif ou vérificatif ayant pour but de mettre les hypothèses à l'épreuve de nouveaux faits» (p.191).

modulant les contraintes temporelles et ses propres décisions et ses interventions dans le déroulement de la séquence didactique. L'ingénierie didactique, pourrait-on dire, en tant que méthodologie de recherche, décrit et analyse les effets de l'action didactique, d'une réalisation didactique en classe, produit un savoir didactique susceptible d'aider à résoudre, cas par cas, les problèmes concrets de l'enseignement⁷.

Si, en éducation les recherches ont toujours comme fonction de mieux décrire, comprendre, expliquer ou formaliser une situation éducative, pour les didacticiens, toute recherche crédible devrait non seulement aboutir sur la réalisation didactique en classe des séquences d'enseignement conçues conformément aux principes de la science didactique, mais surtout permettre une description et une analyse a posteriori des variables didactiques qui interviennent dans le déroulement d'une situation d'enseignement, des contraintes de situation spécifiques qui font fonctionner les connaissances, ou qui provoquent des adaptations adéquates ou malheureuses. L'ingénierie didactique se définit comme un processus de recherche qui s'intéresse à la préparation, à la réalisation et à l'analyse de situations didactiques. Elle a été originellement mise en place dans le but de faire fonctionner la dévolution, c'est-à-dire dans le but de redonner à l'élève le contrôle du sens des connaissances qu'ils construisent en situation de classe (L'élève est le constructeur de ses connaissances). L'ingénierie didactique, écrit Jean Portugais, a été imaginée en tant que moyen pour mettre en place, dans les meilleures conditions possibles, le contrôle du sens à travers les situations où l'on place les élèves. Elle ne se réduit pas à la méthode d'ingénierie, qui elle, poursuit-il, est la méthode de production expérimentale, pour la classe, de situations didactiques.⁸ Le véritable rôle de l'ingénierie didactique, ce n'est pas de théoriser sur les phénomènes d'enseignement et d'apprentissage comme le font les théories des situations didactiques (Brousseau), de la transposition didactique (Chevallard) et des champs conceptuels (Vergnaud), mais plutôt d'agir sur le système d'enseignement (Idem, p.29). Le but de notre recherche n'est pas de produire des situations didactiques pour l'enseignement de l'électricité.

⁷ Nous allons utiliser les instruments que préconisent la méthodologie de l'ingénierie didactique pour la préparation et la conception des séquences d'enseignement, pour leurs réalisations didactiques en situation de classe et pour l'élaboration des critères pour l'analyse des données. Même si notre travail ne suit pas à la lettre les étapes de sa méthodologie (analyse a priori, réalisation didactique et analyse a posteriori), toute sa conception s'inscrit dans sa philosophie de recherche et épouse en quelque sorte ses bases théoriques, à la fois constructivistes, interactionnistes et adaptationnistes. Comme méthode de recherche, l'ingénierie didactique vise la mise en évidence des mécanismes d'adaptation de l'élève à la situation d'apprentissage, des variables essentielles qui entrent en ligne de compte dans le processus d'adaptation, d'apprentissage.

⁸ Voir Jean PORTUGAIS (1995) *Didactique des mathématiques et formation des enseignants*. Berne: Peter Lang, pp.43-44

Certes, en réaction contre les recherches de type clinique et la difficulté d'appliquer leurs résultats à l'enseignement scolaire et de respecter la spécificité du système d'enseignement⁹, de plus en plus en didactique des sciences, les recherches tiennent à respecter le cadre général dans lequel se déroulent les enseignements, que ce soit au niveau de la lettre des programmes ou des objectifs fixés par ceux-ci. Ceci dans le but non seulement de mettre en évidence les contraintes générales qui pèsent sur le système didactique, sur l'enseignement et les modalités de l'apprentissage des sciences, sur le processus d'apprentissage, mais aussi et surtout afin de provoquer des apprentissages et un développement cognitif chez les élèves et de circonscrire la tâche de l'enseignant en situation d'enseignement. Notre recherche ne déroge pas à cette habitude qui vise à combler l'écart entre les discours pédagogiques et didactiques (ou connaissances théoriques acquises) et la pratique pédagogique mise en place dans le scolaire quotidien. Cependant, compte tenu des limites matérielles qui nous sont imposées et l'impossibilité de mener cette recherche avec une classe entière, notre recherche épouse la méthode des recherches cliniques. Elle ne concerne que quelques groupes d'élèves et elle se passera en dehors d'une classe normale. Nous formerons deux groupes d'élèves qui travailleront en même temps. Pour faciliter le travail de manipulation des outils, de construction des circuits et la possibilité d'échanger et de discuter entre pairs, chaque groupe sera composé de trois élèves. Nous prévoyons qu'un groupe sera composé des élèves ayant une moyenne élevée en science. L'autre groupe sera composé des élèves moyens. Un autre critère que nous pourrions utiliser, c'est celui d'avoir utilisé un ordinateur. On pourrait prendre un groupe avec des élèves ayant déjà travaillé avec un ordinateur et comparer leur performances avec ceux qui n'en ont jamais utilisé.

Comme on le voit, en didactique des sciences, on vise de plus en plus non seulement l'observation in situ des rétroactions de l'environnement d'apprentissage et les élèves, mais aussi à améliorer l'enseignement et à provoquer un apprentissage ou spécifiquement une progression cognitive décelable à travers la capacité des élèves à construire de nouveaux concepts scientifiques et de leur donner sens, et d'appréhender sans trop de peine de nouveaux objets conceptuels. Les recherches en didactique se sont concentrées, ces derniers temps, sur la réalisation didactique (entendu, en classe) de séquences d'enseignement (où il y a une

⁹ On n'est pas sans oublier les impasses auxquelles ont conduit les applications massives des recherches en psychologie du développement intellectuel à l'enseignement scolaire, comment les résultats de ces recherches ont été pendant des années normatifs de l'enseignement. Il y a eu transfert de montages expérimentaux et de la méthode propre à l'entretien clinique, à la psychologie génétique, à des propositions didactiques et dans de situations didactiques. Ainsi, on a détourné les expériences qui n'avaient de sens que réunies entre elles selon un plan expérimental, destinées à trancher observer la genèse de la connaissance, et on les a utilisées dans l'enseignement pour expliquer la genèse didactique, pour produire la progression cognitive et la formation des structures opératoires. Ainsi ces recherches ont conduit à l'oubli des contenus d'enseignement et des questions relatives à la transformation des connaissances, qu'elle soit le fruit de l'école ou du fait de la transmission culturelle des savoirs.

intention manifeste d'enseigner), et ont rompu les amarres avec la prétention de faire de la recherche pour les acteurs du système d'éducation, en leur nom et place. Car la distance qu'exige une démarche scientifique, tirée du modèle positiviste expérimental ou statistique, ne permet pas toujours de donner des résultats transférables et généralisables en situation scolaire, ou pouvant provoquer de changement de pratique éducative parce que justement elles se font en dehors de contraintes réelles d'organisation d'une classe ou d'une leçon.

On l'a dit, la méthodologie de notre recherche s'apparente quelque peu aux méthodes utilisées dans la recherche exploratoire monographique, qui consistent dans les études de cas ou des études cliniques¹⁰. Elle ne s'inscrit pas dans la perspective des recherches évaluatives, dont la finalité est la légitimation d'un outil ou d'une pratique éducatif, mais plutôt dans le cadre des recherches exploratoires inductives. Comme c'est qualitativement que nous traiterons les données qui seront en l'occurrence les productions orales ou écrites des élèves, notre stratégie d'induction ou de validation de nos hypothèses sera plutôt monographique que statistique. Notre stratégie pour interpréter les données tirées de la réalisation didactique, des effets observés de la réalisation didactique des séquences d'enseignement utilisera la stratégie de l'analyse a posteriori de l'ingénierie didactique. Nous reviendrons sur les questions de recherche et les concepts tirés de la psychologie cognitive, de l'épistémologie et de la didactique qui nous ont permis de concevoir les séquences d'enseignement et les théories qui nous ont autorisés de les réaliser didactiquement, et nous nous demanderons s'ils sont en accord avec nos analyses a posteriori c'est-à-dire nos interprétations des observations ainsi faites. Nous nous demanderons aussi si ces questions de recherche nous aident à analyser ces observations, si elles nous permettent de les expliciter ou tout simplement d'éclairer le déroulement et l'organisation des situations dans une séquence d'enseignement. En cela, pensons-nous, nous sommes proches des recherches menées en didactiques des sciences par les didacticiens modernes comme Astolfi, Giordan, Martinand et Samuel Johsua, qui conseillent l'utilisation des situations-problèmes si l'on veut provoquer le développement cognitif, susciter des raisonnements sur le plan cognitif, bref une évolution conceptuelle.

Opérationnalisation de la recherche

¹⁰ Les études de cas sont des recherches qui tentent de mettre en évidence des traits généraux, sinon universels, à partir de l'étude détaillée et fouillée d'un seul cas, qu'il s'agit d'un individu ou d'une situation. Partant du postulat que tous les êtres humains possèdent une même nature, il serait possible de découvrir ce qui en est le propre en deça du vernis particulier dû aux différences individuelles et culturelles. Comme l'éducation des enfants est un phénomène universel, chaque cas d'éducation d'un enfant ou d'un groupe d'enfants serait susceptible de fournir des informations précieuses sur ce qu'est l'éducation en général, et sur le rapport de l'éducation aux individus et aux cultures particulières. (Voir Van der Maren, idem, p.198)

Étant donné notre méthodologie, nous allons chercher à décrire et analyser les effets des séquences d'enseignement et d'apprentissage organisées autour des situations construites avec l'aide du logiciel *physicor* et des activités fonctionnelles, de résolution de problèmes et de structuration. Nous considérerons les activités d'apprentissage que propose *physicor* comme des activités fonctionnelles, comme des activités d'introduction. Notre première tâche, la plus importante, sera concevoir quelques situations d'apprentissage cibles, accessibles aux élèves, adaptées à leur niveau cognitif intégrant l'outil et les atouts de la démarche ExAO et la démarche didactique qui promeut la résolution des problèmes. Autour de ces situations d'apprentissage, nous construirons des séquences d'enseignement qui définiront le déroulement des activités et des tâches que les élèves accompliront. C'est le premier défi que nous devons relever, car de lui dépend tout le travail ultérieur.

Comme seconde tâche, nous choisirons quelques élèves d'une école (6 élèves), qui n'ont pas encore eu le cours d'électricité, car il s'agit d'une recherche qui vise la genèse artificielle des connaissances, plus spécifiquement des notions de courant et de tension électriques (Il s'agira des élèves de deuxième ou troisième année du secondaire, dont l'âge est entre 14 et 15 ans).

Une autre de nos tâches consistera à décrire le fonctionnement didactique et cognitif, à évaluer, à partir des traces des entretiens ou des confrontations entre pairs, la progression intellectuelle des élèves, puisque nous pensons que ces situations problèmes permettront d'observer l'émergence de certaines conceptions inadéquates «ou erronées», l'avènement d'un changement ou dérangement conceptuel prélude à une véritable construction des concepts scientifiques. Ainsi donc tout en cherchant à confirmer notre hypothèse principale, selon laquelle une démarche d'apprentissage intégrant les atouts de l'ExAO dans la construction des situations et des séquences d'enseignement qui engagent les élèves dans une démarche active de résolution de problèmes a de fortes chances de permettre des apprentissages scientifiques, de susciter chez les élèves une assez grande motivation en vue d'apprendre, nous nous efforcerons de faire ressortir les phénomènes d'enseignement ou d'apprentissage que notre hypothèse produit. Cette expérience nous permettra de dégager quelques indices pouvant contribuer à la préparation des situations d'apprentissage et à maîtriser les variables de commandes qui interviennent dans les transformations de connaissances dans une situation d'enseignement, lorsqu'on veut rendre les élèves producteurs de sens de leurs connaissances.

Concrètement, nous allons procéder comme suit :

Premièrement, la conception des séquences d'enseignement ; ici nous allons préciser les concepts et les théories auxquels nous allons nous référer. Nous justifierons aussi nos choix de

situations. Une partie des situations de ces séquences seront conçues de manière a priori, d'autres seront conçues en pleine réalisation didactique de ces séquences, ou après selon les difficultés que vont rencontrer les élèves, et les conceptions naïves ou inadéquates qu'il faudra déranger et faire évoluer par la suite. Nous optons pour que les situations d'enseignement que propose Physicor fassent l'objet de notre première séquence d'enseignement. Avec elles, nous allons introduire les élèves à l'environnement ExAO, à l'utilisation des appareils de mesure et à la construction des schémas électriques.

Deuxièmement ; la réalisation didactique de la série des situations d'apprentissage. Les deux groupes de trois élèves réalisent les circuits tels que le leur propose Physicor. Ensuite, nous les confronterons à des situations problèmes qui les obligeront à faire ressortir leurs conceptions par rapport à l'électricité, les représentations qu'ils se font de la notion du courant électrique et du potentiel électrique. Ce que nous cherchons, c'est, par dévolution, faire construire par les élèves ces notions très importantes de l'électricité. Nous analyserons les réponses des élèves et essayerons de spécifier pour chaque élève ou groupe les représentations et les obstacles qui s'y réfèrent, en nous servant justement des recherches de Johsua sur les représentations courantes des élèves en électricité comme des analyses préliminaires (Voir analyse a priori Ingénierie didactique). Le but de chaque activité est de mettre les élèves devant un problème qui requiert pour être résolu la mobilisation des savoirs acquis en situation lors de la confrontation avec les situations prévues par ExAO. Chaque activité ou situation problème sera bâtie de telle sorte qu'elle puisse donner force à un obstacle cognitif ou épistémologique, ou une difficulté que nous aurons découverte a priori. Nous serons à cet effet attentifs à tous les bagages ou compétences conceptuels auxquels les élèves doivent se référer pour résoudre les situations problèmes (les savoirs des élèves ou théories de transition).

Ce sera dans deux directions différentes que nous pourrons rendre compte des effets de l'enseignement ou de la rencontre des élèves avec ces situations : l'organisation des séquences d'enseignement, les réponses des élèves, le niveau des interventions de l'enseignant et le sens véritable de ses choix didactiques. La méthodologie de cette recherche nous oblige à tenir compte de ce qui aura bien fonctionné ou pas. Ce sera un critère qui nous permettra de décrire les cas en vertu desquels on pourrait dire que la conjonction de l'approche de la technologie éducationnelle et de la didactique des sciences améliore les enseignements et les apprentissages en électricité, pour certains élèves, et sous certaines conditions pour d'autres.

Nous décrivons aussi les situations où les connaissances n'ont pas fonctionné, ce qui nous a poussés à les transformer si cela a été fait. En annexe, nous donnons un aperçu des activités

d'apprentissage qui constitueront l'ossature de notre expérimentation, un aperçu de la manière dont se dérouleront les séquences d'enseignement.

Les instruments de recherche ou les outils de cueillette d'informations que nous utiliserons sont ordinaires et se composent principalement :

- Des situations problèmes qui sont comme des questionnaires auxquels les élèves sont appelés à répondre individuellement d'abord dans leurs cahier, puis collectivement après. Peut-être pour bien interpréter les réponses des élèves, nous terminerons par une sorte de mini-entrevue finale. Pour concevoir les situations-problèmes nous allons nous inspirer des obstacles épistémologiques ou didactiques tels que développés par Bachelard et Brousseau, ainsi que des recherches que Johsua a menées sur les représentations des élèves sur les phénomènes du courant continu¹¹
- Enregistrement sonore des entrevues et des réactions des élèves pendant le débat et la résolution des problèmes en groupe (On pourrait identifier cette étape à la situation de formulation et de validation de la théorie des situations didactiques). Nous serons ainsi attentifs à tous les indices qui pourraient être des révélateurs ou indicateurs des mécanismes et des processus cognitifs de changement conceptuel en cours chez les élèves.
- Méthode papier-crayon pour permettre aux élèves d'exprimer soit en schéma soit par des figures ce qu'ils conçoivent mentalement, ainsi que de répondre aux situations-problèmes de telle sorte que nous puissions être en mesure de suivre leur raisonnement, leur progression cognitive dans les tâches qu'ils exécutent.
- verbatim ou journal de bord (journal personnel pour favoriser la réflexion sur les connaissances acquises et les difficultés rencontrées) où les élèves consigneront leurs réflexions, questions et connaissances nouvelles.

¹¹ JOHSUA, S. (1983) «La «métaphore du fluide» et raisonnement en courant», dans *Recherche en didactique de Physique*. (Collectif)

JOHSUA, S., et J.-J. DUPIN. (1989) *Représentations et modélisations : le «débat scientifique» dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne : New York, Peter Lang.

JOHSUA, S. (1982) *L'utilisation du schéma en électrocinétique ; aspects perspectifs et aspects conceptuels. Propositions pour l'introduction de la notion de potentiel en électrocinétique*. Thèse de troisième cycle, Université d'Aix-Marseille II

5. Recherche sur terrain et interprétation des résultats

5.1 Contexte de la recherche et préalables : description du profil des élèves

Notre recherche concerne les élèves qui ont déjà terminé le premier degré du secondaire, et pour lesquels le programme ne prévoit pas de cours de l'électricité, puisque il est question de la genèse artificielle des connaissances et en occurrence de la construction des notions de courant et de tension électriques. Comme pour utiliser les situations d'apprentissage proposées par l'EXAO, les élèves doivent savoir utiliser un ordinateur, notre premier souci était d'organiser des séances d'initiation à l'informatique et à l'utilisation d'un ordinateur. Etant donné la disponibilité des élèves et l'aménagement du programme scolaire, ces cours d'initiation, nous les avons donnés pendant ce que nous appelons dans les pays tropicaux « les grandes vacances », qui commencent au mois de juillet et prennent fin au mois de septembre. Compte tenu de moyens de transport difficiles Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo, nous avons seulement sollicité les élèves qui habitent les environs du collège où nous enseignons et qui s'engagent à être réguliers aux cours. Dix élèves se sont inscrits librement, et tous les dix ont profité de cette initiation et donc tous les dix étaient après nos séances capables d'être autonomes dans l'utilisation de l'ordinateur. Nous devons préciser que tous les élèves sont en troisième section scientifique.

De ces dix, nous avons formé deux groupes de trois personnes, selon les affinités et ceux dont les parents ont signé les premiers les formulaires de consentement¹². A ces six élèves nous avons expliqué notre projet de recherche et ce que nous attendions d'eux. Mais avant cela, je leur avais donné un formulaire de consentement à remettre à leurs parents, suivant le modèle proposé par le guide d'éthique pour la recherche avec des sujets humains¹³. Ce qu'ils ont fait, même si certains parents sont venus nous demander des explications supplémentaires pour avoir le cœur net, comme on dit.

Devant respecter les heures de cours telles que planifiées par les responsables de l'école, il ne nous restait qu'à prendre sur le temps libre des élèves. Autrement dit que cela ne s'est pas fait de manière continue. Les élèves travaillaient parfois une fois par semaine ou deux fois par mois; parce qu'il fallait qu'ils ne négligent pas le cursus normal des enseignements. Comme notre

¹² Nous n'avons retenu que six élèves des dix préalablement choisis pour deux raisons simples. La première, c'est que nous avons remarqué qu'à trois les échanges entre élèves se faisaient beaucoup plus facilement. Il en est de même des manipulations qu'ils avaient à réaliser avec l'ordinateur. La seconde raison, c'est que nous pensions que les résultats de notre recherche ne seront pas affectés que l'on ait deux ou trois groupes d'élèves. Nous avons donc opté pour la simplicité, et non la facilité.

¹³ MAINVILLE Suzanne, L'éthique de la recherche avec des sujets humains. Université de Montréal, mars 1996.

système d'enseignement forme plutôt des têtes bien pleines que des têtes bien faites, le programme des cours est très surchargé.

5.2 Chronologie des événements ou déroulement de l'expérimentation

Aussitôt que les élèves pouvaient être autonomes dans l'utilisation de l'ordinateur, et aussitôt que nous les avons initiés au fonctionnement de Physicor, nous avons jugé qu'il fallait commencer la recherche et les manipulations. Nous avons d'abord expliqué le but de la recherche; ce que nous attendions de leur part. A chaque élève, nous avons offert un cahier où il pouvait consigner ses remarques et ce qu'il pouvait considérer comme nouvel acquis.

Nous avons tout fait pour avoir une salle où les élèves avaient facilement accès. Il n'avait pas de programme fixé d'avance, mais les trois devaient se consulter chaque fois qu'ils voulaient travailler. Ils venaient seulement me demander la clé de la salle et pouvaient vaquer à leurs activités sans ma présence.

Les consignes étaient claires : les élèves devaient réaliser des montages tels que demandés et présentés par Physicor. Pour cela, ils devaient savoir traduire le schéma électrique en montage réel, en utilisant des capteurs jouant le rôle du voltmètre et de l'ampèremètre. Heureusement, cette difficulté est contournée par les concepteurs de Physicor et d'Orphy parce qu'ils ont prévu sa visualisation en mode quasi réel. Il suffit que les élèves cliquent dans un coin pour que Physicor lui indique avec des couleurs comment ils réaliseront le circuit. Ceci est nous semble-t-il, un des avantages de l'EXAO, en tout cas en ce qui concerne l'apprentissage de l'électricité par rapport au cours et laboratoire classiques d'électricité. Il n'y a pas à expliquer aux élèves comment on réalise concrètement un circuit électrique à partir d'un schéma symbolique. Ils l'apprennent en faisant, par imitation.

Les élèves devaient réaliser les cinq ou six circuits qui composent chaque module. Ils pouvaient enregistrer les résultats obtenus pour faire des comparaisons, ou y revenir si besoin était. Six modules concernaient notre projet de recherche (voir annexe 8). Il s'agit du module sur :

1. Mesure de l'intensité d'un courant électrique
2. Intensité du courant dans un circuit série
3. Intensité d'un courant dans un circuit avec dérivation
4. Mesure d'une tension aux bornes d'un dipôle

5. Répartition des tensions dans un circuit série
6. Répartition des tensions dans un circuit avec dérivation

Au total donc, une vingtaine des circuits que les élèves ont réalisés et observés.

Nous n'avons pas voulu revenir sur chaque module initialement, mais nous avons voulu attendre que les élèves aient tout terminé pour commencer la deuxième partie de cette recherche qui consistait à soumettre les mêmes élèves devant des situations problèmes tirés en grande partie de travaux de S. Johsua et de Pierre Fillon pour voir s'ils ont compris, s'ils ont construit des concepts de tension et de courant électrique à partir des manipulations faites et de leurs observations, et s'ils sont capables de prédire le comportement du courant dans n'importe quel circuit. C'est ici où en comparaison avec d'autres études sur les conceptions naïves que les élèves se font de l'électricité, nous pourrions tirer des conclusions didactiques sur la pertinence de l'outil *physicor* dans l'enseignement et l'apprentissage des sciences, et pourquoi pas de l'approche de l'enseignement de la physique basée sur l'expérimentation assistée par ordinateur.

Dès que les élèves avaient terminé les six modules d'électricité prévus, c'est alors que nous les avons confrontés à cinq petites situations-problèmes dont le but était de voir s'ils ont compris ce qu'ils faisaient ou si à travers les manipulations faites et les observations réalisées, ils ont appris quelque chose et si ce qu'ils ont appris correspond au savoir savant, ou bien ils restent au niveau des conceptions naïves parce qu'incapables de franchir les obstacles épistémologiques et cognitifs propres à la compréhension de l'électricité. Ce qui aurait comme effet que cette démarche est insuffisante pour l'apprentissage des concepts de la physique, ou tout au plus à compléter.

Le but des situations problèmes est de provoquer les élèves pour qu'ils montrent qu'au contact de l'environnement Orphy, ils ont construit ou acquis des connaissances nouvelles, qu'ils peuvent les mobiliser pour résoudre des situations simples. En analysant les réponses des élèves à ces situations problèmes, nous pourrions arriver à prouver si cette confrontation à des situations (fonctionnelles) d'apprentissage qu'a constitué pour eux *physicor* est porteur de promesses. Dans les faits, nous voulons savoir si les élèves ont effectivement construit les concepts scientifiques de courant et de tension électriques au contact de *physicor*.

Il faudrait préciser d'emblée que le choix de ces situations problèmes a été opéré en suivant les mécanismes d'élaboration des conceptions naïves fréquentes chez les élèves (Thouin, 1996, pp.52-53). Autrement dit, à travers ces situations problèmes, les élèves seront amenés à

dépasser les conceptions non scientifiques pour construire des concepts scientifiques et viables. Les deux premières situations problèmes, nous les avons conçues comme des questions déclencheurs ou amorces des situations problèmes.

Première situation-problème proposée.

- a) Comment est monté le circuit de 5 ampoules qui continuent d'être allumées même si l'une d'elles se brûle ?
- b) Comment doit-on monter un circuit de 5 ampoules qui ne s'allument plus dès qu'une seule d'entre elles est brûlée ?

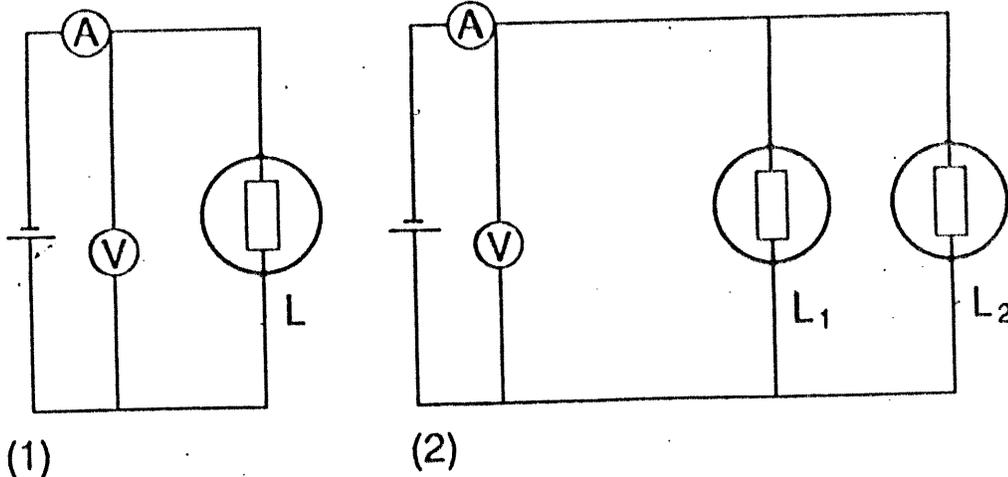
Deuxième situation problème proposée (tirée des travaux de S. Johsua)

Dites ce que vous pensez des phrases suivantes:

- a) Une pile délivre le même courant quelque soit le circuit.
- b) Une pile délivre la même tension électrique quel que soit le circuit.

Troisième situation problème proposée (Tirées de travaux de Pierre Fillon)

Dans les deux schémas électriques suivants, tous les éléments sont identiques (piles ampoules, voltmètre, ampèremètre) (tirée des travaux de S. Johsua)

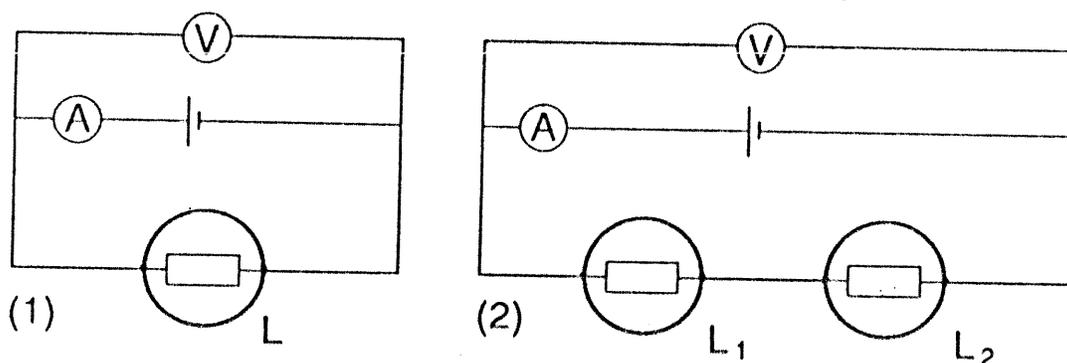


Que pensez-vous des phrases suivantes :

1. La tension mesurée par le voltmètre V aux bornes de L1 et L2 sont égaux
2. La tension mesurée par le voltmètre V aux bornes de L1 et L2 sont plus faibles que celle mesurée aux bornes de L
3. L'intensité du courant mesurée par l'ampèremètre A est la même dans les deux montages

Quatrième situation problème proposée

Dans les deux schémas électriques suivants, tous les éléments sont identiques (piles, ampoules, ampèremètre, voltmètre) (tirée des travaux de S. Johsua)

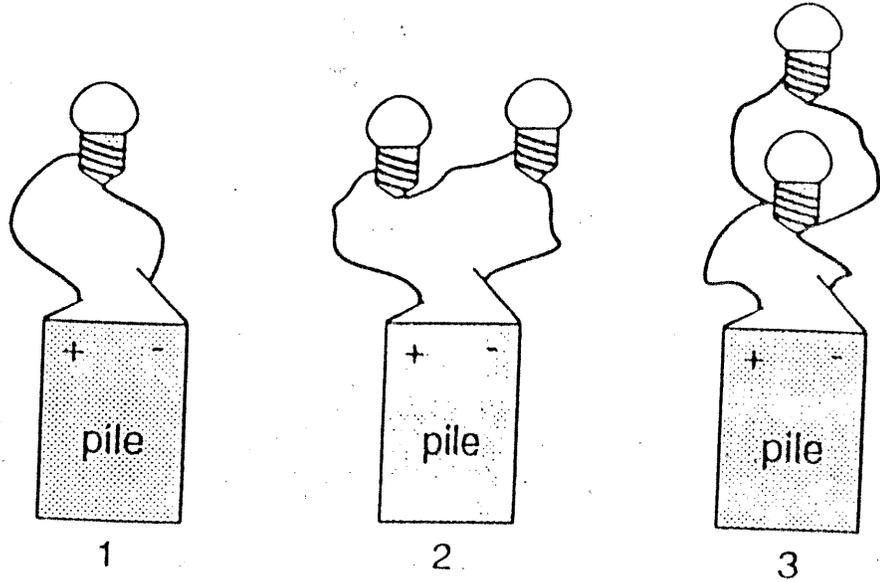


Que pensez-vous des phrases suivantes :

1. Le voltmètre mesure la même tension dans le circuit 2 et dans le circuit 1
2. L'intensité mesurée par l'ampèremètre A est la même dans le circuit 2 et dans le circuit 1

Cinquième situation problème proposée

Dans les trois situations suivantes, les ampoules et les piles sont identiques.



Dans les deux phrases suivantes, remplacez les pointillés par : plus, moins ou pareil

1. L'ampoule de la situation 1 brille.....que celles de la situation 2
2. L'ampoulé de la situation 1 brille que celles de la situation 3

5.3 Analyse des données, interprétation et synthèse des résultats de la recherche

Les données nous les avons recueillies dans le cahier de bord de chaque élève, là où chacun inscrivait ses réactions, ses questions ou ses acquisitions; là où les élèves inscrivaient les réponses aux questions individuelles que nous leur avons posées après qu'ils aient terminé de construire les circuits proposés par physicor.

En ce qui concerne le débat, nous avons transcrit les enregistrements audio que nous avons réalisés. C'est ce qui constitue les données les plus importantes sur lesquelles notre interprétation se construit. Nous avons aussi utilisé le cahier de bord dans lequel les élèves transcrivaient les résultats et les réflexions suscitées par leurs expériences. Il faudrait ajouter que tous les six élèves n'ont pas utilisé ce cahier avec profit et de la même façon. Quatre n'ont pas compris ce que nous leur avons demandé. Nous nous demandons si notre consigne était clair pour tous. Deux ont pu griffonner quelque chose et inscrire l'un ou l'autre résultat de leur expérience.

L'analyse des données se fait en fonction de notre problématique et de nos hypothèses de recherche. Sur ce point, du seul fait d'avoir laissé travailler les élèves en totale autonomie dans un premier temps nous évitons le risque de porter deux casques, d'enseignant et de chercheur et de fausser nos interprétations. Nous n'étions pas dans une salle de classe et les élèves travaillaient quand bon leur semblait. Ce qui fait que nous ne ferons pas d'analyse des interactions didactiques concernant l'enseignant, les élèves et la situation proprement dite.

Analyse et interprétation de la première situation problème :

Cette situation problème veut que l'élève mobilise ce qu'il a appris de l'électricité au contact avec les activités d'EXAO. Les élèves doivent réfléchir; ils doivent faire appel aux notions de courant (intensité) et de tension. S'ils n'ont pas maîtrisé ces notions, et s'ils raisonnent faux, ils resteront dans le registre des fausses représentations dont Samuel Johsua a déjà fait le catalogue, en ce qui concerne l'électricité.

Par cette situation problème, nous voulons vérifier si les élèves ont appris quelque chose en électricité, en tous cas ce qui est élémentaire; et si ce qu'ils ont appris peut les aider à résoudre un certain nombre des situations problèmes, sans recourir à des raisonnements spontanés qui recèlent des représentations naïves, preuve du refus de franchir les obstacles épistémologiques qui se dressent devant eux.

L'obstacle ici, c'est de savoir distinguer un circuit série d'avec un circuit parallèle. Cette distinction ne va pas de soi, même si les élèves ont eu à les construire plusieurs fois et à les visualiser à l'écran de l'ordinateur grâce à Orphy. Elle requiert de l'élève une maîtrise des concepts du courant électrique et de la tension; une maîtrise du comportement des phénomènes électriques. Autrement dit, il s'agit de savoir si l'EXAO a la capacité d'aider les élèves à construire des concepts scientifiques adéquats, parce que les manipulations et son approche permettent aux élèves de franchir sans problèmes les obstacles épistémologiques, qui poussent les élèves à se réfugier dans les représentations ordinaires et naïves, croyant que c'est scientifique.

Nous devons distinguer les résultats par individu et par groupe. Quand je parle de groupe, ce que nous avons repris les situations-problèmes une à une, et nous avons engagé un débat entre les trois élèves et moi pour voir si dans la confrontation des idées, il y a évolution des connaissances, il y a construction des connaissances adéquates. Le souci ici étant de vérifier si les situations-problèmes et le débat qu'elles suscitent concourent au franchissement des obstacles rencontrés et de façon corollaire à l'évolution chez les élèves des connaissances scientifiques.

En ce qui concerne cette première situation problème; individuellement, nous avons remarqué que trois des six élèves ont des problèmes pour distinguer un circuit en série d'un circuit en parallèle et ses caractéristiques, et pourtant, parmi les six modules, deux ou trois traitent de ces caractéristiques. Même si la moitié a répondu comme il faut, lorsqu'on leur demandait pourquoi, ils tâtonnaient en donnant des réponses approximatives du genre et seul un élève parvient à donner une réponse satisfaisante, pour les deux réponses aux sous-questions qui composent la première situation problème. Schémas à l'appui, cet élève a montré que pour le circuit série, dès que une ampoule brûle, le circuit devient ouvert. Pour les cinq ampoules qui restent allumées même si une d'elles venait à brûler, cet élève est allé jusqu'à montrer comment cela n'affectera pas les autres ampoules si le circuit est en parallèle. Le circuit restera fermé.

Sur ce point voyant que cet élève a bien compris, nous avons voulu l'amener plus loin en lui demandant si l'intensité du courant restera constante dans les autres branches du circuit, si l'intensité qui traverse chaque ampoule restera constante si, dans un circuit parallèle, une ampoule venait à se briser, à brûler. Cet élève répondra que le courant restera constant dans chaque branche, ce qui n'est pas vrai. En fait, ce problème demande une élaboration plus approfondie. Et nous n'avons pas voulu aller plus loin, car les situations problèmes qui suivent allaient aider l'élève et les autres à y revenir et à construire leurs conceptions sur des bases solides.

Comme on le voit, après l'utilisation de physicor, les élèves ont du mal à distinguer les deux types de circuit électrique élémentaire et à distinguer les caractéristiques propres à chacun. Ils ont certes appris des choses, mais ils n'arrivent pas à mobiliser leurs nouvelles acquisitions pour résoudre cette situation problème.

Lorsque nous avons repris les élèves en groupe et avons reposé la même question, le débat a permis aux élèves de voir leurs erreurs, surtout que nous leur permettions de refaire les expériences avec Physicor, avec mesure à l'appui. Ceci a l'avantage que nous ne restions pas au niveau de la discussion, la preuve expérimentale amenait les élèves à dépasser les obstacles et à se convaincre de la véracité de ce qu'on avançait. Ceci permettait que nous n'intervenions pas beaucoup dans le débat. Le sentiment des élèves est que cette manière de faire les aide beaucoup à comprendre les erreurs qu'ils commettaient, et ainsi ils pouvaient se faire une bonne représentation des phénomènes électriques.

En effet, avec physicor, le cheminement va de la visualisation du circuit à l'écran à sa réalisation; et puis on observait les mesures réalisées par les capteurs ampèremètre et voltmètre. Attitude que nous pouvons déjà apprécier parce qu'elle relève d'une attitude typiquement scientifique.

Raison de ce résultat médiocre 2/6 élèves : il nous semble que nous avons laissé beaucoup de temps entre la fin du travail des élèves et la confrontation aux situations problèmes. De même que le fait d'avoir laissé les élèves travailler tous les modules avant qu'on revienne sur leurs acquisitions pourrait justifier le tâtonnement constaté. S'il nous était permis de continuer cette recherche, nous pourrions comparer un groupe qui aurait travaillé tous les modules et l'autre qui aurait travaillé module par module.

Une autre hypothèse pourrait être émise, mais il faudrait la confirmer ou l'infirmier auprès des élèves, c'est l'impact de l'ordinateur sur le processus d'apprentissage des élèves; une question d'habitude. Pourquoi les élèves n'arrivent pas à tirer des informations utiles de toutes les manipulations qu'ils ont réalisées ? Ce n'est pas parce qu'ils n'ont pas compris, encore moins parce qu'ils n'étaient pas motivés. La raison pourrait être ailleurs, mais où ? Signalons ici que les élèves sont familiarisés avec les notions de circuit série et circuit parallèle. C'est au niveau des caractéristiques propres et opératoires que le problème réside. Les autres situations problèmes vont nous permettre peut-être d'approfondir cet aspect.

Analyse et interprétation de la deuxième situation problème

1. 5 élèves sur 6 ont répondu qu'une pile délivre le même courant quel que soit le circuit. Ceux-ci ont semblé être sûrs de leurs explications. Celui qui a répondu qu'une pile ne délivre pas la même quantité de courant dans tous les circuits n'a pas fourni une explication convaincante. Il a semblé construire son explication sur le comportement du courant électrique dans un circuit en parallèle. Ce qui n'est pas exact.

Il semble, selon Johsua, que cette réponse relève d'une tendance des élèves à développer et à systématiser l'unicité du courant dans un circuit série au courant débité par la pile quel que soit le circuit. Il n'y a pas à proprement parler une méconnaissance des caractéristiques du circuit parallèle; au contraire, cela est dû du fait que les élèves raisonnent spontanément en termes de courant, rarement en terme de tension car très souvent le concept électrique de tension n'est pas opératoire. Sur ce point, il y a lieu de dire que la démarche de Physicor et d'EXAO n'apporte rien de substantiel, car comme on le voit, les élèves raisonnent comme dans les situations d'apprentissage ordinaire, en termes de courant; ce qui les amène à envisager la pile comme un générateur à courant constant et non comme un générateur à tension constante. Ce raisonnement est porté par une représentation qui suppose un épuisement du courant. Nos élèves sont comme les autres; ils recourent en majorité au raisonnement en courant pour expliquer les phénomènes électriques et résoudre les problèmes qui leur sont posés. Selon Johsua, ce raisonnement ou cette représentation ne peut évoluer, ne peut être surmonté que si le concept d'énergie est introduit avant le cours d'électricité. Il semble aussi que la perdurance de cette représentation s'explique aussi par le type de situation que les professeurs proposent aux élèves où le courant débité par la pile est une donnée constante. S'il en est ainsi dans la pratique de l'enseignement usuel de l'électricité, il faut tout de même dire que notre situation problème ne suppose pas que le courant est constante; c'est une question générale. Qu'est-ce à dire alors ? Selon nous, même si les élèves utilisent un raisonnement en courant et cela spontanément, il n'en demeure pas moins qu'ils n'en maîtrisent pas tous les aspects, qu'ils n'en tirent pas toutes les conséquences.

2. A la question de savoir si une pile délivre la même tension électrique quel que soit le circuit, 4 ont répondu « vrai » et 2 « Faux ». Cette question a semblé être la plus facile de toutes. Certainement parce que les manipulations et les circuits que les élèves avaient réalisés utilisaient une ou des piles à tension constante (6V). Deux ont quand même répondu à côté, malgré ce que la pratique peut facilement indiquer, suggérer. Mais ces deux élèves ont dû reconnaître leurs erreurs et après discussion et retour sur les manipulations, ils en sont

venus à accepter qu'une pile est un générateur de tension constante. Il y a tout de même ici une petite preuve que le contact avec ExAO peut permettre de surmonter quelques petits problèmes de visualisation, de lecture et de figuration.

Analyse et interprétation de la troisième situation problème

Le but de cette situation problème est de revenir autrement sur la deuxième situation problème.

1. A cette question, tous les élèves ont répondu par la positive
2. Ici, par contre deux élèves ont ressenti des difficultés pour répondre à cette question. Les quatre autres ont répondu que la tension mesurée par le Voltmètre V aux bornes de L1 et L2 ne sont pas plus faibles que celle mesurée aux bornes de L. Elles sont égales
3. Tous les élèves ont répondu positivement, à l'affirmative en disant que l'intensité du courant mesurée par l'ampèremètre A est la même dans les deux montages. Autrement dit que tous les six élèves continuent de penser que la pile débite toujours le même courant.

Comme on le pressent déjà, Physicor ne permet pas une meilleure construction et compréhension des phénomènes électriques. Les élèves manipulent, s'exercent à réaliser des circuits demandés, mais on ne voit pas son apport sur la façon de raisonner des élèves. Nos élèves qui ont utilisé physicor n'ont pas les scores meilleurs que ceux qui utilisent les situations classiques en électricité.

Analyse et interprétation de la quatrième situation problème

Cette situation problème est semblable à la troisième, avec cette différence que nous avons pour le deuxième montage un circuit série.

1. Deux élèves sur six ont répondu à l'affirmative que le Voltmètre V mesure la même tension dans les deux circuits (1) et (2). Quatre élèves ont été perturbé par la présence d'un circuit en série. La difficulté pour ces quatre élèves provient de l'incapacité de savoir utiliser un voltmètre et son emplacement dans un circuit pour mesurer la tension aux bornes d'un élément du circuit. Et pourtant beaucoup de modules de Physicor proposent des schémas où on utilise et le voltmètre et l'ampèremètre.
2. Tous les six répondent à l'affirmative que l'intensité mesurée par l'ampèremètre A est la même dans le circuit 2 et dans le circuit 1. La raison est simple ici, c'est que, comme l'a déjà démontré Johsua, les élèves comprennent vite et c'est pourquoi ils l'utilisent à toutes les

sautes l'unicité du courant dans un circuit série. Il est difficile ici, à notre sens, d'évaluer l'impact des exercices fonctionnels proposés par physicor

Analyse et interprétation de la cinquième situation problème

La dernière situation problème revient sur l'obstacle qui fait que les élèves prennent une pile comme un générateur à courant constant. Il s'agit spécialement ici de voir comment les élèves peuvent surmonter cet obstacle.

1. Les six élèves reconnaissent que l'ampoule de la situation 1 brille plus que celle de la situation 2. Ce score est de loin supérieur au score des autres travaux sur les mêmes exercices. Est-ce que les élèves connaissent bien cette situation. En tout cas, quelque chose est inquiétant.
2. Par contre tous les 6 élèves pensent que l'ampoule de la situation 1 brille plus que celles de la situation 3. Cette méprise, cette erreur est due à la présence du circuit en parallèle qui n'est pas bien connu par les élèves. Comme on le sait, et cela reste une constante chez beaucoup d'élèves, ceux-ci pensent que le pile délivre un courant constant quelque soit le circuit, donc dans celui-ci ce courant se partage entre les deux ampoules. Dans les débats et avec le retour à l'expérimentation, les élèves parviennent à se faire une idée exacte de ce qui se passe dans les circuits électriques.

5.4 Retour sur la problématique et conclusion personnelle.

Pour pouvoir nous prononcer sur la pertinence de notre recherche, des résultats recueillis et de nos analyses, il convient de revenir sur les points essentiels de notre problématique et de montrer que nous avons été en accord avec nos questions et hypothèses de recherche. Nous partions sur le constat d'échec de l'enseignement classique de la physique et de l'importance ou de l'urgence de chercher d'autres voies et moyens pour aider les élèves à pouvoir franchir sans problèmes les obstacles épistémologiques liés au savoir scientifique lui-même et à évoluer dans ses conceptions, ses représentations. Cette évolution serait le signe d'un rejet réel des représentations spontanées ou naïves qu'ont les élèves sur les objets précis du savoir scientifique et d'une construction de concepts scientifiques appropriés, adéquats en suivant la logique scientifique. Bref, la question c'était « que faire pour lutter contre les échecs et la survivance des représentations inadéquates après que les élèves soient passés par les cours des sciences ? » Quelle démarche utiliser pour arriver à cette fin ? A ce propos nous avons pensé qu'une approche complémentaire conjuguant l'approche de la technologie éducationnelle et celle de la didactique des sciences pourrait nous aider à répondre à ce défi.

Sans vouloir répondre à toutes les questions secondaires et subsidiaires, nous sommes allés droit au but en cherchant à savoir si effectivement cette approche complémentaire était plus percutante que l'enseignement classique. De ce point de vue, avec les résultats que nous avons recueillis, nous sommes en mesure de le confirmer partiellement. En tout état de cause, nous ne pouvons pas conclure de manière nette qu'après nos activités de recherche, les 6 élèves, en comparaison avec des études classiques, ont construit les notions de courant et de tension exemptes de relents de représentations naïves ou de raisonnements spontanés.

Les réponses aux situations problèmes sont explicites à ce sujet. C'est comme si, pour certaines situations problèmes, les élèves n'avaient pas été en contact avec l'environnement Physicor, et encore moins c'est comme s'ils n'avaient pas réalisé les circuits proposés ou compris ce qu'on leur demandait. Faut-il chercher la raison du côté des consignes qui n'étaient pas claires ou du côté de la non présence du chercheur (enseignant) pendant les manipulations ? Faut-il imputer la faute au fait que les situations problèmes étaient du type qualitatif, car comme beaucoup de recherches l'ont démontré, les élèves ont des problèmes pour répondre aux questions du style qualitatif. Quand il s'agit de ces questions, les élèves ont recours à des raisonnements spontanés induisant des représentations inadéquates. Mais pour que ceci soit vrai il faudrait prouver que les élèves répondent facilement et correctement aux questions qui font appel aux aspects quantitatifs, mathématiques ou formels des phénomènes électriques.

Est-ce que ceci signifie qu'il faudrait dans un cours d'électricité commencer par les formules mathématiques et la schématisation des circuits avant d'aborder ces phénomènes du point de vue de la qualité ? Qu'advierait alors de la physique qui est une science à la fois descriptive et explicative ? nous avons décrié la mathématisation de la physique qui conduit à l'ignorance des phénomènes physiques et à leur fonctionnement. Est-ce que les erreurs des élèves sont dues à la prépondérance des schémas électriques qui favorisent plus les aspects perceptifs que les aspects conceptuels ? nous avons là quelques pistes qui peuvent nous aider à expliquer les mauvaises réponses de nos élèves.

Il faudrait dire qu'en fait les élèves étaient dans une situation de totale autonomie d'apprentissage pendant la première partie de la recherche. Lorsqu'on les a confronté aux situations problèmes, qui étaient pour nous comme des tests pour voir si les élèves avaient compris, notre présence créait les conditions d'une situation d'enseignement, qui malgré tout mettait les élèves au centre. En cela, nous avons voulu être conformes aux préalables de la démarche de la didactique actuelle.

Cependant, si notre démarche ne s'est pas, en général et pour tous les élèves, révélée efficace et efficiente, il n'est pas moins vrai qu'elle a quelques atouts qui se sont vérifiés à travers les réponses des élèves aux situations problèmes, et leur façons d'aborder ces problèmes. Ceci nous l'avons observé dans les débats et surtout lorsque nous demandions aux élèves de chercher une preuve expérimentale pour se convaincre de ce qu'il affirme ou nie. Même si le retour à l'ExAO n'était pas envisagé dans le plan du projet, ceci s'est révélé d'une grande utilité et surtout dans le cadre de ne pas laisser les élèves s'en aller avec des fausses conceptions et de constructions erronées des concepts de courant et de tension. Nous aurions dû y penser au début. Ainsi donc, si les élèves, presque tous les élèves ont déclaré avoir appris quelque chose et avoir compris maintenant, c'est grâce à la possibilité qu'ils avaient de faire le circuit et de vérifier par lui-même la véracité des faits. Donc l'évolution des conceptions et le franchissement des certains obstacles ont été possible grâce aux atouts que nous offre Physicor pour réaliser dans un petit temps une expérience assistée par ordinateur. Ainsi tout élève pourrait être son propre enseignant dès lors qu'il a la possibilité de vérifier expérimentalement ce qu'il affirme, ses réponses.

Nous avons aussi remarqué que l'environnement informatique a permis aux élèves d'apprendre rapidement un langage et de se familiariser sans l'aide d'un professeur aux notions et concepts utilisés en électricité.

Au sujet des problèmes relatifs à l'acquisition de la notion de potentiel, il semble que c'est la bête noire de tous les élèves même de ceux de l'université. Nous n'allons pas donc nous étonner que les deux groupes ont eu des problèmes pour répondre aux situations problèmes qui la concernaient. La tendance des élèves étant de privilégier les raisonnements en courant. (voir les situations problèmes 3,4,5). La preuve la plus tangible que notre démarche est prometteur serait que nos six élèves répondent correctement aux questions qui impliquent la notion de potentiel, car c'est celle qui pose plus de problèmes.

Nous pensons que malgré les résultats négatifs de notre recherche, il ne faudrait pas tout jeter dans cette démarche, qui se défend bien du point de vue théorique. Ce que nous avons fait n'est qu'une ébauche, une tentative partielle et limitée. Et notre propre recherche sur le terrain n'est pas exempte de limite; surtout il ne faudrait pas discréditer ExAO et le logiciel physicor. Il se pourrait que l'agencement des situations ou des activités de Physicor ne soient pas susceptibles d'induire des apprentissages et des évolutions conceptuelles. Cela n'enlève pas le mérite didactique et pédagogique de l'ExAO.

Comme nous l'avons déjà souligné, cette approche fonctionnerait normalement si après les activités fonctionnelles sous ExAO, les élèves abordent les situations problèmes en sachant qu'ils peuvent chercher des preuves expérimentales qui confirment ou infirment leurs raisonnements et leurs conceptions.

Il faudrait le dire aussi : vu notre méthodologie, nous n'avons pas été en mesure de compter le temps. Les élèves travaillaient quand ils le pouvaient, le temps qu'ils voulaient aussi. Les choses pourraient se passer autrement, si nous pouvions réaliser nos recherches dans une salle de classe ordinaire, aux heures mêmes et dans le cadre du cours de physique. Dans ce cas, nous aurions parlé de la problématique de l'institutionnalisation du savoir, des conditions didactiques de la réalisation d'un enseignement, etc.

Pour terminer disons que Physicor contient d'autres modules relatifs aux sciences physiques, que ce soit la mécanique, la chimie, la biologie. Nous n'avons utilisé seulement le module sur l'électricité, dont la compréhension pose beaucoup de problème. Nous ne pouvons pas partir de notre expérience avec l'électricité pour déclarer ExAO incapable de créer de conditions et de situations d'apprentissage. Nous devrions seulement reconnaître qu'à partir de ce que nous avons fait, il est difficile de tirer une quelconque conclusion.

Bibliographie

- **Programme d'études. Secondaire. Sciences physique 416-436.** A la découverte de la matière et de l'énergie. Gouvernement du Québec. Ministère de l'Éducation, 1990
- **Guide pédagogique. Primaire. Science de la nature.** Premier cycle. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Éducation, 1983
- **Programme d'études.** Secondaire. Sciences physiques (Environnement physique) Version révisée. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Éducation, 1987
- BANDZUK, C., BELISLE, L., et P., VALIQUETTE** (1991) *Odysée. Sciences Physiques 416-436* (manuel de l'élève). Montréal : ERPI.
- PARADIS, C., et F. MARIER.** (1993s) *L'informateur. En quête. Module 1. Sciences physiques 416.*
- ARSAC, G., GERMAIN, G., et M. MANTE** (1988) *Problème ouvert et situation-problème.* Lyon : IREM Académie.
- ARTIGUE M.** (1988) *Ingénierie didactique, Recherche en Didactique des Mathématiques.* La pensée Sauvage, 9(3), 281-308
- ASTOLFI, J.-P.** (1979) *Processus d'apprentissage en sciences expérimentales.* Paris : conférences de l'INRP.
- ASTOLFI, J.-P.** (1980) «Quelques problèmes posés par la structuration des concepts dans l'enseignement scientifique expérimental», *Actes des 2^{èmes} Journées sur l'éducation scientifique* (Chamonix II), Paris : INRP-CNRS
- ASTOLFI, J.-P.** (1984) «Les représentations des élèves», dans *Aster*, 21.
- ASTOLFI, J.-P. (coord.)** (1985) *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales,* Paris : INRP
- ASTOLFI, J.-P., et M. DEVELAY.** (1989) *La didactique des sciences.* Paris : PUF.
- ASTOLFI, J.-P.** (1993) *L'école pour apprendre.* Paris : ESF éditeur, coll. Pédagogique
- ASTOLFI, J.-P., DAROT, E., GINSBURGER-VOGEL, Y., et J. TOUSSAINT** (1997) *Mots-clés de la didactique des sciences. Repères, définitions, bibliographies.* Paris-Bruxelles : De Boeck et Larcier.
- ASTOLFI, J.-P.** (1998) *L'erreur, un outil pour enseigner.* Paris : ESF éditeur, coll. Pédagogique
- BACHELARD, G.** (1975) *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance objective.* Paris : Vrin.
- BACHELARD, G.** (1965) *L'activité rationaliste de la Physique contemporaine.* Paris, PUF.

- BALACHEFF, N., et M. VIVET** (1994) *Didactique et intelligence artificielle*. Paris : Pensée sauvage.
- BARBEY, G.** (1971) *Enseignement assisté par ordinateur*. Paris : Casterman
- BEAUFILS, D.** (1987) «Conception et manipulation de physique avec ordinateur : apport d'une expérimentation», dans *Communication, Éducation et Culture scientifique et Industrielle, Actes des X^{èmes} Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*, Université de Paris VII, pp.379-386
- BEAUFILS, D. et autres** (1987) «L'ordinateur en sciences physique, quelles simulations ? », dans *Modèles et simulations, Actes des IX^{èmes} Journées sur l'éducation scientifique*, Université de Paris VII, pp. 321-328
- BEAUFILS, D., et J.C LE TOUZE** (1989) «L'ordinateur graphique, un outil didactique pour la modélisation expérimentale en classe de physique au lycée ? », dans *Actes des XI^{èmes} Journées Internationales*
- BEAUFILS, D.** (1992) «L'ordinateur outil d'investigation au lycée : implications didactiques et pédagogiques», *Actes des cinquièmes journées informatiques et pédagogiques des sciences physiques de Marseille*.
- BEN HAMIDA, J.** (1980) *Modèle de fonctionnement de circuits électriques chez les enfants de 12 ans*. Thèse de 3^o cycle, Paris, Université Paris VII.
- BERTHIAUME, F.** (1986) *Introduction au Béhaviorisme*. Montréal : Presses de l'Université de Montréal
- BLOOM, TB.-S.** (1979) *Caractéristiques individuelles et apprentissages scolaires*, Bruxelles : Labor
- BLOOM, T.-S.** (1968) *Learnig for Mastery. Evaluation comment*, Los Angeles, University of California
- BLOOM, T.-S.** (1969) *Taxinomies des objectifs pédagogiques*. Montréal, Éducation nouvelle
- BOUYSET, C., DUREY, A., LAGOUTTE, R, et F. SOURDILLAT** (1983) *Utilisation des acquisitions de données avec micro-ordinateur en travaux pratiques de physique*, Premier atelier international d'été : recherche en didactique de la physique Lalonde des Maures, Paris, CNRS ed, pp.463-467
- BRUN, J.** (dir.) (1996) *Didactique des mathématiques. Textes de base en pédagogie*. Lausanne, Paris : Delachaux et Niestlé.
- BRUNER, J.S.** (1960) *the Processs of Education*, Cambridge, Mass : Harvard University Press
- BROUSSEAU, G.** (1983) «Les obstacles épistémologiques et les problèmes de mathématiques», dans *Recherche en didactique des mathématiques*, vol.4, 2, p. 164-198
- BROUSSEAU, G.** (1984) *Le rôle central du contrat didactique dans l'analyse et la construction des situations d'enseignement et d'apprentissage des mathématiques*, 3^e école d'été de didactique des mathématiques, Olivet.

- BROUSSEAU, G.** (1986) «Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques», dans *Recherche en didactique des mathématiques*, vol.7, 2, p. 33-115
- BROUSSEAU, G.** (1988) «Le contrat didactique ; le milieu», dans *Recherche en didactique des mathématiques*, vol 9, 3, 309-336.
- CAILLOT, M., et A. DUMAS-CARRÉ** (1985) «Activités cognitives et connaissances nécessaires à la résolution de problèmes : un exemple de physique», dans *Cognitiva* 85, Paris : CESTA, 81-86
- CAILLOT, M.** (1988) «Résolution de problèmes et apprentissage de la physique», dans *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques. Actes du colloque de Sèvres, mai 1987*. Paris : Pensée Sauvage, 1988, pp. 217-227
- CAVERNI, J.-P., NGUYEN-XUAN, A., HOC, J.-M., et G. POLITZER** (1990) «Raisonnements formels et raisonnements en situation», dans *Traité de psychologie cognitive*, tome 2, (RICHARD et Autres). Paris : Dunod
- CERVERA, D., et A. METIOUI.** (1993) *Énergie des fluides : modélisations et conflit conceptuel*, Rapport de recherche, DGEC, MESS, Gouvernement du Québec.
- CERVERA, D., METIOUI, A., et R. GAGNON** (1992) «Apprentissage par modélisation en hydraulique industrielle», *Première biennale de l'éducation et de la formation*, UNESCO, Paris.
- CHALOUH, E.** (1981) *Mécanismes cognitifs utilisés par les élèves et leurs professeurs dans la résolution d'un problème d'électrocinétique. Rôle de la correction du problème en classe par les professeurs*. Thèse de 3^e cycle, Université Paris VII.
- CHEVALLARD, Y.** (1985) *Modélisation et problèmes «concrets» en mathématiques et en sciences physiques*, contrat de recherche MRT, IREM d'aix-Marseille
- CLOSSET, J.-L.** (1982) «D'où proviennent certaines «erreurs» rencontrées chez les élèves et les étudiants en électrocinétique ? Peut-on y remédier ? », dans *Bulletin de l'association belge des professeurs de physique et de chimie*, Déc. 82, 234-253.
- CLOSSET, J.-L.** (1983) *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*. Paris, thèse de 3^e cycle, Université de Paris VII.
- COLOMB, J., et J.-A. MARTINAND.** (1990) *Enseignement et apprentissage de la modélisation*, Rapport de recherche, RCP INRP, déc.
- CONNE, F.** (1992) «Savoir et connaissance dans la perspective de la transposition didactique», *Recherche en didactique des mathématiques*, 12/2.3, 221-270
- CORNU, L., et A. VERGNIoux.** (1992) *La didactique en questions*. Paris : Hachette Éducation.
- CORRELL, W.** (1972) *Psychologie de l'apprentissage. Questions fondamentales et conséquences pédagogiques*. Sherbrooke, Québec : Éditions Paulines
- CREVIER, F., et B. JOSEPH** (1991) *Les sciences : toute une expérience ! Sciences physiques* 416-436 ; Québec: Mondial
- De CORTE, E. et Autres** (1979) *Les fondements de l'action didactique*. Bruxelles : De Boeck

- DENIS, B., et L. BARON** (dir.) (1993) *Regards sur la robotique pédagogique. Actes du 4^e colloque international sur la robotique pédagogique*. Liège : Technologies nouvelles et Éducation. INRP.
- DÉSAUTELS, J., B. LAUZON, et M. LAROCHELLE** (1987) *L'énigmatique, un logiciel pour l'enseignement des sciences*. Québec : Centre d'enseignement et de recherche en informatique Clément Lockquell.
- DÉSAUTELS, J., et M. LAROCHELLE** (1989) *Qu'est-ce le savoir scientifique ? Points de vue d'adolescents et adolescentes*. Québec : presses universitaires de Laval.
- DÉSAUTELS, P.** (1989) «Développement conceptuel et obstacle épistémologique», dans *N. Bernard et C. Garnier (éditeurs), Construction des savoirs, obstacles et conflits*, Montréal : Cirade, pp. 258-267
- DÉSAUTELS, P.** (1995) *Contributions des simulations interactives à la formation fondamentale en sciences*. Thèses de doctorat, département de didactique, université de Montréal.
- DÉSAUTELS, J., et M. LAROCHELLE** (1992) *Autour de l'idée de science. Itinéraires cognitifs d'étudiants et d'étudiantes*. Sainte-Foy : PUL.
- DE VECCHI, G.** (1992) *Aider les élèves à apprendre*. Paris : Hachette éducation, 1992.
- DOUADY, R.** (1987) «L'ingénierie didactique, un instrument privilégié pour une prise en compte de la complexité de la classe», *Actes du congrès PME XI*, Montréal, pp. 222-228
- DROUIN, A-M.** (1988) «Le modèle en question», dans *Aster*, n°7, Paris : INRP, 1-20
- DUMAS-CARRE, A., et M. CAILLOT** (1988) «Résolution de problèmes et apprentissage de la physique», dans *GRECO, CNRS eds, Didactique et acquisition es connaissances scientifiques*, Actes du Colloque de Sèvres.
- DUMAS-CARRE, A.,** (1987) *La résolution de problèmes en physique au lycée ; le procédural : apprentissage et évaluation*, thèse d'état, Université de Paris 7
- DURELL. B.** (1989) *Actes du 6^e congrès sur les technologies éducatives*. Halifax, Nouvelle-Ecosse.
- DUREY, A.** (1978) «Une expérimentation sur les circuits électriques en sixième», dans *Physics in science of education*, edicted by G. Delacôte, Talyor et Francis.
- DUREY, A.** (1989) «Vers des activités didactiques de mise au point de modèles de physique avec des micro-ordinateurs», dans *Aster*, n°8, pp.161-186
- FABRE, M.** (1993) «De la résolution de problème à la problématisation», dans *Les Sciences de l'éducation - Pour l'ère nouvelle, Didactique IV*, 4-5, pp.71-101
- FABRE, M., et C. ORANGE** (?) «Construction des problèmes et franchissements d'obstacles», dans. *Aster* (à paraître).
- FAUCHER, G.** (1983) «Résolution de problèmes et enseignement individualisé», *Premier atelier international de recherche en didactique de la physique à La Londe-les-Maures*, Paris, CNRS, 297-302

- FAUCONNET, S.** (1981) *Étude de résolution de problème : quelques problèmes de même structure physique*, thèse de 3^e cycle, Université Paris 7
- FIGUIER, L.**(1986) *Les merveilles de l'électricité*. Paris :association pour l'histoire de l'électricité en France.
- FIRPO, J.-L., NEEL, P. et L. BOYER** (1989) «Manipulations assistées par ordinateur», XI^{èmes} Journées internationales sur l'éducation scientifique, Chamonix, Paris, Université Paris 7
- FORTINAS, C.** (1982) *Technologie éducationnelle*, EAV .
- FORTIS, G.** (1989) *Ordinateurs, enseignement et apprentissage*. Montréal, Québec : Éditions Logiques
- GAGNÉ, R.** (1979) *Les principes fondamentaux de l'apprentissage*. Montréal: Hol, Renhart and Winston
- GIL PEREZ, D.**(1987) «Différence entre modèles spontanés, modèles enseignés et modèles scientifiques» : quelques implications didactiques», dans *Modèles et simulation*, 9^{èmes} JIES, Chamonix.
- GIORDAN, A.**(1978)«Observation, expérimentation:mais comment les élèves apprennent-ils ?», dans *Revue Française de Pédagogie*, n°45, Paris :, INRP
- GIORDAN, A.** (1980) *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris : Le Centurion.
- GIORDAN, A.** (1971) *Une pédagogie des représentations*. Actes des 2^{ème} journées sur l'éducation scientifique. Paris :Chamonix I
- GIORDAN, A.** (1985) «Évaluation de didacticiens en sciences», dans *Feuilles d'épistémologie appliquée et de didactique des sciences*, n°7, pp. 101-108
- GIORDAN, A.** (dir.) (1989) *Psychologie génétique et didactique des sciences*. Berne : Peter Lang.
- GIORDAN, A.** (dir.) (1991) *L'élève et/ou les connaissances scientifiques. Approches didactiques de la construction des concepts*. 3^e édition, revue et corrigée. Berne : Peter Lang.
- GIORDAN, A.** (dir.) (1991) *Processus d'apprentissage et obstacles épistémologiques*. Actes du colloque de camerino. Université de Rome.
- GIORDAN, A.,** (dir.) (1994) *Conceptions et connaissances*. Berne, New York, Peter Lang.
- GIORDAN, A., et G. de VECCHI** (1987) *Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé
- GLASERFELD, E. Von** (1983) «L'apprentissage en tant qu'activité constructive», dans Bergeron, J et Hersvovics, N (dir.). *Actes de la 5^e rencontre annuelle PME-NA*. Tome 1. Montréal :North American Chapter of the international Group for the psychology of Mathematics Education

- HALBWACHS, F.** (1975) «La Physique du maître entre la physique du physicien et la physique de l'élève», *Revue Française de Pédagogique*, n°33, 1975, pp.19-29
- HALBWACHS, F.** (1974) *La pensée physique chez l'enfant et le savant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé,
- HALBWACHS, F.** (1973) «Histoire de l'explication en physique», dans *l'explication dans les sciences*. Paris :Flammarion, pp.72-119
- HOSTEIN, B., et M. LEBRUN** (1992) Apprendre à modéliser en sciences et techniques, dans *Années 2000 : enjeux et ressources*, XIV^{èmes} JIES
- HUDON, R.** (1993) *Environnement pédagogique informatisé pour la visualisation de systèmes techno-scientifiques*, thèse de doctorat, département de didactique, Université de Montréal,
- JOHSUA, S., et J.-J. DUPIN.** (1989) *Représentations et modélisations : le «débat scientifique» dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne : New York, Peter Lang.
- JOHSUA, S., et J.-J. DUPIN** (1993) *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris :PUF
- JOHSUA, S.** (1983) «La «métaphore du fluide» et raisonnement en courant», dans *Recherche en didactique de Physique*. (Collectif)
- JOHSUA, S.** (1982) *L'utilisation du schéma en électrocinétique ; aspects perspectifs et aspects conceptuels. Propositions pour l'introduction de la notion de potentiel en électrocinétique*. Thèse de troisième cycle, Université d'Aix-Marseille II
- JOHSUA, S., et J.-J. DUPIN** (1988) «Processus de modélisation en électricité», *Technologies, idéologies, pratiques*, Vol. 7, 2 Aix-en-Provence, Université de Provence
- KAPITZA, P.-L.** (1977) *Le livre du problème de Physique*. Paris :Cedic
- KUHN, T.S.** (1983) *Structures des révolutions scientifiques*. Paris :Flammarion. (1^{re} éd., 1962)
- LATOUR, B.** (1989) *La science en action*. Paris :édition La Découverte
- LAUDEN, L.** (1977) *La dynamique de la science*. Bruxelles :Mardaga
- LAYMAN, J.W.** (1986) «Un appareil de travaux pratiques : le micro-ordinateur», dans *Tendances nouvelles de l'enseignement de la physique*, Vol. 4 UNESCO, pp. 211-213
- LE BLANC, D.** (1990) «La robotique, une motivation en résolution de problèmes», dans *Le bus*, 8, n°1, sept., pp.29-30
- LÉGENDRE, R.** (1993), *Dictionnaire actuel de l'éducation*. 2^e édition, Montréal : éd. Guérin
- LEMEIGNAN, G., et A. WEIL-BARAIS** (1987) Construction inductive d'un modèle en mécanique et résolution de problèmes, dans *COLOMB, J. et J.-F RICHARD (éditeurs) Résolution de problèmes en mathématique et physique*, Paris : INRP, collection Rapports de Recherche, 12, 145-198.
- LEMEIGNAN, G., et A. WEIL-BARAIS** (1990) *L'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de l'énergie*, Paris, LIREST

- LEPRINCE-RINGUET, L.**(1983) *La grande aventure de l'électricité*. Paris :Flammarion
- MARCHAND, D.** (1992) «Système Labo-Classe : Robotique Pédagogique appliquée aux sciences Physiques», *Actes des cinquièmes journées informatique et pédagogique des Sciences Physiques de Marseille*.
- MARTINAND, J.-L.**(1979) «Le point de vue d'un physicien : pensée scientifique et pédagogique en sciences expérimentale», dans *Repères*, n° 55, pp.77-86
- MARTINAND, J.-L., V. HOST et coll.** (1975) «Initiation physique et technologique», dans *Recherches Pédagogiques*, n°74, Paris : INRP
- MATHIEU E., et M. CAILLOT** (1985) «Résolution de problèmes en sciences expérimentales : l'approche cognitive», dans *Annales de didactique de sciences*, Université de Rouen, 11-38
- MUCCHIELLI, A.** (1993) *L'enseignement par ordinateur*. Paris : PUF
- NGUYEN-XUAN, A.** (1990) «Les heuristiques de recherche dans la résolution de problèmes», dans *J.-F RICHARD., Le traitement de l'information symbolique*, Paris : Dunod, pp.138-144
- NONNON, P.**(1987)«La robotique pédagogique»,*revue BUS, AQUOPS*,mai, Montréal, pp.16-19
- NONNON, P.** (1980) *Appariteur-Robot*, UQAM, CEGEP de Victoriaville
- NONNON, P.** (1986) *Laboratoire d'initiation aux sciences assisté par ordinateur*. Université de Montréal, Faculté des sciences de l'éducation, section Technologie Éducationnelle
- NONNON, P.** (1987) *Proposition d'un modèle de développement technologique en éducation*. Teste inédit, publication restreinte, Technologie éducationnelle, Université de Montréal.
- NONNON, P., et L. LAURENCELLE** (1984) «L'appariteur-robot et la pédagogie des disciplines expérimentales », *Spectre*, mars, pp. 34-36
- NONNON, P., et R. HUDON.** (1993) «Environnement pédagogique informatisé pour la visualisation de systèmes techno-scientifiques», *Actes du quatrième colloque international sur la robotique pédagogique* : Liège, 1993, pp.173-178
- ORANGE, C.** (1993) «Le concept d'obstacle en didactique des sciences», dans *Le problème et l'obstacle en didactique des sciences*, les documents du CERSE, octobre, n°60
- ORANGE, C.** (1997) *Problèmes et modélisation en biologie, quels apprentissages pour le lycée?* Paris :PUF l'éducateur
- PAPERT, S.** (1981) *Jaillissement de l'esprit : ordinateurs et apprentissage* Paris, Flammarion.
- PIAGET, J.** (1941a) «Le mécanisme du développement mental», dans *Archives de psychologie* XXVIII, p.112., 218-277
- PIAGET, J.** (1941b) *La psychologie de l'intelligence*. Paris :PUF
- PIAGET, J.** (1950) *Introduction à l'épistémologie génétique*. Paris :PUF
- PIAGET, J.** (1955) *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent : essai de construction des structures opératoires*. Paris :PUF

- PIAGET, J.** (1963) *La construction du réel chez l'enfant*. Neuchâtel :Delachaux et Niestlé(3^e éd.)
- PIAGET, J.** (1969) *Psychologie et pédagogie*. Paris, PUF
- PIAGET, J.** (1970a) *L'épistémologie génétique*. Paris :PUF. Coll. Que sais-je ?
- PIAGET, J.** (1970b) *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Paris :PUF
- PIAGET, J.** (1975) *L'équilibration des structures cognitives ; problème central du développement*, Paris, PUF
- PIAGET, J.** (1976) *La représentation du monde chez l'enfant*. Paris :PUF
- PIAGET, J.** (1983) *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris :Flammarion
- PERRIN-GLORIAN, M. J.** (1995) Théorie des situations didactiques : naissance, développement, perspective, dans *M. Artigue (dir.) Vingt ans de didactique des mathématiques en France*. Grenoble :La Pensée Sauvage. pp.97-147.
- PLANQUE, B.** (1967) *Machines à enseigner*. Centre d'études pédagogiques. Paris : Casterman
- POINSSAC-NIEL, J.** (1975) *Technologie éducationnelle et histoire*, Paris.
- POLYA, G.** (1965) *Comment poser et résoudre un problème*. Paris : Dunod.
- POPPER, K.** (1973) *Logique de la découverte Scientifique*. Paris : Payot.
- POPPER, K.** (1991) *La connaissance objective*. Paris : Aubier. (édition originale, 1971)
- PORTUGAIS, J.** (1995) *Didactique des mathématiques et formation des enseignants*. Berne : Peter Lang
- POSNER, G.J.** (1983) «A model of conceptual change : present status and prospect », dans *Helm, H. et Novak, J.D. (dir.) Proceedings of the international seminar « Misconceptions in science and mathematics »* Ithaca, NY : Cornell University.
- POSNER, G.J., et W. A. GERTZOG** (1982) «*The clinical interview and the measurement of conceptual change*», *Science Education*, 66 (2) : 195-209
- POSTIC, M., et J.M. DEKETELE** (1988) «Observer les situations éducatives», *Recherche en didactique de la physique. Les actes du premier atelier international*. Paris : CNRS, 1994,
- RESNICK, L.** (1989) «Convictions ontologiques dans l'apprentissage de la physique», dans *Berdnartz, N. et Garnier, C. (dir.) Construction des savoirs. Obstacles et conflits*. Montréal : CIRADE et agence d'Arc, pp. 103-109.
- REIF, F.** (1983) «Comprendre et enseigner la résolution de problèmes en physique», *Premier atelier international de recherche en didactique de la physique à La Londe-les-Maures*, Paris, CNRS, 15-53
- RICHELLE, M.** (1973) *Le conditionnement opérant. Une introduction et un guide à la recherche de laboratoire*. Suisse : Delachaux et Niestlé.

- RICO, G.** (1992) *Psychologie cognitive et didactique. Constitution d'une nouvelle approche concernant l'appropriation des connaissances scolaires*. Thèse d'habilitation à rédiger des recherches : Université Pierre Mendès France.
- RUEL, F.** (1986) *Mise en évidence de quelques obstacles épistémologiques chez les élèves du secondaire V*. Québec : Université Laval, thèse de maîtrise non publié.
- SAUVÉ, L.** (dir.) (1992) *Technologie éducative, hier et aujourd'hui*. 8^e colloque du conseil interinstitutionnel pour le progrès de la technologie éducative.
- SKINNER, B.F.** (1963) *Behaviorism at fifty*
- SKINNER, B.F.** (1969) *La révolution scientifique de l'enseignement*. (Technology of teaching : traduit de l'américain par A. Richelle), Bruxelles : Dessart et Margada
- SKINNER, B.F.** (1971) *L'analyse expérimentale de comportement humain : un essai théorique*. Traduit de l'Américain par A. M. et M. Richelle. Bruxelles : C. Dessart (Édition américaine, 1954)
- SOURDILLAT, F.**(1984) «L'ordinateur synthétiseur d'image et auxiliaire du discours pédagogique dans une démarche expérimentale», dans *Signes et discours dans l'éducation et la vulgarisation scientifique, Actes des VI^{èmes} Journées internationales sur l'éducation sur l'Éducation Scientifique*, Université de Paris VII, pp.69-72
- SOURDILLAT, F., et Ch. RELIER** (1987), «Du phénomène réel à la modélisation », dans MARTINAND, GIORDAN eds, *Actes des 9^{èmes} journées internationales sur l'Éducation Scientifique*, Paris, pp. 281-286
- SOURDILLAT, F., et Ch. RELIER** (1987) «ExAO, ordinateur outil pédagogique de traitement et de visualisation, de mesure et de commande, au laboratoire, à l'atelier, dans la classe», *Actes des 2^{èmes} Journées Informatique et Pédagogique des sciences Physiques*. Nancy, INRP, avril, pp. 76-88
- STRIKE, K. A.** (1983) «Misconceptions and conceptual change : philosophical reflections on the research program», dans Helm H. et Novak J.D. *Proceedings of the international seminar «Misconceptions in science and mathematics»*. Ithaca, NY : Cornell University.
- STRIKE, K. A., et POSNER, G.J.** (1982) «Conceptual change and science teaching», dans *Europeen Journal of Science Education* , 4(3), 231-240
- STRIKE, K. A., et POSNER, G.J.** (1985) «A conceptual change view of learnigand understanding», dans West L.H. et Pines L.A. (dir.). *Cognitives structure and conceptual change*. New York : Academic Press.
- TIBERGHIIEN, A.** (1984), «Enseignement scientifique et technique et apprentissage conceptuel. Approches de la recherche didactique», *Actes du 6^e colloque national sur la recherche national sur la recherche en formation personnelle*.
- TIBERGHIIEN, A.** (1985), «Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens des notions de circuits électriques pour les élèves de 8 à 20 ans», dans *Recherche en didactique de la Physique*. Paris, LIRESP, Université Paris VII
- TIBERGHIIEN, A., et G. DELACÔTE** (1976) «Manipulations et représentations des circuits électriques simples par les enfants de 7 à 12 ans», *Revue Française de Pédagogique* 34, 32-34

- THORNKIDE, E.L.** (1922) *The Psychology of Arithmetic*, New York, McMillan
- THOUIN, M.** (1985) «Les représentation de concepts en sciences physiques chez les jeunes », *Revue des sciences de l'éducation*, 4(2), 247-258
- THOUIN, M.** (1989) «Typologie des représentations en sciences physiques chez les élèves du secondaire», *Revue des sciences de l'éducation*, 15 (2), 247-266
- THOUIN, M.** (1996) *Introduction aux sciences de la nature. Concepts de base, pensées historiques et conceptions fréquentes*. Québec, Sainte-Foy : Éditions Multimonde.
- THOUIN, M.** (1996), *La didactique des sciences de la nature au primaire*. Québec, Sainte-Foy : Éditions Multimonde.
- THOUIN, M.** (1996), *Les conceptions des élèves et les activités d'apprentissage en sciences de la nature au primaire*. Montréal : Université de Montréal ; Faculté des sciences de l'éducation.
- VERGNAUD, G.** (1977) «Activité et connaissance opératoire», dans *Revue de L'APM.* , Fév.
- VERGNAUD, G.** (1985) «Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation », dans *Psychologie Française*, 30,3/4, 245-252
- VERGNAUD, G.** (1990) «La théorie des champs conceptuels», dans *Recherche en didactique des mathématiques*, 10/2.3, 133-170
- VERGNAUD, G. et coll.** (1988) *Didactique et acquisition des connaissances scientifiques. Actes du colloque de Sèvres Mai 1987*. Paris : La Pensée Sauvage
- VIENNOT, L.** (1989) «Obstacles épistémologiques et raisonnement en physique : tendance au contournement des conflits chez les enseignants» dans *Bednartz, N. et Garnier, C. (dir.) Construction des savoirs. Obstacles et conflits*. Montréal : CIRADE et agence d'Arc, pp.117-129
- VIENS, J.** (1995) *Repenser la technologie éducative*. Montréal :publication de la faculté des sciences de l'éducation.
- VIVET, M., et P. NONNON** (1991), *Robotique Pédagogique. Les actes du deuxième congrès international*. Montréal : Université de Montréal.
- WATSON, J.B.** (1925) *Behaviorism*; (édition française, *Le Béhaviorisme*, Paris : PUF, 1972)
- WEIL-BARAIS, A.** (1991) «Résolution de problèmes», dans *J.-P. ROSSI (éditeur) : La recherche en psychologie ; domaine et méthodes*. Paris :Dunod.
- WEIL-BARAIS, A., CAUZINILLE-MARMECHE, E., et MATHIEU E.** (1985)«Raisonnement analogique et résolution de problème», dans *Année psychologique*, no 85, 49-72
- WEIL-BARAIS, A.** (1994) Les apprentissages en sciences physiques, dans *G. VERGNAUD (coord.), Apprentissage et didactique, où en est-on ?* Paris : Hachette, p. 107

Ce qu'il faut savoir sur les principes de l'ExAO

Annexe 1

L'ExAO, Expérimentation assistée par ordinateur, utilise l'ordinateur comme un outil de laboratoire. Cette utilisation demande de relier des capteurs à l'ordinateur pour faire des mesures. Ces capteurs ne peuvent généralement pas être branchés directement à l'unité centrale, il faut un boîtier intermédiaire : une interface. L'ensemble ordinateur, interface et capteurs constitue une chaîne de mesures.

1. La chaîne de mesures :

Les capteurs fournissent à l'interface un signal électrique reproduisant la grandeur à mesurer. Ce signal est dit **analogique**. Il est le plus souvent proportionnel à la mesure. Un boîtier intermédiaire entre le capteur et l'interface est parfois nécessaire pour linéariser le signal, c'est à dire le rendre proportionnel à la grandeur mesurée, ou pour l'amplifier. Le signal analogique évolue de façon continue dans le temps.

L'interface mesure périodiquement le signal électrique analogique venant du capteur ou de son adaptateur et le traduit en une valeur numérique (à codage binaire) utilisable par l'unité centrale de l'ordinateur. Ces mesures constituent un échantillonnage du signal analogique.

L'ordinateur, correctement programmé par le logiciel approprié, traite les nombres fournis par l'interface pour en tirer des représentations graphiques ou des tableaux. Le logiciel peut aussi calculer certaines valeurs à partir de celles recueillies par le ou les capteurs. C'est aussi lui qui mesure le temps.

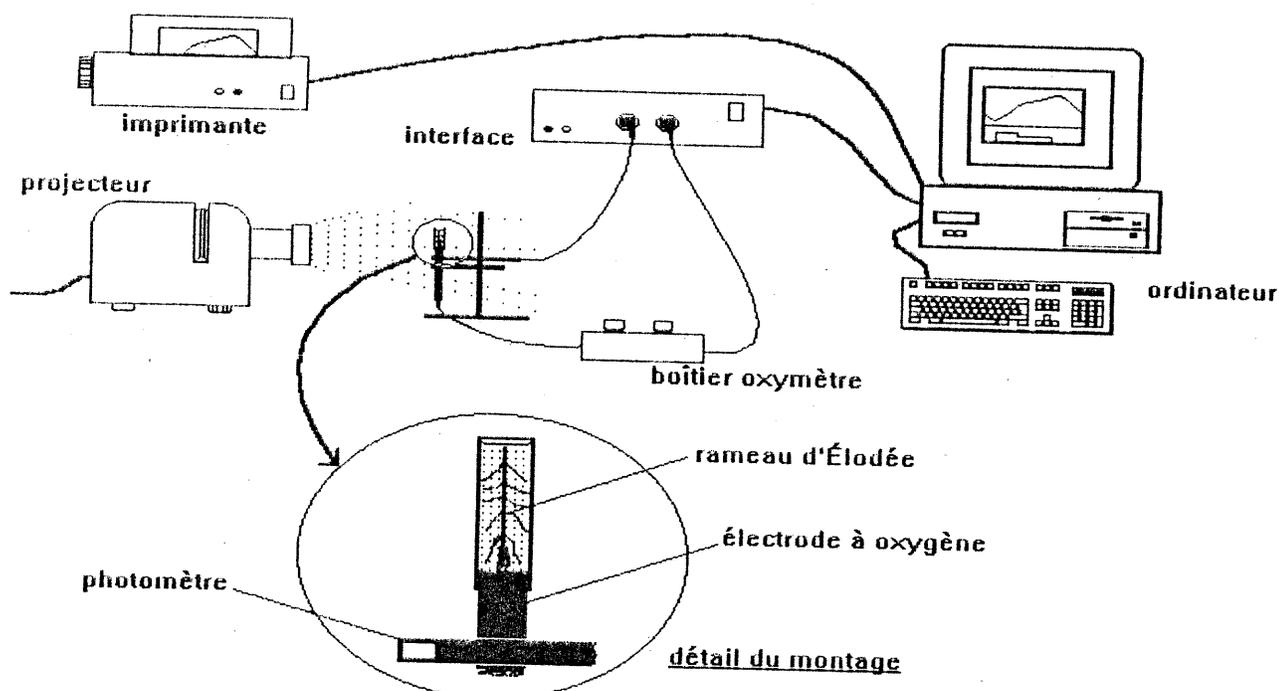
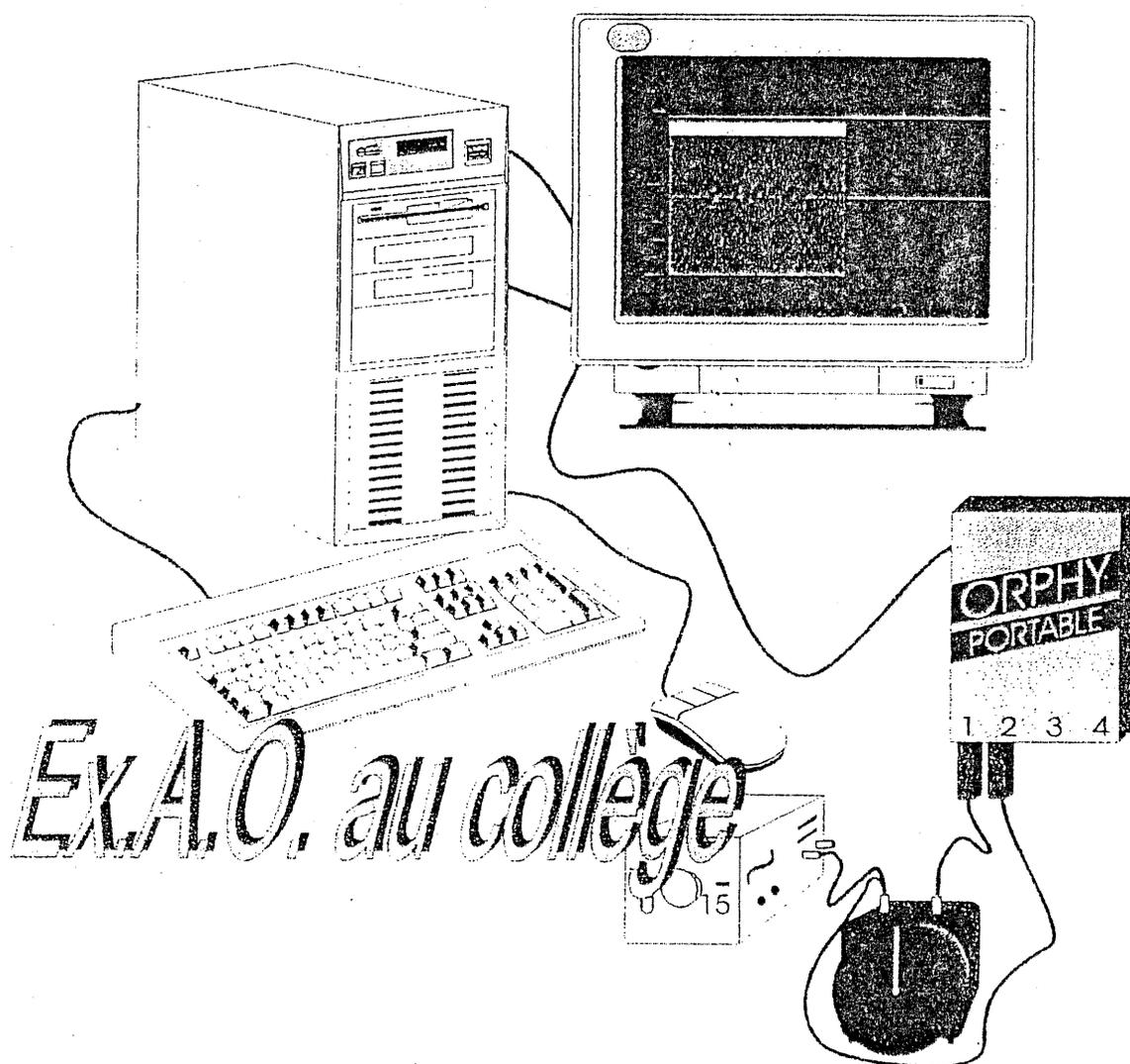


figure 1 : chaîne d'ExAO d'un montage d'expérimentation sur la photosynthèse.

Annexe 2

PHYSICOR



Ex.A.O. au collège

Expérimentation assistée par ordinateur

MICRELEC

4, Place Abel Leblanc
77120 COULOMMIERS

Tel. 01 64 65 04 50

M. RAULT 1997

Annexe 3

Poly-technique
1994-1995
1995-1996

MONTREAL

TABLEAU

QUITTER

Electricité, U/I

Electricité, P/R
 $P=UI$

Chimie

Mécanique

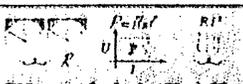
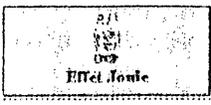
Divers

Annexe 4

PHYSICOR - 97

Sommaire

<i>Electricité</i>		pages
 Electricité, U / I		Mesure de l'intensité d'un courant électrique 3-4
		Intensité d'un courant dans un circuit série 5-6
		Intensité d'un courant dans un circuit avec dérivation 7-8
		Mesure d'une tension aux bornes d'un dipôle 9-10
		Répartition des tensions dans un circuit série 11-12
		Répartition des tensions dans un circuit avec dérivation (TP en cours de réalisation) 13-14
		Tension aux bornes d'une série de générateurs 15-16
		Caractéristiques d'une tension alternative 17-18
		Tension efficace d'un signal alternatif 19-20

<i>Energie</i>		
 Electricité, P / R	 Loi d'Ohm	Loi d'Ohm 21-22
	 Mesure d'une Puissance	Mesure d'une puissance 23-24
	 Effet Joule	Effet Joule 25-26
	 Moteur électrique	Le moteur électrique 27-28

Annexe 5

Elec.4

Mesure de l'intensité d'un courant électrique

Commentaires**1. Objectifs**

Étude sur l'emplacement de l'ampèremètre.

Durée maximum : 15 minutes.

2. Matériel

ORPHY portable connecté à un ordinateur.

1 capteur 500 mA.

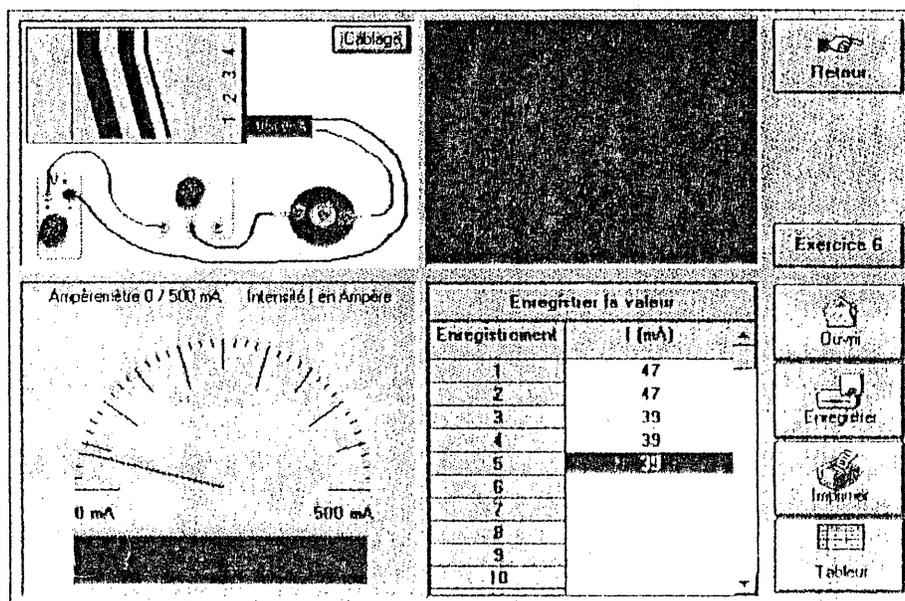
1 pile plate (4,5 V).

1 lampe sur son support (tension nominale 6 V).

2 conducteurs

1 potentiomètre.

Facultatif : 1 générateur de tension continue (6 V).

**3. Déroulement**

Cette séquence est composée de 5 exercices.

Dans les 2 premières, l'élève mesure l'intensité avant et après une lampe.

Dans les 3 autres, on intercale un potentiomètre et on mesure l'intensité en déplaçant, à chaque fois, l'ampèremètre.

Une lampe de tension nominale de 6 V pourra être utilisée à la fois avec la pile et le générateur.

Dans ce cas, bien vérifier que le générateur débite une tension maximale de 6 V.

Les élèves répondent aux questions et complètent les 2 schémas.

Au besoin, faire dessiner par une flèche de couleur le sens de passage du courant

Les 2 premières intensités doivent être identiques, il en est de même pour les 3 dernières

Conclusion : L'ampèremètre se place en série dans le circuit

Sa place par rapport à un dipôle n'a pas d'importance ; l'intensité ne varie pas.

(On introduit ici l'unicité de l'intensité dans un circuit série ; voir : Intensité d'un courant dans un circuit série)

Annexe 6

Elec.4

Intensité d'un courant dans un circuit série

Commentaires**1. Objectifs**

Vérifier l'unicité l'intensité en circuit série.

Durée maximum : 15 minutes.

2. Matériel

ORPHY portable connecté à un ordinateur.
2 capteurs 100 ou 500 mA.

1 générateur de tension continue.
1 lampe adaptée à la tension du générateur.
1 potentiomètre.
1 conducteur.

3. Déroulement

Enregistrer les valeurs		
Enregistrement	I1 (mA)	I2 (mA)
1	73	73
2	67	67
3	67	67
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Il est possible de réaliser cette séquence en courant alternatif (Programme de 3^{ème}), dans ce cas utiliser des capteurs 1/- 500 mA.

Cette séquence est composée de 3 exercices.

Au premier, l'élève mesure l'intensité avant et après une lampe.

Dans les 2 autres, il utilise un potentiomètre (qu'il faudra régler au préalable) et une lampe.

En déplaçant les points de mesure il constate que l'intensité est toujours égale.

Le potentiomètre est préférable à une résistance car si l'on veut obtenir une luminosité perceptible sur la lampe il faudrait utiliser une résistance très faible et adaptée à la puissance de cette lampe.

Les élèves réalisent un schéma normalisé de chaque manipulation, ceci afin

- d'insister sur le branchement de l'ampèremètre,
- de mieux dégager par la suite la relation d'unicité

Conclusion Les unités d'intensité sont l'ampère et le milliampère.

L'ampèremètre se place en série dans le circuit (avant ou après le dipôle).

Dans un circuit série l'intensité est invariable.

On obtient la relation $I_1 = I_2 = I_3$.

Commentaires

1. Objectifs

Vérifier l'additivité des intensités dans un circuit avec dérivation.

Durée maximum : 15 minutes.

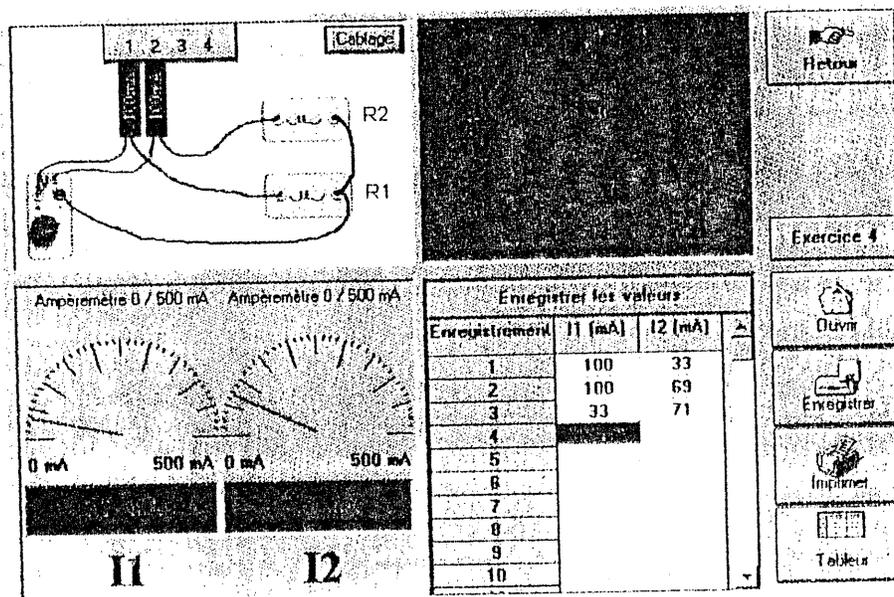
2. Matériel

ORPHY portable connecté à un ordinateur.

2 capteurs 100 ou 500 mA.

1 générateur de tension continue.
1 lampe adaptée à la tension du générateur.

2 résistances si possible de valeur différentes (ici 100 et 200 ohms).
2 conducteurs.



3. Déroulement

Il est possible de réaliser cette séquence en courant alternatif (Programme de 3^{ème}), dans ce cas utiliser des capteurs 1/- 500 mA.

Cette séquence est composée de 3 exercices.

Dans chacun d'eux l'intensité est mesurée dans 2 circuits sur 3 (principal ou dérivés).

Les élèves réalisent un schéma normalisé de chaque manipulation, ceci afin

- d'insister sur le branchement de l'ampèremètre,
- de faire comprendre le branchement des capteurs qui, ici, peut poser des difficultés

Un rappel sur les unités de mesure et le branchement de l'ampèremètre est toujours utile.

Conclusion : Les unités d'intensité sont l'ampère et le milliampère.

L'ampèremètre se place en série dans le circuit (avant ou après le dipôle)

Dans un circuit avec dérivation l'intensité du circuit principal est égale à la somme des intensités des circuits dérivés

On obtient la relation $I = I_1 + I_2$

Commentaires

1. Objectifs

Etude sur l'emplacement du voltmètre.

Découvrir que l'ajout d'un second dipôle en série influe sur la tension et l'éclat de la lampe.

Vérifier qu'un potentiomètre fait varier la tension.

Montrer que s'il existe une tension aux bornes d'un dipôle, alors il est traversé par un courant.

Durée maximum : 15 minutes.

2. Matériel

ORPHY portable connecté à un ordinateur.

1 capteur 15 V (ou +/- 15 V).

Supports de pile

1 pile plate (4,5 V).

1 pile ronde (1,5 V).

1 pile 9 V.

1 lampe sur son support de tension

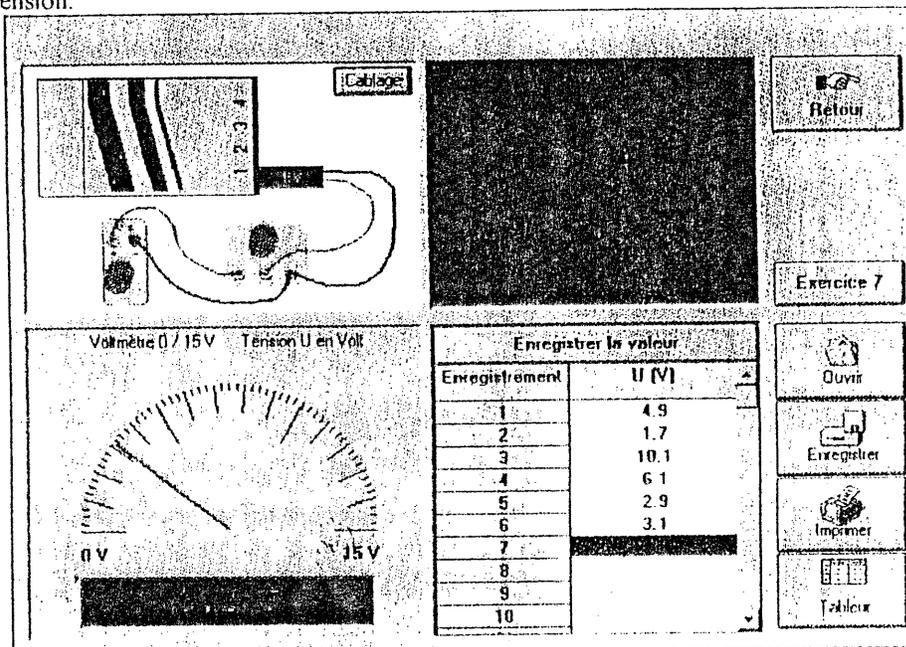
adaptée au générateur (6 V).

3 conducteurs.

1 résistance de 100 ohms environ

1 potentiomètre.

1 générateur de tension continue (6 V).



3. Déroulement

Le fait d'utiliser un capteur +/- 15 V évite de tenir compte de la polarité.

Cette séquence est composée de 6 exercices

Dans les 3 premiers, l'élève mesure la tension aux bornes de piles différentes ; le but est d'insister sur le volt comme unité de tension.

Dans les 2 autres, il mesure la tension aux bornes d'une lampe.

En intercalant une résistance, il constate que la tension varie.

Éviter de prendre une résistance supérieure à 100 ohms, sinon la tension aux bornes de la lampe sera très faible

La dernière séance a pour but de montrer le rôle du potentiomètre.

Les élèves réalisent un schéma normalisé de chaque manipulation, ceci afin d'insister sur le branchement du voltmètre

Conclusion : L'unité de tension est le volt

Le voltmètre se place en parallèle (ou dérivation) aux bornes d'un dipôle

L'ajout d'une résistance en série influe sur la tension et sur l'éclat de la lampe.

Un potentiomètre fait varier la tension.

Pour vérifier si une lampe est traversée par un courant il vaut mieux se fier à un voltmètre qu'à ses yeux !

Commentaires

1. Objectifs

Vérifier la règle d'additivité des tensions en circuit série.

Durée maximum : 15 minutes.

2. Matériel

ORPHY portable connecté à un ordinateur.

2 capteurs 15 V (ou +/- 15 V).

1 générateur de tension continue (15 V maximum).

2 résistances de valeur différentes,

100 et 200 Ω par exemple.

3 conducteurs.

Tension aux bornes d'une série de générateurs

Enregistrer les Valeurs		
Enregistrement	U1 (V)	U2 (V)
1	6.4	2.1
2	6.4	4.6
3	2.0	4.6
4	2.0	4.6
5		
6		
7		
8		
9		
10		

3. Déroulement

Cette séquence est composée de 4 exercices.

Chaque exercice mesure la tension aux bornes de 2 dipôles.

Conclusion :

Les élèves doivent aisément découvrir une relation d'additivité entre les valeurs mesurées.

Ils pourront placer sur le schéma les 3 voltmètres