

2M1103441.10

Université de Montréal

La robotique : un prétexte à l'intégration scientifique et technologique au deuxième cycle du secondaire dans le cadre de la réforme du curriculum scolaire

par
Erick Sauvé
Département de didactique
Faculté des sciences de l'éducation

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
M.A.
en didactique des sciences

décembre 2005

© Erick Sauvé, 2005



LB

5

U57

2006

V.027

AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé
La robotique : un prétexte à l'intégration scientifique et technologique au deuxième
cycle du secondaire dans le cadre de la réforme du curriculum scolaire

Présenté par
Erick Sauvé

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Ewa Puchalska

Président-rapporteur

Pierre Nonnon

Directeur de recherche

Yves Boudreault

Membre du jury

Membre du jury

Résumé

Depuis que le cinéma de science-fiction s'est approprié les robots, ceux-ci ne cessent de nous faire rêver. Les robots fascinent les gens, et en particulier les jeunes. Le projet de robotique présenté dans ce mémoire, exploite cette fascination et fait du robot son objet d'apprentissage. Un robot est une machine complexe et son étude nécessite l'intégration de diverses disciplines dont les sciences, l'informatique, la technologie et les mathématiques. Au cours de l'année, l'élève acquerra, à travers diverses activités interdisciplinaires, plusieurs compétences techniques et scientifiques. Tel que présenté dans ce mémoire, le cours de robotique s'adresse à des élèves de troisième secondaire dans le cadre de la réforme du secondaire et s'échelonne sur toute une année scolaire. Le cours se déroule suivant trois projets qui initient l'élève à la compréhension des différentes parties d'un robot. Le premier projet d'envergure qui sera présenté aux élèves est la conception et la réalisation d'un effecteur. Cet effecteur se présentera sous la forme d'un manège de fête foraine, actionné par un petit moteur électrique. Les commandes qui contrôleront les diverses fonctions du manège seront gérées par un ordinateur, grâce à un logiciel créé par les élèves en Visual Basic. Au cours de ce projet, les élèves étudieront des concepts relatifs aux mécanismes de transmission et transformation du mouvement, au dessin technique, au travail en atelier, à l'électricité, à l'électronique et à la programmation. La réalisation d'un capteur suivra celle de l'effecteur. Il s'agira ici d'un capteur de température réalisé à l'aide d'une thermistance. L'activité terminale du cours de robotique est un projet intégrant capteur et effecteur, soit une serre à semis dont la température interne est régulée automatiquement. Finalement, les bénéfices didactiques ainsi que le niveau d'intégration interdisciplinaire du projet ont fait l'objet d'une évaluation.

Mots clés : Didactique, robotique, interdisciplinarité, capteur, effecteur, manège, serre, science et technologie, réforme

Summary

Since the cinema of science fiction adapted the robots, those do not cease making us dream. The robots fascinate people and in particular the young people. The robotic project presented in this memory exploits this fascination and makes robot its object of studying. A robot is a complex machine and its study will require the integration of various disciplines of which: sciences, data processing, technology and mathematics. During the year, the pupil will be invited through various interdisciplinary activities to acquire several technical and scientific skills. As presented in the report, the course of robotics is addressed to pupils of third secondary within the framework of the reform of the secondary and spreads out over a whole school year. The course proceeds according to three projects, which plunge the pupil in the various parts of a robot. The first project of scale that will be presented at the pupils is the design and the realization of an effector. This effector will be appeared as a horse-gear, actuated via a small electric motor. The orders that will control the various functions of the horse-gear will be produced by a computer thanks to the software created by the pupils in Visual Basic. During this project, the pupils will study concepts relating to the transmission system and transformation of the movement, to the technical drawing, work in workshop, electricity, electronics and the programming. After the realization of the effector, the realization of a simple sensor will follow. It will act here of a temperature gauge realized using a thermistor. The final activity of the course of robotics is an integral project sensor and effector is a greenhouse whose intern temperature will be controlled automatically. Finally, the didactic benefit as well as the interdisciplinary level of integration of the project were the subject of an evaluation.

Key words: Didactic, robotic, interdisciplinary, sensor, effector, horse-gear, greenhouse, science and technology, reform.

Table des matières

Résumé.....	iii
Summary.....	iv
Table des matières	v
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures.....	viii
Dédicace	x
Chapitre 1 : Idée de recherche et méthodologie	1
1.1 Contexte dans lequel s'insère cette recherche	2
1.2 Idée de recherche.....	3
1.3 La recherche en éducation.....	4
1.3.1 La recherche développement de Van Der Maren (1995).....	6
1.3.2 Le modèle de recherche-développement de Nonnon (1993).....	8
1.4 Démarche spécifique à cette recherche	10
Chapitre 2 : Considérations théoriques et pratiques	11
2.1 Définitions utiles	12
2.2 Utilisation des techniques et naissance de la science	12
2.3 Relations entre la technologie et la science	13
2.4 Relations entre la science, la technologie et la technique	14
2.5 L'intégration de la science et de la technologie.....	15
2.5.1 Raison économique.....	16
2.5.2 Raison sociale et politique.....	17
2.5.3 Raison pratique	17
2.5.4 Raison opératoire	17
2.6 Considérations théoriques sur l'intégration disciplinaire	18
2.6.1 La multidisciplinarité	19
2.6.2 L'interdisciplinarité	19
2.6.3 La transdisciplinarité.....	20
2.6.4 Les avantages de l'intégration disciplinaire.....	21
2.6.5 Évaluation d'un projet interdisciplinaire	23
2.7 Considérations sur la motivation en classe	26
2.7.1 La motivation en science : un constat d'un échec.....	27

2.7.2	Comment accroître la motivation ?.....	31
2.8	Considérations sur le constructivisme.....	32
2.9	La réforme de l'éducation.....	34
2.9.1	Premier point marquant : Le développement de compétences transversales ...	36
2.9.2	Deuxième point marquant : Les domaines généraux de formation.....	37
2.9.3	Troisième point marquant : Les domaines d'apprentissage.....	37
2.9.4	Le programme disciplinaire : science et technologie.....	38
2.10	La démarche scientifique et la démarche technologique.....	39
2.10.1	La démarche scientifique en classe.....	39
2.10.2	Le modèle du Ministère de l'Éducation du Québec.....	41
2.10.3	Le modèle du Centre de développement pédagogique.....	43
Chapitre 3 : Élaboration de l'idée et modèle opérationnel.....		46
3.1	L'idée de ce projet de recherche.....	47
3.2	L'environnement.....	48
3.3	Les activités.....	50
3.3.1	Premier projet : la construction d'un manège.....	51
3.3.2	Deuxième projet : La réalisation d'un capteur de température.....	65
3.3.3	Troisième projet : Conception d'un système automatisé.....	72
Chapitre 4 : Les mises à l'essai et l'évaluation.....		77
4.1	La mise à l'essai fonctionnelle.....	78
4.2	Mise à l'essai empirique.....	78
4.3	Évaluation du projet.....	80
4.3.1	Évaluation d'un projet interdisciplinaire.....	81
4.3.2	Évaluation de la richesse du projet pour les élèves et de la qualité de la concertation pour l'équipe.....	83
4.3.3	Évaluation du projet face au programme de formation.....	86
Conclusion et perspective.....		89
Annexes.....		97

Liste des tableaux

Table 1 : Les compétences transversales	36
Table 2 : Répartition du temps et concepts prescrits pour le projet du manège	65
Table 3 : Échantillon des lignes de codes écrites par un élève pour la serre à semis.	76
Table 4 : Historique des mises à l'essai empiriques.....	78
Table 5 : Comparaison entre le nombre de concepts prescrits présents dans le programme de formation et le nombre de concepts prescrits présents dans le projet de robotique.....	87
Table 6 : Étapes de la lecture du capteur en Visual Basic	103

Liste des figures

Figure 1 : Modèle de recherche-développement d'objet de Van der Maren.	7
Figure 2 : Modèle de recherche-développement technologique de Nonnon (1993)	9
Figure 3 : Relations de la technologie avec la science	14
Figure 4 : Relations de la science avec la technologie et la technique	15
Figure 5 : Rapprochement de la science et de la technologie dans le temps	15
Figure 6 : La multidisciplinarité ou enrichir un thème en se servant de plusieurs disciplines.(Lamoureux, 2004).....	19
Figure 7 : L'interdisciplinarité (Lamoureux, 2004).....	20
Figure 9 : L'interdépendance de la dimension cognitive et pratique dans le but de quantifier l'efficacité un projet interdisciplinaire (Colet 2003).....	25
Figure 10 : Définition de l'indice de l'interdisciplinarité (Colet 2003)	25
Figure 11 : L'échelle de l'indice d'interdisciplinarité (Colet 2003).....	26
Figure 12 : Le triangle pédagogique	33
Figure 13 : La démarche scientifique.....	40
Figure 14: La démarche scientifique et technologique du Ministère de l'Éducation....	41
Figure 15: Démarche technologique du Centre de développement pédagogique	44
Figure 16: Les trois composants du premier projet : la conception et la construction d'un effecteur sous la forme d'un manège contrôlé par ordinateur.	51
Figure 17 : Manège d'élèves utilisant les mécanismes de poulie et courroie et de vis sans fin.....	56
Figure 18 : Manège d'élèves utilisant les mécanismes de poulie et courroie.	56
Figure 19 : Manège d'une élève utilisant les mécanismes de poulie et courroie	56
Figure 20 : Manège d'une élève utilisant les mécanismes de poulie et courroie et de roue de friction	56
Figure 21 : Interface de contrôle réalisé par un élève	58
Figure 22 : La plaquette d'expérimentations	59
Figure 23 : Saisie d'écran du logiciel de démonstration du manège.....	59
Figure 24 : L'interface électronique du manège	60
Figure 25 : Identification des principaux composants de l'interface de contrôle	60
Figure 26 : Capteur de température réalisé par un élève.....	66
Figure 27 : Schéma électrique d'un pont de résistance ainsi que l'équation de la tension dans un tel pont.....	67
Figure 28 : La chaîne d'information du capteur de température	67

Figure 29 : Interface à microcontrôleur assemblée par un élève	68
Figure 30 : L'interface électronique du capteur	69
Figure 31 : L'étalonnage du capteur de température et un exemple de table.....	70
À remplir par l'élève	70
Figure 32 : Mise en place du capteur de température afin d'effectuer son étalonnage	70
Figure 33 : Saisie d'écran du logiciel utilisé par les élèves afin de procéder à l'étalonnage de leur capteur	70
Figure 34: Régression linéaire produite par un élève afin d'effectuer l'étalonnage du capteur de température	71
Figure 35 : Une serre à semis réalisée par un élève.....	72
Figure 36 : Une serre à semis réalisée par un élève.....	72
Figure 37: Principe de fonctionnement de la serre à semis.....	74
Figure 38 : L'interface électronique de la serre à semis	75
Figure 39 Saisie d'écran d'un logiciel de contrôle de la serre réalisé par un élève....	75
Figure 40: Saisie d'écran de la page de configuration du logiciel de contrôle de la serre réalisé par un élève.....	75
Figure 41 : Positionnement du projet de robotique dans l'échelle d'interdisciplinarité.	81
Figure 42 : Résultat de l'évaluation des 8 dimensions du questionnaire de Colet.....	82
Figure 43 : Résultat de l'évaluation de la qualité de la richesse du projet selon le questionnaire de Cormenier (2000).....	84
Figure 44 : Résultat de l'évaluation (en pourcentage) de la qualité de la concertation pour l'équipe selon le questionnaire de Cormenier (2000).....	85
Figure 47: Circuit électrique du contrôleur de moteur pour le manège.....	98
Figure 49 : L'environnement technologique mis en place à l'école secondaire Saint- Maxime	102
Figure 50 : Questionnaire pour l'évaluation d'un projet interdisciplinaire (page 1)	104
Figure 51 : Questionnaire pour l'évaluation d'un projet interdisciplinaire (page 2)	105
Figure 52 : Questionnaire d'évaluation du projet de robotique.....	106

À Pascale

Chapitre 1 : Idée de recherche et méthodologie

1.1 Contexte dans lequel s'insère cette recherche

Le système d'éducation du Québec vit présentement de profonds changements suite à l'adoption et à la mise en place de la récente réforme des niveaux primaire et secondaire. Approche par compétences, compétences transversales, multidisciplinarité, sont quelques exemples de termes bien à la mode dans le monde de l'éducation depuis la publication du rapport Parent et qui, aujourd'hui, constituent le cœur de la réforme. En plus de ces nouvelles approches et façons de faire, la réforme apportera entre autres une grande nouveauté : l'enseignement de la science et de la technologie. Traditionnellement, l'enseignement des sciences s'est toujours fait en isolant chacune des disciplines scientifiques (biologie, physique, chimie) des autres. Quant au cours d'Initiation à la technologie, il partageait bien peu avec les sciences, et se contentait de faire de son mieux dans l'enseignement d'une méthode de fabrication industrielle en construisant des « cabanes à oiseaux ». La réforme Inchauspé, au primaire et au premier cycle du secondaire, fusionne donc toutes les disciplines scientifiques avec une version actualisée de la technologie. L'idée semble simple, mais elle inquiète énormément les enseignants, principaux acteurs du changement, et surtout les enseignants en science(s) au secondaire, qui ne savent trop comment effectuer cette fusion des sciences et de la technologie et d'intégrer la technologie dans leurs activités d'apprentissage en science.

Afin de s'adapter aux exigences du nouveau programme de formation, l'enseignant en science(s) au secondaire devra faire face à des changements majeurs :

Tout d'abord, le nouveau curriculum impose pour les années à venir une fusion de la science et de la technologie. Pour les enseignants en science(s), cette intégration est loin d'être évidente. En effet, ceux-ci devront se familiariser avec le contenu notionnel et technique d'une nouvelle discipline : la technologie. Ils devront donc s'approprier les différentes techniques de transformation des matières premières (bois, métaux et plastique) à l'aide d'un outillage varié. Des besoins en formation sont à prévoir pour ces enseignants afin qu'ils puissent se familiariser avec l'outillage et les techniques d'utilisation des outils présents dans l'atelier de technologie.

Selon une étude statistique publiée par le Centre inter universitaire de recherche sur la science et la technologie (CIRST) en mars 2000, les inscriptions aux cours de sciences de

cinquième secondaire (physique et chimie) sont en déclin. Le monde scolaire a besoin de nouvelles façons de faire afin d'inciter les jeunes à s'intéresser aux sciences, ainsi que pour entretenir leur motivation. C'est pourquoi le nouveau programme de formation demande à l'enseignant d'exposer les élèves à des situations d'apprentissage complexes, intégratives et stimulantes, c'est-à-dire à des situations grâce auxquelles les élèves travaillent à une tâche qu'ils considèrent comme une problématique à résoudre. Une telle mise en situation, dite « ouverte », laisse une place plus grande à la créativité de l'élève et risque d'être bien moins ennuyante que de simples cours théoriques interminables. Une situation sera dite « ouverte » lorsque, une fois que le problème à résoudre est cerné, l'élève ne possède pas nécessairement de solution au problème. De plus, si une solution au problème existe, celle-ci n'est probablement pas unique. L'élève pourra ainsi développer sa propre solution au problème posé. Ces caractéristiques d'une situation problématique sont les conditions nécessaires d'une situation ouverte au sens de G. Arsic (1991). Ces situations n'ont rien à voir avec un enseignement magistral traditionnel; plusieurs enseignants auront à s'adapter, et certains refuseront sûrement de le faire.

En ayant en tête ces contraintes qui touchent l'intégration des disciplines et la motivation de l'élève, une question se pose alors :

Dans le cours de science(s) et technologie de la 3^e année du secondaire, comment peut-on construire une situation d'apprentissage ouverte et contextualisée permettant de mobiliser des connaissances issues des différents univers du contenu de formation?

1.2 Idée de recherche

Les robots, principalement ceux de la science-fiction hollywoodienne, fascinent les gens et en particulier les jeunes. Compte tenu de la fascination qu'exercent les robots, ceux-ci pourraient se révéler être un moyen efficace d'offrir aux élèves un contexte qui capte leur intérêt, qui, de plus, propose des situations d'apprentissage suffisamment globales, complexes et significatives pour que l'élève y puise une motivation à faire des sciences et à apprendre. Inspirée de la problématique de Boumati (1991), et de *La Ronde* (NONNON 1990), l'idée proposée dans ce mémoire est de minimiser en classe les leçons magistrales afin d'instaurer la *mise en pratique* d'une démarche scientifique et technologique ayant comme finalité la conception d'un système automatisé contrôlé par ordinateur.

Ce cours de robotique favorisera une approche intégrant différentes sciences, la technologie et la société. La robotique, c'est avant tout un prétexte à l'intégration disciplinaire et à la mise en œuvre de diverses situations d'apprentissages globales, complexes et significatives, propices au développement de compétences disciplinaires et transversales. En effet, un robot est une machine complexe, et son étude nécessitera inévitablement l'intégration de diverses disciplines dont les sciences, l'informatique, la technologie et les mathématiques.

La mise en commun de ces disciplines se fera au travers d'une pédagogie de projet s'orientant vers la création de productions concrètes (des mini-robots) par un petit groupe d'élèves. Évidemment, le terme *mini-robot* est pris dans un sens large. Comme il le sera présenté plus loin, il inclut principalement le contrôle de procédés à l'intérieur de petites constructions réalisées par les élèves. Ces projets motivants et d'envergure confronteront rapidement les élèves à des situations qui leur causeront des problèmes. Ces situations permettront aux élèves d'identifier des acquis, des obstacles et des objectifs à atteindre qui les inciteront à se poser des questions. Les élèves ne pourront surmonter ces obstacles qu'au prix d'une introspection sur leurs connaissances actuelles, et sur la planification des nouveaux savoirs à acquérir liés au monde de la robotique (incluant la mécanique, l'électronique et l'informatique). Cette pédagogie de projet impliquant une construction réel (savoir-faire) offrira de nombreuses possibilités d'interaction entre les membres d'une même équipe, dans le but de surmonter les différents obstacles. Selon Vygotsky (1931), ces interactions entre élèves et les contributions de chacun, qui s'échafaudent les uns sur les autres, permettent à l'apprenant de fonctionner conjointement avec autrui à un niveau supérieur à ce qu'il serait capable de faire seul. Il en résulte donc la possibilité de résoudre des problèmes relativement complexes, si chaque élève y participe activement tout en développant sa sociabilité (savoir-être).

1.3 La recherche en éducation

Faire de la recherche en éducation est une activité relativement récente. Certes, il y a depuis fort longtemps de nombreuses recherches qui ont eu comme objet d'étude l'élève, l'enseignant, l'école ou le système d'éducation, mais ces recherches visaient alors principalement la description et la compréhension du fonctionnement de l'enseignant en classe.

Un premier type de recherche, et les recherches de ce type sont nombreuses, sont celles qui scrutent à la loupe chacune des actions des enseignants afin d'en évaluer leur efficacité. Cette approche de la recherche est de type *processus-produit*. Elle fut très populaire au Québec dans les années soixante. Mais aujourd'hui, l'hypothèse que l'enseignant est la variable la plus déterminante pour l'apprentissage de l'élève est dépassée. Selon Gauthier (1997), « l'influence de l'enseignant n'est plus vue comme étant la manière d'un processus unidirectionnel (...) mais s'inscrit à l'intérieur d'un processus beaucoup plus complexe dont le modèle témoigne davantage. »

Beaucoup moins associée au béhaviorisme que l'approche processus-produit, une seconde approche de la recherche en éducation s'est développée dans les deux dernières décennies : *l'approche cognitiviste*. Prenant racine dans la psychologie cognitive de Piaget et Vygotsky, cette approche mise sur la compréhension des différents modes de fonctionnement du cerveau lors des processus de mémorisation, de codage et de récupération de l'information. Elle cherche donc à comprendre comment les élèves perçoivent, de quelle façon ils dirigent leur attention, comment ils font la gestion de leurs interactions avec l'enseignant, comment ils apprennent et comprennent, de quelle manière ils réussissent à réutiliser l'information intégrée dans leur mémoire à long terme et, finalement, comment ils effectuent le transfert des connaissances acquises d'une situation à une autre (Tardif J., 1992).

Une troisième approche de la recherche sur l'éducation est l'approche appelée *interactionniste-subjectiviste*. Elle met en évidence toute la complexité d'une classe en étudiant « l'histoire » des individus et les représentations du monde avec lesquelles ils interagissent. Donc, afin de comprendre les significations construites par les élèves, il faut connaître le contexte dans lequel ils interagissent. L'aspect social est donc particulièrement important pour ce type de recherches.

Toutes ces recherches, habituellement réalisées par des chercheur(e)s universitaires, nous aident à mieux comprendre le monde de l'éducation et toute sa complexité, mais elles restent souvent abstraites et inaccessibles pour les enseignants. Mais il existe un type de recherche, plus pratique, qui a pour but d'aider l'enseignant dans son double rôle de formation et d'éducation en lui fournissant des outils concrets et pratiques. *L'approche de développement* est de ce type de recherches, non pas *sur* l'éducation, mais *pour* l'éducation.

Deux modèles de recherche de développement sont analysés dans le cadre de ce mémoire : ceux de Van Der Maren (1995) et de Nonnon (1993)

1.3.1 La recherche développement de Van Der Maren (1995)

Après l'élève, l'enseignant est l'individu qui a le plus de responsabilités quant aux apprentissages réalisés par les jeunes. Parmi les tâches qui lui reviennent afin de faciliter l'apprentissage, se trouve le développement ou la mise au point d'activités et de matériels pédagogiques. Bon nombre de ces activités ou matériel ne quitteront jamais la classe où ils ont été conçus. Mais parfois l'enseignant ou un intervenant extérieur à la classe peut souhaiter réaliser une production ou une intervention dont l'usage serait plus large. À ce moment, il aura besoin d'une démarche plus organisée et efficace, surtout s'il devient nécessaire de soumettre le projet à un organisme, avec l'espoir d'obtenir une subvention. *La recherche-développement* est cette démarche qui permettra d'assurer une longévité à toute production d'objet pédagogique. La définition d'un objet pédagogique inclura le matériel d'enseignement, le morceau de programme (un module), la stratégie d'enseignement, la nouvelle manière d'exploiter des documents ou des exercices, le matériel de laboratoire ou le guide d'observation, etc.

Selon Van Der Maren (1995), la recherche de développement peut prendre trois formes :

La première constitue le *développement de concept*. Cette démarche, effectuée par un penseur du domaine de l'éducation, recherche et propose, à partir des énoncés théoriques, la mise en application d'un objet pédagogique dans un contexte de classe. Il s'agit donc de partir de la théorie et d'en tirer une « bonne idée » qui permettra à l'élève d'en tirer des bénéfices. Le développement de cet objet pédagogique, qui sera opérationnalisé, modélisé, simulé, expérimenté, corrigé et finalement mis en marché, ne provient pas nécessairement d'un besoin exprimé par les enseignants. Une similitude existe entre ce type de recherche et celle des ingénieurs qui, dans leur pratique, cherchent de nouveaux développements technologiques utiles à partir des théories abstraites développées par les scientifiques.

La deuxième forme est la *recherche ontogénique*. Cette forme de recherche implique l'acteur à la fois comme objet et comme sujet d'étude. Elle vise le développement ou le perfectionnement d'habiletés personnelles à visées professionnelles. Il s'agit pour

l'enseignant, de développer ses habiletés et ses connaissances dans le but de devenir un « instrument » d'intervention professionnelle plus efficace. La recherche de développement ou perfectionnement d'habiletés personnelles en tant qu'outils professionnels vise donc l'innovation, non pas sur un objet, mais sur l'individu.

La troisième forme que peut prendre la recherche de développement est celle de la recherche de *développement d'objet*. Ce type de recherche vise à résoudre des problèmes rencontrés par l'enseignant dans sa pratique. Il s'agit donc, à partir de l'analyse de ses besoins et des théories actuelles, de développer un objet pédagogique qui comblera ses besoins. Cette approche est particulièrement importante si l'on désire concevoir un objet pédagogique destiné à répondre aux besoins des principaux clients, soit l'enseignant et l'élève :

« Le développement d'un objet pédagogique, qu'il s'agisse de procédés, de moyens, de milieux, etc., doit suivre un cheminement proche de la résolution de problèmes s'il veut se faire avec un minimum de rationalité. On commence par l'analyse de l'objet qui répondrait ou bien à l'analyse des besoins chez la population cible ou bien à l'analyse du concept que l'on souhaite opérationnaliser. » Van der Maren (1995)

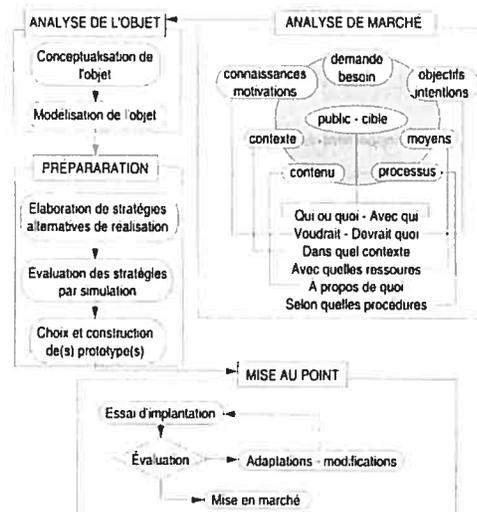


Figure 1 : Modèle de recherche-développement d'objet de Van der Maren.

La démarche de cette recherche s'effectue en quatre temps :

L'analyse du marché : Il s'agit de bien connaître à qui et à quoi l'objet devra servir. Dans quel contexte cet objet sera-t-il utilisé? Quelles sont les contraintes envisageables? Avant toute chose, une analyse de la situation des clients est primordiale.

L'analyse de l'objet : Maintenant que le problème est cerné et que les contraintes aux solutions possibles sont connues, il s'agit d'*analyser* les connaissances disponibles dans le domaine pour ensuite les *synthétiser*. À partir de ces connaissances, on élaborera alors un modèle de l'objet, c'est-à-dire une description sommaire de son contenu et de sa présentation.

La préparation : Après la conception, on procédera à la simulation des différentes variantes possibles de l'objet. La variante répondant le mieux au cahier des charges sera retenue et on procédera à la construction du prototype.

La mise au point : Ce dernier temps débutera par la mise à l'essai du prototype. Ici, on préconise généralement la collaboration des enseignants. Ce n'est que dans un contexte scolaire que le prototype sera véritablement mis à l'épreuve et son efficacité démontrée. Plusieurs étapes de révisions et de modifications du prototype suivront avant d'obtenir un produit définitif et de finalement procéder à sa mise en marché.

1.3.2 Le modèle de recherche-développement de Nonnon (1993)

Contrairement au modèle de Van Der Maren qui se base très peu sur l'intuition, le modèle de Nonnon (1993) est tout autre. Selon Nonnon, une recherche-développement peut avoir comme point de départ deux situations types bien distinctes afin d'aboutir à une même démarche de recherche. Dans le premier cas, le chercheur trouve ou déduit *un problème à résoudre* dans les résultats d'une recherche expérimentale ou appliquée. Dans le second cas, le chercheur part tout simplement *d'une idée* de développement. Comme toutes les idées, celle-ci proviendra de l'intuition du chercheur, d'une expérience vécue, etc.

Évidemment, cette idée sera confrontée avec les théories admises dans le domaine de l'éducation afin de la valider, de la modifier ou de la rejeter. Cette étape de confrontation de

l'idée et de la théorie est le cœur du modèle de Nonnon :

« Cette deuxième étape est très importante, elle doit être pour la recherche-développement ce qu'est le contexte théorique pour la recherche expérimentale, et c'est principalement par l'ampleur et la qualité de cette étape de considérations et de justifications théoriques qu'on va pouvoir distinguer une recherche-développement industrielle d'une recherche-développement universitaire. » (Nonnon 1993).

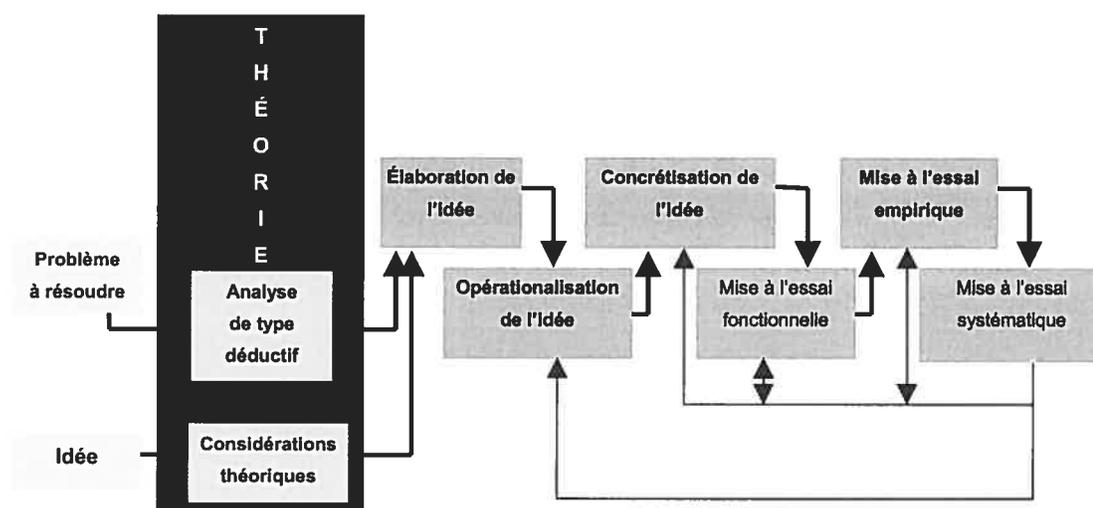


Figure 2 : Modèle de recherche-développement technologique de Nonnon (1993)

Suite à l'une ou l'autre des situations de démarrage et après avoir cherché des justifications théoriques venant appuyer son idée, le chercheur doit élaborer davantage l'idée en question. Suivra ensuite le développement d'un modèle d'action. Ce modèle, influencé par des décisions et choix technologiques, devra préciser et opérationnaliser l'idée. Une fois que l'idée est bien assise et appuyée par une base théorique solide, le chercheur réalisera un prototype. Ce prototype est la première version concrète du modèle opérationnel. Avec le prototype, le chercheur procédera à une mise à l'essai fonctionnelle, normalement faite en laboratoire avec l'aide d'autres chercheurs qui fourniront une évaluation d'experts sur le prototype et l'idée. Le chercheur procède ensuite à une série de révisions sur son prototype, jusqu'à ce que celui-ci corresponde bien au modèle opérationnel. L'étape de la mise à l'essai empirique suit alors. Pour Nonnon, cette étape est d'un grand intérêt pour la recherche-développement en éducation :

« Après avoir créé un objet, le chercheur et l'étudiant vont jouer avec. Il s'agit ici de provoquer des interactions entre les étudiants, le chercheur et le prototype de manière à induire des activités structurantes. Pour ce faire, on utilise une méthode dialectique entre l'étudiant et le professeur-chercheur, de manière à faire apparaître, d'une part chez l'étudiant, des explications sur le phénomène expérimenté. Celui-ci doit alors anticiper ce qui va se passer, le vérifier ensuite, et comparer son anticipation à la vérification subséquente. D'autre part, chez le professeur, nous allons évaluer les attitudes et les suggestions utiles à guider l'étudiant dans sa démarche. Cette approche est très liée à l'épistémologie interactionniste et constructiviste de Piaget. Comme lui, nous allons analyser les conflits cognitifs qui surviennent chez l'étudiant et les suggestions du professeur pour l'aider à surmonter ces conflits. Cette analyse va nous fournir des informations précieuses sur l'interaction de l'étudiant avec le prototype et nous permettre de réviser celui-ci pour améliorer le dialogue entre l'étudiant et la situation de laboratoire. Pour le chercheur, cette mise à l'essai empirique lui permettra de dégager des objectifs précis avant la mise à l'essai systématique. » (Nonnon 1993)

Finalement, une étape de mise à l'essai systématique sera requise si le chercheur envisage une production et une implantation à grande échelle dans le milieu éducationnel.

1.4 Démarche spécifique à cette recherche

La recherche dont il est question dans ce mémoire suit très étroitement le modèle de Nonnon (1993). La principale raison est l'origine de la recherche qui réside dans une idée. Une idée qui veut que la robotique représente un bon prétexte à l'intégration des disciplines scientifiques et technologiques comme le souhaite la réforme Inchauspé.

Sur les bases d'expérimentations précédentes de Nonnon et Langlois (1990), des prototypes de mini-robots seront mis sur pied dans les laboratoires de l'Université de Montréal et soumis à une mise à l'essai fonctionnelle par des enseignants. Ensuite, plusieurs mises à l'essai empiriques, c'est-à-dire avec des élèves et des enseignants, auront lieu afin de perfectionner le prototype. Finalement, les bénéfices didactiques du projet seront évalués par l'observation des élèves en situation d'apprentissage ainsi que par leurs commentaires.

Chapitre 2 : Considérations théoriques et pratiques

2.1 Définitions utiles

Avant toute chose, il est important de bien définir deux termes qui reviendront régulièrement dans les pages qui suivront, soit *science* et *technologie*.

En premier lieu, la science sera considérée comme étant l'ensemble des *connaissances* humaines sur la nature, la société et la pensée, acquises par la découverte des lois objectives des phénomènes, et leur explication. Cette définition, simple mais efficace, nous provient du dictionnaire Larousse.

La technologie, quant à elle, est plus difficile à définir. Selon le Black et Harrison (Rapport Copret, France, p.93 et 94), "la technologie est la démarche pratique qui a permis à l'espèce humaine, par sa capacité d'agir, de dépasser la condition animale et de créer non seulement ses habitats, ses ressources de nourriture, les conditions de son confort et les moyens de sauvegarder sa santé, de se déplacer et de communiquer."

Mais encore, on peut définir la technologie comme suit : "La technologie est l'innovation humaine en action. Elle met à profit une génération de connaissances et de processus afin d'élaborer des systèmes qui permettront de résoudre des problèmes et d'accroître les capacités humaines" (Technology for all Americans, USA, p.16)

Finalement, malgré la justesse des définitions précédentes, nous utiliserons tout simplement la technologie comme étant le "domaine de savoir et d'activités permettant de concevoir et de réaliser des objets et des systèmes." (Dictionnaire de l'Éducation Legendre, Québec, p.1335)

2.2 Utilisation des techniques et naissance de la science

De façon générale, une technique est un ensemble de connaissances susceptible de nous mener à exercer une action de manière efficace sur la matière. De très anciennes techniques ont été développées sans connaissances rationnelles et systématiques, ne comptant que sur l'expérience empirique par essais et erreurs. Nos ancêtres de la préhistoire fabriquaient ainsi des outils rudimentaires et des "vêtements " sur les bases de leurs techniques développées par l'observation et l'expérience, puis transmises à leur descendance. Avec le temps, les

techniques se sont raffinées et des corps de métiers ont commencé à apparaître : les architectes égyptiens ont conçu les grandes pyramides d'Égypte et une foule d'artisans spécialisés ont construit de majestueuses cathédrales gothiques. Plusieurs autres réalisations méritent notre admiration. Par exemple, il y a environ 2000 ans, Ptolémée avait mis sur pied un système astronomique très précis basé sur d'anciennes observations astronomiques. Ce système pouvait prédire, avec une grande précision, le mouvement des astres dans le ciel. À ces époques, chaque domaine pratique, chaque métier, disposait de règles empiriques obtenues par essais-erreurs au fil des générations et transmises sans plus d'explications. C'étaient des époques d'artisans. Peut-on parler de science dans l'élaboration de ces techniques? Pas selon la définition de la science que nous avons établie précédemment. Ptolémée, comme plusieurs autres penseurs comme lui, travaillait sur un sujet qui est maintenant devenu une science. On s'entend généralement pour dire que la science moderne a pris naissance au 17^e siècle, époque de la révolution scientifique. La première raison qui explique la révolution scientifique du 17^e siècle est qu'avant cette date, la méthode utilisée était basée sur la logique et l'observation et non sur l'expérimentation systématique. Ceux qui étudiaient les phénomènes naturels étaient plutôt des philosophes de la nature que des scientifiques. (Galactics, 1998)

Le second changement qui a eu lieu au 17^e siècle est l'emploi de la technologie dans la science. La technologie, qui n'était utilisée que par les artisans, a commencé à être utilisée par les scientifiques et à en dépendre. Le ciel s'est ouvert aux yeux de Galilée grâce au télescope, le microscope, le baromètre et le thermomètre ont tous été inventés au 17^e siècle.

Finalement, le changement majeur à la méthode anciennement utilisée est l'adoption au 17^e siècle de la *méthode scientifique*. On reconnaît Sir Francis Bacon (1561 à 1626) comme étant le premier auteur d'une démarche scientifique.

Ainsi donc, tout au long de son histoire, l'homme a développé différentes techniques. Ce savoir technologique développé de façon empirique et transmis de génération en génération s'est structuré au 17^e siècle avec l'apparition de la méthode scientifique. Dès lors, de très forts liens se sont tissés entre la technologie et les sciences.

2.3 Relations entre la technologie et la science

Depuis deux siècles, les progrès de la science et des techniques s'influencent et se

favorisent mutuellement. Le développement de nouvelles connaissances scientifiques est si étroitement lié au développement de nouvelles techniques qu'il est impossible de les dissocier l'un de l'autre. De plus, le développement des techniques d'acquisition de connaissances est de nos jours très proche de la méthode scientifique. C'est ce mariage des sciences et des techniques qui a donné naissance à ce que l'on appelle *la technologie* (Sénéchal, 2001). La démarche technologique nous permet de créer et de fabriquer des objets ou des systèmes techniques dont les fonctions sont de répondre aux besoins de l'industrie, des militaires, des scientifiques et de la population en général. Tel que mentionné précédemment, cette démarche fait appel aux connaissances scientifiques et aux savoir-faire techniques et expérimentaux. (CDP, mars 2004)

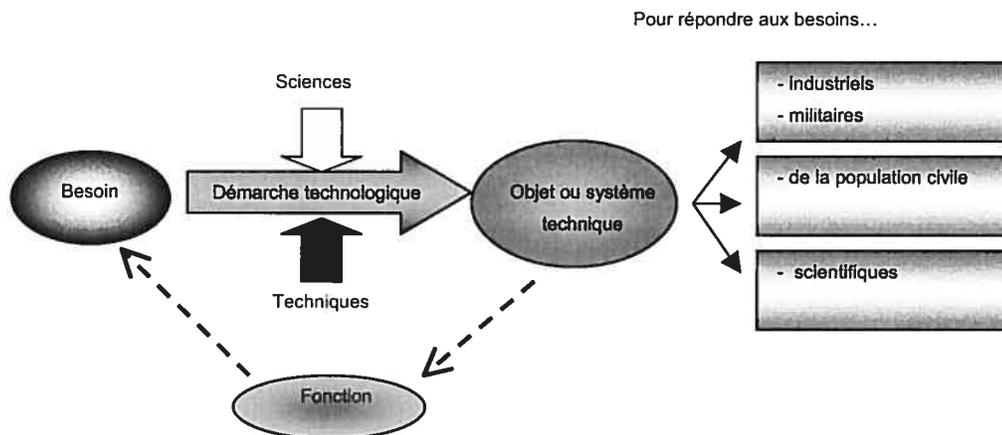


Figure 3 : Relations de la technologie avec la science

2.4 Relations entre la science, la technologie et la technique

La démarche scientifique contemporaine (synthétisée à la figure 4) permet de faire avancer les connaissances en énonçant des lois et en créant des modèles afin d'expliquer les réalités naturelles. Ces connaissances peuvent servir l'industrie, les militaires (sciences appliquées), les scientifiques (sciences pures) et la population en générale. La démarche scientifique fait appel aux objets (systèmes) créés par la technologie et aux savoirs-faire techniques afin de se donner des instruments de travail. (CDP, mars 2004)

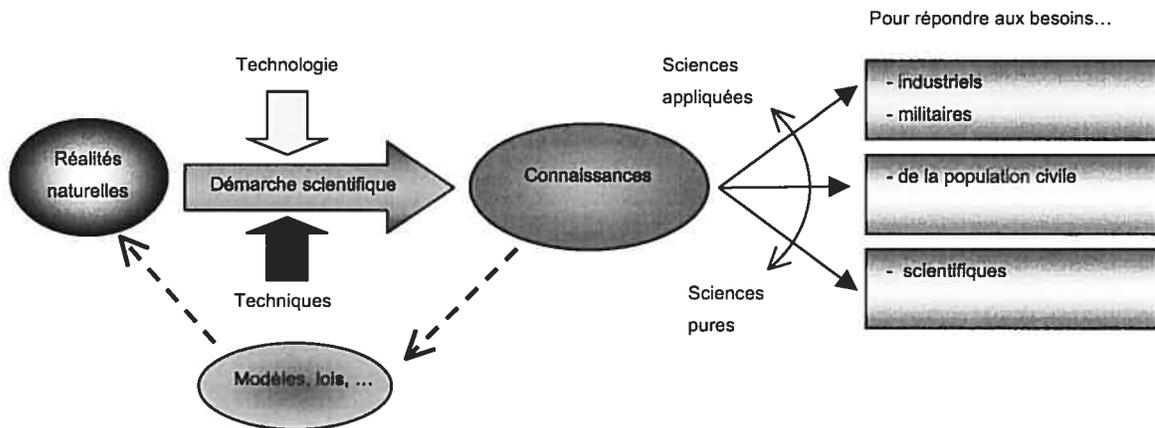


Figure 4 : Relations de la science avec la technologie et la technique

2.5 L'intégration de la science et de la technologie

Autrefois, la réalisation des objets techniques relevait du savoir-faire ou du tour de main, c'est-à-dire de l'expérience concrète, et donc essentiellement de l'empirisme. Au fil des ans, les découvertes scientifiques ont permis d'améliorer nos productions technologiques. En retour, ces productions technologiques permettent de nouvelles percées scientifiques. De nos jours, on constate donc, et plus particulièrement dans les domaines de pointe, que les savoirs scientifiques et technologiques s'intègrent jusqu'à provoquer une fusion où les lignes de démarcation de ces disciplines sont difficilement perceptibles. (voir figure 5) (CDP 1994)

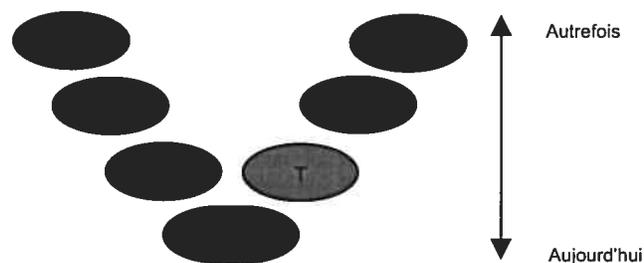


Figure 5 : Rapprochement de la science et de la technologie dans le temps

Il existe donc aujourd'hui une forte interaction entre la démarche scientifique et la démarche technologique. Ces deux démarches ont comme objectifs communs de répondre à des attentes des différents milieux : civil, militaire, industriel ou scientifique. La science repousse les frontières de nos connaissances, et la technologie en crée de nouveaux objets répondant à nos besoins. Ces démarches se complètent, car les nouvelles connaissances scientifiques nous permettent de créer de meilleurs objets techniques (des instruments de mesure plus

précis et efficaces, par exemple). En retour, les nouveaux objets technologiques permettent d'accroître ou de raffiner nos connaissances scientifiques (faire de nouvelles découvertes scientifiques).

Nos écoles doivent suivre ce rapprochement entre la science et la technologie. Cette relation est d'une très grande importance en didactique car, contrairement aux cours de science(s) ordinairement très théoriques, la technologie, par son caractère concret, permet de mieux se représenter les phénomènes physiques impliqués dans l'activité d'apprentissage. De plus, en adoptant une pédagogie de projet, la technologie donne une finalité concrète à la démarche de l'élève, ce qui est rarement le cas en science expérimentale, où la finalité repose uniquement sur la modélisation de l'interaction entre les variables.

L'Institut International de Planification de l'Éducation (Giordan et Girault, 1994) présente quelques raisons pour lesquelles dans nos sociétés modernes : « un enseignement scientifique et technologique est devenu une nécessité ».

2.5.1 Raison économique

Depuis plus d'une décennie, une nouvelle dynamique mondiale marquée par l'internationalisation des marchés et l'explosion des communications s'installe. Une conséquence importante de cette nouvelle économie mondiale est la féroce concurrence économique. L'exploitation des richesses naturelles n'est plus suffisante afin d'assurer le progrès; désormais, la capacité de créer, d'exploiter et de diffuser de nouvelles connaissances est devenue la principale façon de stimuler le progrès et l'innovation; les sociétés modernes sont des sociétés de savoir.

Comme le mentionne le Conseil de la science et de la technologie (2002), l'activité scientifique et l'innovation technologique sont devenues les principales forces motrices du changement et du dynamisme de l'économie des sociétés modernes.

La science et la technologie sont au cœur du processus d'innovation. Les domaines comme la gestion, le marketing, la commercialisation, le droit, etc., ne sont pas à laisser pour compte. Ils jouent aussi un rôle important dans l'économie de toute société. Mais ce sont les scientifiques, les informaticiens et les ingénieurs qui sont les principaux acteurs de

l'innovation, en développant de nouveaux produits ou procédés et en aidant les entreprises à se moderniser. Afin d'assurer une croissance économique à l'échelle mondiale, le Québec doit promouvoir l'enseignement des science(s) et technologie(s) afin de former les futurs ingénieurs et scientifiques dont il aura besoin.

2.5.2 Raison sociale et politique

Dans nos sociétés modernes, une majorité de décisions politiques importantes ont un fondement scientifique ou technique. Que doit-on faire avec les OGM ? Comment peut-on réglementer le clonage humain ? Certaines percées scientifiques et technologiques bouleversent nos valeurs éthiques et culturelles. Nos gouvernements basent leurs décisions sur les recommandations de comités d'experts, mais dans une société démocratique, il est impératif que chaque citoyen, scientifique ou non, comprenne et participe aux débats qui entourent ces nouvelles percées scientifiques et technologiques.

2.5.3 Raison pratique

Qui n'a jamais perdu patience en tentant de programmer un enregistrement sur son VHS ? Notre mode de vie est de plus en plus intimement relié aux technologies. L'accélération des percées scientifiques amène un accroissement du flot de nouveautés technologiques dans nos vies. Aujourd'hui, pour être efficace professionnellement, il faut donc être familier avec un plus grand nombre de nouvelles technologies. Il est nécessaire d'utiliser à l'école, mais plus particulièrement dans un cours de science et technologie, la plus vaste gamme d'objets techniques afin d'être en mesure de développer des compétences dans leur utilisation. Si, lors de leurs développements, ces compétences sont significatives pour l'élève parce que contextualisées, et qu'elles entretiennent un ou plusieurs liens avec l'un des domaines de vie de l'élève, il est fort probable que celles-ci seront réutilisées hors du contexte scolaire.

2.5.4 Raison opératoire

Dans un contexte où l'analyse et l'exploitation de l'information sont des activités de plus en plus importantes, le développement de la pensée rationnelle, d'interrogation et de résolution de problèmes prend également de plus en plus d'importance. À l'école, c'est principalement lors des cours de sciences que se développent chez les jeunes des compétences dans ces

activités d'analyse. Comme nous l'avons déjà dit, et comme il est préconisé dans le nouveau programme, c'est désormais en science(s) et technologie que se développera principalement la pensée rationnelle, d'analyse et de résolution de problème.

Toutes les considérations précédentes nous amènent à penser que l'intégration de la science et de la technologie aidera l'élève à mieux faire face à la société d'aujourd'hui. Mais est-ce vraiment une bonne chose que d'intégrer deux ou plusieurs disciplines? L'élève ne risque-t-il pas de s'y perdre? Les considérations suivantes nous éclaireront sur cette problématique.

2.6 Considérations théoriques sur l'intégration disciplinaire

L'Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science, et la Culture (UNESCO 1994) reconnaît qu'une méthodologie d'enseignement fragmentée, caractéristique des disciplines académiques, ne répond plus au besoin des étudiants d'aujourd'hui (Tardif 1992). Cet organisme a relevé trois tendances dans les pays les plus dynamiques en ce qui concerne l'éducation de leur population :

- Le rejet de l'encyclopédisme, c'est-à-dire l'accumulation de notions, détails ou répétitions à mémoriser.
- La formation d'un esprit critique capable de remettre en question des certitudes ou de tisser des liens entre des concepts, des faits ou des événements.
- Le développement de la créativité chez l'élève. Il n'est plus demandé de reproduire une réponse à un problème, mais bien de créer sa propre solution.

Plusieurs approches pédagogiques permettent l'intégration de deux ou de plusieurs disciplines. Ces approches n'impliquent pas que les différentes disciplines perdent leur identité, mais bien qu'elles cessent d'être des entités fermées. Par exemple, dans un contexte intégrationniste, nous pourrions, dans l'étude des sciences de la biologique humaine, parler de « physycobiopsychosociologie » (Larose, 1992) (Unesco, 1994 a).

2.6.1 La multidisciplinarité

Selon Fourez (1998), on parle d'approche multidisciplinaire quand on rassemble plusieurs disciplines autour d'un thème, sans que l'on ait à finaliser un projet précis. Dans ce modèle, plusieurs enseignants, de disciplines variées, partent tous d'un même thème, puis utilisent le contenu, les compétences et idées propres à leur discipline pour élargir le sujet.

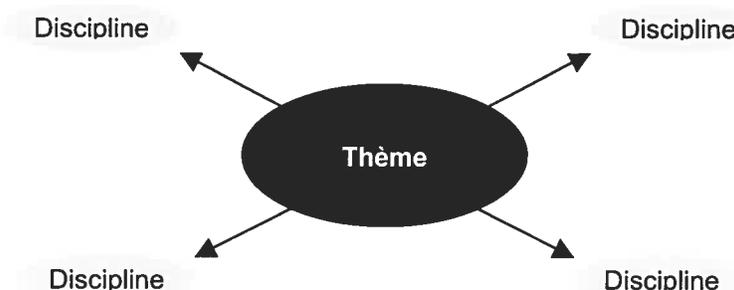


Figure 6 : La multidisciplinarité ou enrichir un thème en se servant de plusieurs disciplines. (Lamoureux, 2004)

Notons toutefois que la multidisciplinarité n'est pas une façon de faire de l'intégration disciplinaire puisque chacune des disciplines reste confinée à son domaine de compétences dans l'élaboration des activités entourant le thème sélectionné.

2.6.2 L'interdisciplinarité

Lorsque plusieurs disciplines coopèrent, sans nuire à leur intégrité et à leur démarche respective dans le but de résoudre un problème, nous sommes en présence d'une approche interdisciplinaire. Selon Lenoir (1998a) :

« La mise en relation de deux ou plusieurs disciplines qui exercent à la fois aux niveaux curriculaire, pédagogique et didactique et qui conduit à l'établissement de liens, de complémentarité ou de coopération, d'interpénétration ou d'actions réciproques entre elles sous divers aspects (objets d'études, concepts) en vue de favoriser l'intégration des processus d'apprentissage et des savoirs chez l'élève. »

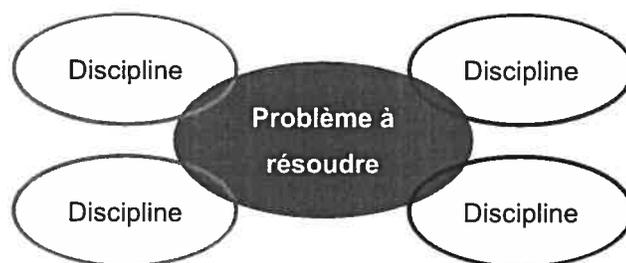


Figure 7 : L'interdisciplinarité (Lamoureux, 2004)

Dans une telle activité, grâce à la coopération et aux liens entre les disciplines, nous sommes en présence d'une intégration disciplinaire.

2.6.3 La transdisciplinarité

La transdisciplinarité est une approche qui sert à désigner un effort de construction de savoirs généraux qui ne sont pas enfermés dans des approches disciplinaires, mais les englobent pour les dépasser. (Fourez, 1998)

« Cette approche est axée sur les besoins, les intérêts et l'expérience des élèves; elle aboutit donc à l'établissement de liens pertinents entre l'éducation et le monde extérieur (...) l'accent est mis sur le thème et sur la façon dont il sera exposé. Le contenu et les compétences ne sont pas délaissés, mais remplacés dans le contexte de leur signification, ce qui les rend plus susceptibles d'être assimilés par les apprenants. » (Lamoureux, 2004)

Toute la philosophie du cours de robotique présenté dans ce mémoire provient de la transdisciplinarité où, à partir d'un projet central (la création de robots) les élèves vivront des activités, et des réflexions se situant au-delà de disciplines particulières. Sous le thème du robot le projet fusionnera toutes les sciences et il émergera alors une nouvelle discipline : *la robotique*.

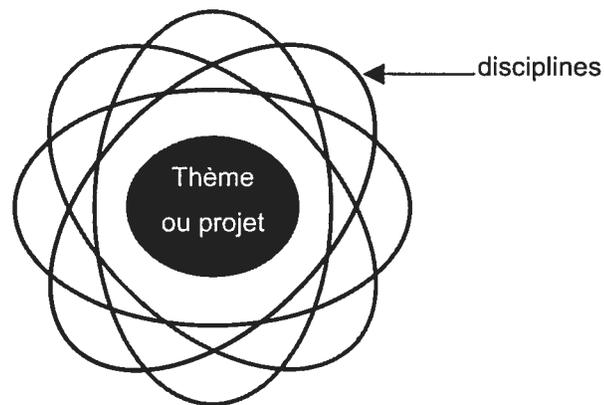


Figure 8 : La transdisciplinarité (Lamoureux, 2004)

Il sera démontré plus loin, avec l'élaboration de l'idée et du cours de robotique, qu'une telle activité est une façon efficace de faire de l'intégration disciplinaire.

En ce qui concerne la notion de transdisciplinarité, il est important de souligner qu'il s'agit d'un concept flottant dont la définition varie selon les régions. Par exemple, le terme est utilisé au Québec, mais correspond à la définition donnée à l'interdisciplinarité en Europe (Colet 2003).

2.6.4 Les avantages de l'intégration disciplinaire

Une étude menée par John A. Ross en 1998, appuie le fait que l'intégration disciplinaire puisse accroître la réussite des élèves en science. Il évoque trois arguments à cet effet.

Le premier des arguments porte sur l'intégration disciplinaire permettant l'utilisation de connaissances ou de compétences dans des contextes autres que celui où elles ont été initialement acquises. Donc, en réduisant la compartimentation des disciplines, on favorise les possibilités de transfert des connaissances et des compétences d'une discipline vers une autre.

Le second argument apporté par cet auteur est qu'un cours favorisant l'intégration de plusieurs disciplines concentrera l'attention des élèves sur les objectifs d'apprentissages essentiels, communs à chacune des disciplines, sur les objectifs disciplinaires qui sont

complémentaires les uns aux autres ou encore sur les objectifs d'apprentissages qui distinguent les disciplines les unes des autres. Cette attention, centrée sur quelques objectifs généraux plutôt que diffusée sur un très grand nombre d'objectifs plus spécifiques propres à une seule discipline, contribue selon Ross (1998) à accroître l'apprentissage des élèves.

Le dernier argument est celui de la motivation des élèves. Par simple intérêt, les élèves préféreront certaines disciplines à d'autres. L'interdisciplinarité peut permettre aux élèves d'avoir plus facilement accès aux connaissances des disciplines mal-aimées au travers des autres plus appréciées. De plus, il est utopique de croire que les élèves apprécient fondamentalement une discipline : «Un enfant ne s'intéresse pas à la géographie, aux sciences ou à la grammaire; un enfant s'intéresse aux grenouilles, aux fleurs, aux ponts, aux astres, aux nuages, aux animaux... C'est l'enfant qui est l'artisan de l'intégration avec ses intérêts et la langue en est l'instrument principal, et ce, à condition qu'elle ne subordonne pas les autres matières sur le plan des objectifs propres à chacune d'elles.» Bouchard (1990). Ainsi, l'intégration disciplinaire peut représenter un facteur de motivation important des élèves dans les cours de science(s). Comme nous le verrons un peu plus loin, la motivation des élèves est un enjeu important en science(s).

D'autres avantages de l'intégration disciplinaire, tirés d'une publication du ministère de l'Éducation (1986), méritent d'être soulignés.

Pour l'élève, une intégration disciplinaire :

- Est en accord avec le processus naturel d'apprentissage. En effet, dans son quotidien, le jeune n'apprend pas de façon morcelée, mais en faisant des liens entre les diverses facettes de la réalité ;
- Aide à mettre en contexte les apprentissages, leur donne une raison d'être; l'élève sait pourquoi il fait telle activité ;
- Aide à voir la progression, la suite logique des apprentissages, rend l'élève conscient des apprentissages qu'il réalise ;

- Facilite chez l'élève les habiletés de base lorsqu'il utilise celles-ci pour la réalisation de projets ou la résolution de problèmes provenant du réel; méthode de travail, capacité d'analyse, synthèse, créativité;
- Favorise une implication plus grande de l'élève dans son apprentissage. Par exemple, lors de la planification, l'élève fournit des problèmes à résoudre, des questions à traiter; ou encore lors de la réalisation de projets, l'élève fait des recherches, apporte du matériel, communique ses découvertes ;
- Déclenche la motivation, l'intérêt et la participation, même de l'élève plus lent ou en difficulté.

L'intégration disciplinaire apporte donc une multitude d'avantages pour l'élève. Ces nombreux bénéfices sont les raisons d'être du projet de ce mémoire. Ce projet utilise la robotique, c'est-à-dire un sujet complexe et motivant dont l'étude nécessite inévitablement l'apport de plusieurs disciplines. Dans notre projet, l'addition à l'intérieur d'un seul et même cours de concepts provenant des mathématiques, de la physique, de la biologie, de l'électronique et de la technologie crée une nouvelle discipline : la robotique. Nous croyons que le projet de robotique est, par conséquent, un bel exemple de projet d'intégration transdisciplinaire.

2.6.5 Évaluation d'un projet interdisciplinaire

Nicole Rege Colet (2003) de l'université de Genève a élaboré une méthode d'évaluation quantitative d'un projet interdisciplinaire (au Québec on parlerait plutôt de projet transdisciplinaire). Cette méthode est très intéressante et sera utilisée ultérieurement lorsque viendra le temps d'évaluer le projet de robotique.

Selon Colet (2003), l'interdisciplinarité signifie « entre deux disciplines ». Le terme désigne donc toute forme de collaboration entre les disciplines. Selon Piaget (1972), on peut distinguer trois formes de collaboration : la pluridisciplinarité, l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité. Ces termes ayant été définis précédemment, nous ne nous attarderons pas à leur(s) définition(s).

Toujours selon Colet (2003), trois principes constituent les fondements de la démarche interdisciplinaire :

Premier principe : « Tout projet interdisciplinaire suppose la mise en présence d'au moins deux disciplines scientifiques appelées à se compléter, soit pour dégager une image plus complexe de la réalité, soit pour résoudre un problème complexe qui ne peut pas être pris en charge par une seule discipline »

Deuxième principe : « Pour que cette intégration puisse avoir lieu, il y a nécessité de prévoir une collaboration entre les représentants des disciplines sollicitées »

Troisième principe : « Le résultat attendu de l'intégration et de la collaboration prend la forme d'une synthèse. Celle-ci représente soit une nouvelle représentation de la réalité soit la solution du problème soumis à l'examen »

Ces trois principes sont interdépendants et permettent de construire « le projet interdisciplinaire ». Cette conception de l'interdisciplinarité d'après Colet (2003) suppose une dimension cognitive fondée sur le principe d'intégration et, d'autre part, une dimension pragmatique basée sur le principe de collaboration.

« La dimension cognitive concerne le principe interdisciplinaire d'intégration. De ce fait, elle s'intéresse à la manière d'organiser les savoirs selon le principe d'une intégration des champs disciplinaire plutôt qu'une division par discipline : classification par discipline ou par problème. La dimension pratique s'adresse au principe interdisciplinaire de la collaboration et aux problèmes d'organisation du travail et au partenariat entre les représentants des disciplines sollicitées. (...) Ces deux dimensions sont totalement corrélées et leurs interactions produisent la synthèse. »



Figure 9 : L'interdépendance de la dimension cognitive et pratique dans le but de quantifier l'efficacité d'un projet interdisciplinaire (Colet 2003)

Compte tenu de cette interdépendance, tout projet interdisciplinaire doit chercher à maintenir un rapport équilibré entre les deux dimensions mentionnées plus haut. C'est cet équilibre qui caractérise un projet interdisciplinaire. En effet, si l'organisation du travail devient prédominante, l'excès d'attention apporté à la collaboration se fera aux dépens de la réflexion sur l'intégration des savoirs. Le résultat sera une simple juxtaposition des connaissances qui relève d'une démarche pluridisciplinaire. À l'inverse, le projet évoluera vers la disciplinarité si les questions relatives à l'organisation des savoirs prédominent. Compte tenu des principes d'interdisciplinarité et des dimensions qui la composent, Colet (2003) définit l'indice d'interdisciplinarité Ind_{ID} comme étant la différence entre l'organisation des savoirs et l'organisation du travail.

$$Ind_{ID} = \left(\begin{array}{c} \text{Scores obtenus} \\ \text{pour} \\ \text{l'organisation} \\ \text{des savoirs} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{Scores obtenus} \\ \text{pour} \\ \text{l'organisation du} \\ \text{travail} \end{array} \right)$$

Figure 10 : Définition de l'indice de l'interdisciplinarité (Colet 2003)

Le questionnaire construit par Colet quantifie donc l'organisation du savoir en évaluant le contenu, les apprentissages, les objectifs pédagogiques et les méthodes d'évaluation. Quant à l'organisation du travail, il est quantifié grâce à une évaluation portant sur l'équipe enseignante, le travail de groupe, l'interactivité et l'aménagement du cadre. Lors de l'évaluation de ces deux dimensions, trois résultats sont donc possibles :

- L'organisation du savoir est égale à l'organisation du travail, l'indice d'interdisciplinarité égale 0, ce qui veut dire que nous sommes en présence d'un projet interdisciplinaire.
- L'organisation du savoir est supérieure à l'organisation du travail, l'indice d'interdisciplinarité sera donc plus grand que 0. Nous sommes en présence d'un projet disciplinaire. De fait, plus l'indice est élevé, plus le projet sera considéré comme disciplinaire.
- L'organisation du savoir est inférieure à l'organisation du travail, l'indice d'interdisciplinarité sera donc inférieur à 0; nous sommes donc en présence d'un projet pluridisciplinaire. Comme précédemment, plus l'indice est élevé, plus le projet sera considéré comme pluridisciplinaire

On peut synthétiser avec le schéma suivant :

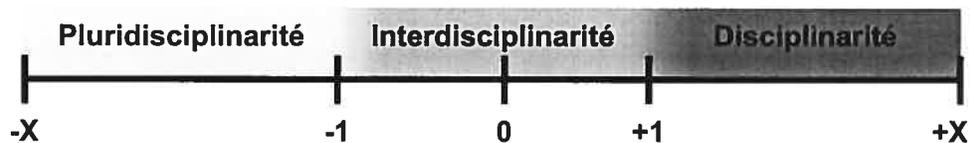


Figure 11 : L'échelle de l'indice d'interdisciplinarité (Colet 2003)

Comme la frontière entre la pluridisciplinarité, l'interdisciplinarité et la disciplinarité n'est pas absolue, un projet sera considéré comme interdisciplinaire si son indice Ind_{ID} se situe dans l'intervalle $[-1 \text{ et } +1]$.

2.7 Considérations sur la motivation en classe

La motivation est l'une des principales causes de la réussite ou de l'échec scolaire. Selon l'interlocuteur, les racines de la motivation scolaire sont diverses. Pour le didacticien, la motivation de l'élève se trouve dans les méthodes utilisées par l'enseignant. Pour le sociologue de l'éducation, de nombreux facteurs tels le nombre de redoublement ou l'appartenance socioprofessionnelle jouent un rôle clef dans la motivation des élèves. Les enseignants, quant à eux, parlent de la quête du "sens" comme source de motivation. Selon les enseignants, c'est l'absence de compréhension de la part des élèves des finalités de l'apprentissage scolaire en particulier et de l'éducation en général qui affecte la motivation

des élèves (Fenouillet 1999). Dans notre projet, le thème de la robotique sert justement à donner un sens aux apprentissages acquis par les élèves. Sans véritablement s'en rendre compte, les élèves côtoient chaque jour différentes formes d'automates ou de robots complexes. De plus en plus, la robotique est appelée à faire partie du quotidien des élèves. Elle permet donc d'ancrer les apprentissages dans une réalité familière. De plus, depuis les premiers films de science-fiction, le cinéma a fait naître une fascination chez plusieurs générations pour toutes sortes de petits et gros robots. Nous croyons que ce thème accrocheur saura motiver les élèves en donnant un sens à leurs apprentissages.

2.7.1 La motivation en science : un constat d'un échec

Nous avons vu précédemment qu'il existe une nécessité de favoriser et de soutenir l'éducation scientifique et technologique. Tenant compte de cet état de fait, la formation du citoyen, mais en particulier sa formation scientifique et technologique, est appelée à devenir un élément de plus en plus déterminant afin de lui permettre de participer au progrès de la société. À cette fin, l'école doit remplir un double rôle de formation : premièrement, celui de former les futurs scientifiques et ingénieurs dont la société a besoin; deuxièmement, elle doit aussi initier, sensibiliser et offrir une éducation de base pour l'ensemble des citoyens aux sciences et à la technologie (Inchauspé 1997). Malheureusement, plusieurs recherches, dont plusieurs parrainées par l'UNESCO, confirment l'échec relativement important de l'enseignement des sciences :

« Les résultats de la recherche montrent que les élèves n'ont pas acquis l'esprit scientifique. L'intérêt pour les sciences, au lieu d'augmenter, régresse. Et pire encore, l'enseignement des sciences, via le système des voies, favorise l'élitisme plutôt que l'acquisition d'une culture scientifique. Nos élèves ont non seulement la tête bien vide, mais aussi mal faite. » (Unesco, 1994 b)

L'école actuelle ne réussit donc pas à remplir une partie de son double rôle, c'est-à-dire la formation scientifique de base du citoyen. De là l'origine de la réforme du système d'éducation en ce qui concerne les sciences. Plusieurs causes peuvent expliquer cet insuccès dans nos écoles.

2.7.1.1 La faute à l'approche 'top down' dans l'élaboration des programmes d'études

Les programmes d'études actuels, quelle que soit la discipline, sont essentiellement construits par des spécialistes de cette discipline. Ce programme est normalement le fruit d'un consensus entre des spécialistes qui déterminent le contenu des programmes. Lors de l'élaboration d'un programme, le point de départ est, plus souvent qu'autrement, les pré-requis universitaires. Ensuite, par réduction, on détermine les programmes d'études des niveaux antérieurs jusqu'au primaire. Ainsi, comme le souligne Fourez (1992) (Giordan et Girault, 1994 b) :

" Nos manières d'enseigner les sciences sont-elles centrées sur des théories et des modèles intéressants pour les élèves; ou, au contraire, notre enseignement est-il centré sur les intérêts des scientifiques ? Parfois nos cours de sciences ne sont-ils pas plus une manière de les faire entrer dans le monde des scientifiques, qu'une façon de les aider à explorer leur monde à eux ? Autrement dit, enseignons-nous la biologie, la chimie, la physique, les mathématiques ou enseignons-nous aux jeunes à se débrouiller dans le monde ?"

Selon Giordan (1994), les programmes devraient plutôt être conçus afin de développer chez les jeunes un esprit d'observation et d'émerveillement face aux phénomènes « de la nature » et favoriser l'autonomie et la liberté de chacun en lui fournissant les clés de son environnement actuel (Giordan et Girault, 1994 c). La réforme, par son accent mis sur l'acquisition de compétences transversales, ouvre une porte en ce sens, tout comme notre projet de robotique.

2.7.1.2 Le cloisonnement des disciplines et le découpage des objectifs

Une seconde lacune des anciens programmes d'enseignement scientifique dans nos écoles secondaires est la compartimentation des disciplines ainsi que le découpage de leurs objectifs principaux en une multitude de sous-objectifs. Même s'il est vrai qu'un tout petit objectif est plus facile à atteindre, celui-ci devient généralement si étroit et spécialisé à une discipline et un contexte particulier que, pour l'élève, il perd toute sa signification et n'est donc plus transférable. Ce que l'élève vient d'apprendre en réussissant ce tout petit objectif, minces sont les chances qu'il le réinvestisse ailleurs, faute de signification. De plus, selon

Martel (1996), il est inexact de croire que dans tous les cas, la réussite d'une série de sous-objectifs par l'élève équivaut à l'atteinte d'un objectif plus global. D'autant plus que les programmes scientifiques comportent tellement d'objectifs à atteindre que les enseignants sont souvent plus préoccupés par l'atteinte des objectifs que par l'intérêt de susciter le goût des sciences chez les élèves. Notre projet, en se conformant à l'actuelle réforme de l'éducation, tire un trait sur les apprentissages par objectifs et cherchera plutôt à inculquer des compétences chez les élèves.

2.7.1.3 Le ghetto scientifique

Un autre élément nuisible à la poursuite d'études en sciences est que les sciences sont largement perçues comme un ghetto réservé à une certaine élite. Une croyance populaire très répandue veut que seuls les plus intelligents de notre société puissent prétendre réussir en sciences et mener une carrière à caractère scientifique. Cette croyance est, évidemment, fautive. Quiconque possède une curiosité pour le monde qui l'entoure, le désir d'en savoir toujours plus et de comprendre pourquoi la nature est ainsi faite peut faire une carrière en science. Le but des sciences à l'école devrait être de développer chez les jeunes cette curiosité afin de les inciter à faire carrière en science. Malheureusement, les sciences font souvent partie des nombreux critères d'admission pour plusieurs programmes collégiaux ou universitaires contingentés. Conséquemment, un trop grand nombre de jeunes choisissent l'option scientifique par obligation afin de remplir les critères d'admissions, et pas nécessairement pour l'amour des sciences. Nous croyons que le thème de notre projet, la robotique, créera un intérêt pour tous les élèves envers ce cours, ce qui devrait les inciter à s'inscrire et venir faire des sciences et de la technologie. Le projet a été conçu afin d'intéresser le plus grand nombre d'élèves possible, et nous croyons que les apprentissages nécessaires pour accomplir chacun des projets sont à la portée de tous les élèves de 3^e secondaire.

2.7.1.4 Les méthodes d'enseignement et d'apprentissage

Les moyens, les méthodes et les stratégies d'enseignement de la science et de la technologie ne semblent pas adaptées à motiver une génération pour laquelle la télévision et les nouveaux médias jouent un grand rôle.

Les écoles disposent de très peu d'équipements afin d'enseigner les sciences et la technologie, tout en faisant face au défi de l'autoroute de l'information (Martel 1996). Dans son rapport sur les aspects qualitatifs de l'enseignement des sciences dans les pays francophones, Giordan (1994 c) expose plusieurs études révélant le triste constat de la réduction des séances de travail expérimental. Au secondaire et surtout au deuxième cycle, l'enseignant utilise principalement une approche déductive. La démonstration est souvent privilégiée au dépend de l'expérimentation, la démonstration étant normalement retenue comme preuve suffisante. De plus, toujours selon Giordan, la plupart des maîtres font plus confiance aux exercices théoriques qu'aux observations expérimentales, afin d'assurer le succès des élèves aux examens, et qu'à la hiérarchisation des concepts et à la résolution des multiples et riches problèmes que posent la réalisation de toute expérience. Les cours de sciences sont donc perçus comme un lieu où l'on empile des notions, où l'on apprend des recettes, mais où l'on applique très peu la science. Règle générale, on met beaucoup plus l'accent sur la théorie que sur la pratique. Cette façon de faire ne contribue en rien à accroître l'intérêt des jeunes pour les sciences. Les rares expérimentations que les jeunes peuvent pratiquer, lorsque l'équipement le permet, sont alors perçues comme des distractions plutôt que des moyens d'apprentissage de la science et de la démarche scientifique. (Martel 1996). Par son emphase sur l'apprentissage en projet, le projet de robotique cherche donc à renverser cette tendance.

Mais au Québec, rien ne laisse croire que la sous-utilisation de l'expérimentation est due à un manque de moyens techniques. Depuis le rapport Parent, toutes les nouvelles polyvalentes disposent de locaux et du matériel adéquat nécessaire à l'expérimentation. Alors si la faute ne revient pas au manque de facilité ou aux moyens techniques, pourquoi les enseignants se rabattent-ils trop souvent sur un enseignement traditionnel magistral au lieu de faire de l'expérimentation? Une partie de la réponse se trouve dans la taille des groupes. Au Canada, dans les classes de secondaire 2^e cycle, la moyenne des élèves par classe se situe à 27 (Orpwood, 1984). Il est alors évident que la pratique de réels travaux d'expérimentation représente une lourde tâche que l'enseignant décide d'affronter le moins souvent possible, car celui-ci ne dispose, la plupart du temps, d'aucun technicien de laboratoire pour l'appuyer. De plus, la trop grande quantité de contenu notionnel et le manque de temps pour tout voir en classe incitent les enseignants à privilégier un enseignement magistral.

2.7.2 Comment accroître la motivation ?

Il nous est donc possible de faire un triste constat : l'école semble inapte à donner le goût de la science et de la technologie aux élèves. Elle échoue dans ses tentatives visant à susciter la motivation nécessaire afin de poursuivre dans cette voie. Le vent de réforme qui traverse nos écoles a pour but de renverser cette triste réalité. Voici quelques approches visant à accroître la motivation des élèves. Toutes les approches qui suivent seront fortement privilégiées dans le projet de robotique.

2.7.2.1 Accroître la motivation par une approche par projet

Selon Bellavance (1995), un projet vise à donner une forme à un avenir proche ou éloigné, à envisager la transformation d'une réalité et à imaginer une situation dont l'élève est l'acteur. Un projet, c'est ce qu'on a l'intention de faire, c'est une production en devenir ou une action en puissance. Il nécessite donc un choix de buts à poursuivre et, par conséquent, de la stratégie à élaborer, stratégie qui inclut des ressources, des savoirs (savoir, savoir-faire, savoir-être) et des actions adaptées au but. Un projet, c'est donc une activité qui permet la mobilisation de savoirs et savoirs-faire acquis, ainsi que la construction de compétences.

Une pédagogie de projet en classe peut être une source de motivation pour les élèves pour plusieurs raisons. D'abord parce que les enjeux des projets importent souvent aux élèves : pour ceux-ci, ces enjeux ne sont pas d'abord d'apprendre ou de comprendre, mais de *réussir*, d'atteindre un but, de recevoir une rétroaction positive d'un destinataire ou d'avoir la satisfaction du travail accompli et du défi relevé (Perrnoud 1999). Ensuite, parce que le projet permet de donner un sens aux apprentissages : un projet confronte l'élève à de « vrais » problèmes, qui ne sont pas des exercices scolaires, mais des problèmes réels à résoudre. Le transfert de connaissances et/ou de compétences devient alors possible dans un domaine de vie significatif à l'élève. De plus, parce qu'il est le principal metteur en scène du processus d'apprentissage, l'élève sera beaucoup plus enclin à s'investir dans les différentes activités d'apprentissage. Comme nous l'avons mentionné précédemment, nous croyons que des projets sur le thème de la robotique sont d'excellents moyens de donner un sens aux apprentissages.

2.7.2.2 Accroître la motivation en développant des compétences

Une compétence est une capacité d'action efficace, face à une famille de situations, qu'on arrive à maîtriser parce qu'on dispose à la fois des connaissances nécessaires et de la capacité de les mobiliser à bon escient, en temps opportun, pour identifier et résoudre de vrais problèmes. (Perrnoud 1999). Ainsi, il est beaucoup plus profitable de développer chez l'élève des compétences qu'il pourra mobiliser ou transférer dans des problèmes non-scolaires que de simples connaissances dont il ne saura que faire, une fois les murs de l'école franchis. Ces compétences transférables, c'est ce qu'Inchauspé (Inchauspé 1997 p64) appelle des compétences transversales, c'est-à-dire la capacité pour l'élève de transposer dans différents secteurs d'activités un savoir ou un savoir-faire acquis dans un contexte particulier. Il est fort probable que le développement de compétences chez l'élève aidera à accroître sa motivation au fur et à mesure que celui-ci se sentira compétent dans l'exécution d'un nombre sans cesse croissant de nouvelles tâches. L'une des approches possibles du développement de compétences est une approche constructiviste.

2.8 Considérations sur le constructivisme

En enseignement, mais plus particulièrement en enseignement des sciences, il existe un courant de pensée favorisant une méthode d'acquisition des connaissances qui suscite des savoirs-faire et de l'initiative chez l'élève. Ce courant de pensée favorise une approche par induction de l'enseignement, que l'on appelle le constructivisme. D'abord énoncé par Piaget vers les années 1970, cette philosophie éducative a été reprise et enrichie par plusieurs penseurs en sciences de l'éducation. Bondin (1998) résume en six grandes idées ce qui caractérise le constructivisme. Le projet de robotique offre un environnement d'apprentissage favorisant la mise en œuvre de chacune de ces grandes idées.

Première idée : L'individu seul décide d'investir l'énergie nécessaire à ses apprentissages.

La loi sur l'instruction publique oblige le jeune à aller à l'école, mais elle ne peut le forcer à apprendre. L'enseignant, avant même d'organiser des activités d'apprentissage, doit faire prendre conscience à l'élève de l'importance du savoir à construire, lui faire part des avantages et des inconvénients associés à cet apprentissage et le convaincre de dépenser l'énergie nécessaire à la réalisation de la nouvelle connaissance. (Blondin et Trân 1991)

L'élève doit volontairement s'impliquer dans la tâche. L'impact de l'activité sur les apprentissages de l'élève ne sera pas le même si celui-ci a été contraint d'y participer.

Deuxième idée : L'individu construit ses savoirs.

Que la stratégie d'enseignement utilisée par l'enseignant soit du domaine de l'induction ou de la déduction, le rôle de l'enseignant est de transmettre les savoirs à l'élève. Celui-ci ne peut apprendre pour l'élève. Rappelons-nous le fameux triangle didactique (Houssaye 1998) :

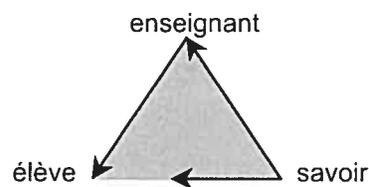


Figure 12 : Le triangle pédagogique

On peut donc se représenter l'enseignant comme un catalyseur à l'assimilation des connaissances par l'élève. Mais, la connaissance ne peut être le résultat d'une réception passive chez l'élève. Elle constitue au contraire le produit d'une activité (Von Glaseersfeld, Ernst, 1988). L'individu est donc le premier responsable de ses apprentissages.

Troisième idée : La construction dépend des connaissances antérieures de l'individu.

Chaque activité d'apprentissage met en jeu plusieurs connaissances antérieures et expériences de vie qui sont propres à l'individu et qui influenceront sa perception et sa façon de construire ses nouvelles connaissances. Lorsque l'on apprend quelque chose de nouveau, notre esprit tisse des liens avec des concepts appris antérieurement. Les connaissances antérieures forment une base nécessaire à la construction du nouveau savoir, selon Von Glaseersfeld (1988b)

Quatrième idée : La construction des savoirs est adaptative.

Parce qu'une nouvelle connaissance ne se construit qu'à partir de connaissances antérieures, il n'est pas exclu que l'ajout de cette nouvelle connaissance ne rende nécessaire une réorganisation du réseau. Driver (1989) confirme cette notion :

« Learning is thus as an adaptative process, one in which the learners' conceptual schemes are progressively reconstructed so that they are keeping with a continually wider range of experiences and ideas. It is also seen as an active process of "sense making" over which the learner has some control" »

Cinquième idée : L'individu apprend en interagissant avec l'environnement, il perçoit.

L'environnement physique est un facteur important de l'activité d'apprentissage. Filtrées par nos connaissances antérieures, toutes les stimulations sensorielles provenant de l'environnement d'apprentissage provoquent un réajustement de nos connaissances. Ainsi selon Aster et al. (1985) :

« Pour construire leur propre savoir, les élèves ont besoin d'activités d'investigation, d'expérience « pour voir », faisant une large place à des phases d'essais et tâtonnement en situation d'autonomie »

Sixième idée : L'individu apprend en interagissant avec les autres (ses pairs, les autres humains).

À l'école, l'élève est confronté à trois types d'interactions sociales : les interactions entre l'enseignant et toute la classe, les interactions entre les pairs avec l'interaction de l'enseignant et les interactions entre les pairs sans l'interaction de l'enseignant. Chacune de ces interactions est appréhendée par l'individu selon ses connaissances antérieures. Chacune de ces innombrables interactions, qui ont lieu lors d'une journée de classe, peut provoquer bon nombre de confrontations d'idées très profitables, de remises en question et de réorganisations des connaissances.

2.9 La réforme de l'éducation

Le ministère de l'Éducation du Québec, tous comme nous dans l'élaboration de ce projet, a accordé une grande importance à chacune des considérations théoriques énoncées précédemment ainsi que sur le constructivisme. Il en résulte une réforme dont les principaux aspects vous seront brièvement synthétisés. Cette réforme est d'une importance majeure

pour notre système d'éducation, mais également pour notre projet de robotique. Car, la toute première condition à la réussite du projet présenté dans ce mémoire est qu'il puisse s'intégrer à l'intérieur de l'actuelle réforme de l'éducation afin de pouvoir éventuellement être vécu dans un certain nombre de classes à travers la province. Celui-ci n'a donc pas été pensé en fonction des programmes actuels, mais des programmes qui sont et seront mis de l'avant au troisième secondaire dès 2007. Voilà pourquoi la synthèse qui suit s'impose d'elle-même.

En 1995, soit trente ans après le rapport Parent, un vaste mouvement de réflexion s'est amorcé au Québec afin de redéfinir le « contrat éducatif québécois ». Car, faut-il le préciser, le Québec a, pendant ces décennies, dû s'adapter à une toute nouvelle réalité (Linette 2003):

- Aujourd'hui le Québec est un joueur à part entière d'une nouvelle économie mondiale marquée par l'internationalisation des marchés et l'explosion des communications. Cette nouvelle économie crée inévitablement de nouveaux besoins pour le marché du travail.
- Grâce au développement exponentiel des technologies de l'information et des communications, les sciences et les nouvelles technologies repoussent de jour en jour les limites du savoir humain et font littéralement exploser la somme des nouvelles connaissances.
- Depuis plus de 20 ans, on a beaucoup appris sur le fonctionnement du cerveau pendant l'apprentissage. De nouvelles stratégies d'apprentissage voient le jour.

Ainsi, des états généraux sur l'éducation sont convoqués en vue de faire le point sur l'état de la situation et de définir les orientations et les besoins du système d'éducation pour les années à venir. De ces états généraux aboutiront le rapport de M. Paul Inchauspé en 1997. Ce rapport émet une série de recommandations qui établiront les bases de la refonte du curriculum scolaire au primaire et au secondaire. En 2001, les intentions ministérielles, en ce qui concerne le développement de l'élève dans toutes les dimensions de sa personne, sont mises en lumière dans : *Le programme de formation à l'école québécoise*. Ce document, pièce maîtresse de la réforme, précise les visées et les orientations qui guideront les choix éducatifs des enseignants et de l'ensemble du personnel des écoles.

Le programme de formation est essentiellement basé le socio-constructivisme, une

pédagogie centrée sur l'élève cherchant à construire ses propres apprentissages à partir des interactions qu'il établit avec ses pairs et à partir de ses intérêts. Le programme de formation de l'école québécoise (MEQ 2002) « permet à l'élève de développer des compétences pour faire face aux multiples situations de la vie courante. Pour ce faire, il doit nécessairement acquérir des connaissances et savoir quand et comment les utiliser. Le programme reconnaît l'apprentissage comme un processus actif dont l'élève est le premier artisan. L'apprentissage sera favorisé par des situations qui représentent un réel défi pour l'élève. » Trois points marquants caractérisent cette réforme. Regardons ces points d'un peu plus près.

2.9.1 Premier point marquant : Le développement de compétences transversales

L'un des éléments majeurs du programme de formation est le développement chez l'élève de compétences transversales, c'est-à-dire des savoirs, savoir-faire et savoirs-être acquis à l'école et qui lui serviront à comprendre le monde dans lequel il évolue et le guideront dans ses actions. Ces compétences sont dites « transversales » car « certaines compétences sont communes à toutes les disciplines et s'appliquent à plusieurs situations concrètes. Leur développement est un processus évolutif qui se poursuit tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des murs de l'école et bien au-delà de la fin du primaire, car il n'est jamais complètement achevé » (MEQ 2002). Ces compétences transversales sont au nombre de neuf et classées selon quatre ordres :

D'ordre intellectuel	<ul style="list-style-type: none"> • Exploiter l'information • Résoudre des problèmes • Faire preuve de jugement critique • Exploiter sa créativité
D'ordre méthodologique	<ul style="list-style-type: none"> • Réaliser des projets • Maîtriser les TIC • Pratiquer des méthodes efficaces de travail intellectuel
D'ordre personnel et social	<ul style="list-style-type: none"> • Affirmer son identité personnelle et sociale • Interagir positivement • Faire preuve de sens éthique
De communication	<ul style="list-style-type: none"> • Communiquer de façon claire, précise et appropriée • Rendre compte de sa compréhension

Table 1 : Les compétences transversales

2.9.2 Deuxième point marquant : Les domaines généraux de formation

Les domaines généraux de formation constituent un ensemble de grandes questions que les jeunes doivent aborder tout au long de leur cheminement scolaire. Cinq domaines généraux de formation ont été retenus et «recouvrent diverses facettes des intérêts ou des besoins de l'élève et répondent à des attentes sociales importantes en matière d'éducation » (MEQ 2002) :

- *Santé et bien-être* : Amener l'élève à adopter une démarche réflexive dans le développement de saines habitudes de vie sur le plan de la santé, du bien-être, de la sexualité et de la sécurité. (MEQ 2005 p.44)
- *Orientation et entrepreneuriat* : Offrir à l'élève des situations éducatives lui permettant d'entreprendre et de mener à terme des projets orientés vers la réalisation de soi et l'insertion dans la société. (MEQ 2005 p.45)
- *Environnement et consommation* : Amener l'élève à entretenir un rapport dynamique avec son milieu, tout en gardant une distance critique à l'égard de l'exploitation de l'environnement, du développement technologique et des biens de consommation. (MEQ 2005 p.47)
- *Médias* : Développer chez l'élève un sens critique et éthique à l'égard des médias et lui donner des occasions de produire des documents médiatiques en respectant les droits individuels et collectifs.(MEQ 2005 p.49)
- *Vivre-ensemble et citoyenneté* : Permettre à l'élève de participer à la vie démocratique de l'école ou de la classe et de développer des attitudes d'ouverture sur le monde et de respect de la diversité. (MEQ 2005 p.50)

2.9.3 Troisième point marquant : Les domaines d'apprentissage

Chacun des quatorze programmes disciplinaires qui précisent les savoirs essentiels propres à la discipline définissent également leurs propres compétences disciplinaires. Ces disciplines ont été regroupées dans cinq domaines d'apprentissage :

- *Les langues* : français langue d'enseignement, anglais langue seconde, français accueil
- *La mathématique, la science et la technologie* : mathématique, science et technologie

- *L'univers social* : univers social
- *Les arts* : art plastique, art dramatique, musique, danse
- *Le développement personnel* : morale, éducation physique et la santé, enseignement morale et religieux catholique, enseignement moral et religieux protestant

Tous ces programmes sont élaborés par compétences. Chaque programme comporte une série de compétences disciplinaires qui lui est propre et qui correspond aux visées de formation propre à chaque discipline et aux savoirs essentiels s'y rattachant.

La suite de notre synthèse portera sur l'un des domaines d'apprentissage : mathématiques, science et technologie. En fait, elle portera sur la moitié de ce domaine : la science et technologie. En effet, malgré qu'ils partagent le même domaine d'apprentissage, les mathématiques et la science et technologie forment deux programmes disciplinaires distincts. On pourrait longuement débattre de ce choix, mais nous ne le ferons pas dans le cadre de ce mémoire. Nous nous attarderons donc sur le programme de sciences et technologie.

2.9.4 Le programme disciplinaire : science et technologie

Un bref coup d'œil au programme de formation permet de constater un changement majeur : le décloisonnement des disciplines scientifiques. Désormais, plus de physique, de biologie, d'écologie et de technologie ! Pour les quatre premières années du secondaire, ces disciplines ne s'enseignent plus séparément. Les principaux concepts et compétences qui les définissaient sont désormais intégrés dans une seule discipline : la science et technologie. Cette fusion des disciplines n'a qu'un seul but avoué (MEQ 2001) : *développer chez les élèves le goût de faire des sciences en offrant un programme plus dynamique qui met l'accent sur la pratique*. En effet, cette fusion favorise la mise sur pied de situations-problèmes qui donnent un sens aux apprentissages et favorise ainsi la motivation des élèves. Voici selon le Ministère de l'Éducation (2001) les points forts du programme :

- Donner de la place à la curiosité, au questionnement et à l'esprit d'initiative.
- Faire de la science et de la technologie des activités humaines qui ont une histoire, qui sont influencées par des contextes (environnementaux, sociaux, etc.) et qui influencent à leur tour la société.
- Développer une culture scientifique et technologique et un esprit critique nécessaire

à tout citoyen lorsque vient le temps de prendre des décisions ou de prendre position.

- Donner plus de place à la technologie. Il est important que tout citoyen sache qu'avant de se retrouver sur les tablettes, tous les objets, des plus simples aux plus complexes, passent par un processus qui part de la recherche des besoins suivis de la conception, la production et la mise en marché.
- Permettre à l'élève de découvrir les particularités de la communication en science et en technologie par la compréhension et l'utilisation de termes de plus en plus spécialisés, de symboles, de graphiques, de schémas et de dessins.
- Mettre en lumière la complémentarité qui existe entre la science et la technologie, et les liens avec la société et l'environnement.

Il est impératif que notre projet soit en accord avec le programme disciplinaire prescrit par le ministère pour que des enseignants puissent l'utiliser en classe. Mais, nous ne nous sommes pas uniquement contentés de cette prémisse pour justifier nos choix dans la construction du projet. Nous avons évidemment tenu compte de chacune des considérations théoriques précédentes et suivantes.

2.10 La démarche scientifique et la démarche technologique

Dans un cours de science, la démarche scientifique est un incontournable. Mais, dans un cours de sciences et technologie, cette démarche est, en elle seule, insuffisante. La démarche technologique devra également être maîtrisée par les élèves... et les enseignants!

2.10.1 La démarche scientifique en classe

La démarche scientifique est un outil d'investigation du réel reposant sur l'observation et le questionnement. Cette démarche est bien connue des enseignants du secondaire et est utilisée dans tous les cours de sciences. L'Institut Universitaire de Formation des Maîtres de l'Académie de Créteil (2005) synthétise la démarche scientifique par la figure suivante :

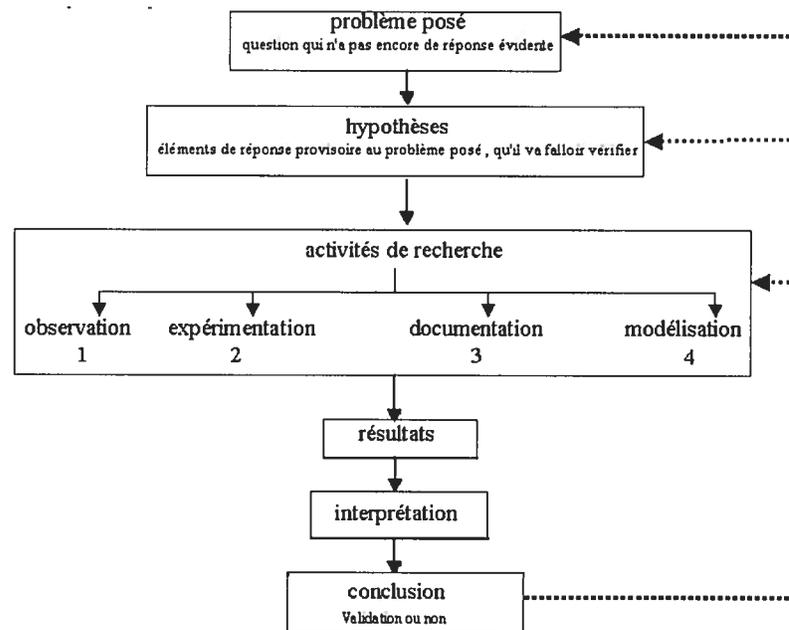


Figure 13 : La démarche scientifique

Dans ce modèle, la démarche scientifique débute par un problème, posé à élève, qui est sans réponse. Celui-ci émettra, sur la base de ses connaissances antérieures, une ou des hypothèses afin de résoudre le problème posé. L'élève devra ensuite réaliser une ou plusieurs activités de recherche qui permettra de valider ses hypothèses. Dans ce modèle, l'activité de recherche peut prendre quatre formes : l'observation, l'expérimentation, la documentation ou la modélisation. Le choix de l'une ou l'autre de ces démarches se fera selon son efficacité à procurer des données utiles à l'élève. Il est souvent nécessaire d'avoir recours à plusieurs de ces démarches.

Dans le projet de robotique que nous expérimentons avec les élèves, la démarche scientifique n'est pas suffisante. Les élèves, lors de la résolution de situations-problèmes, ne devront pas simplement rechercher de nouvelles connaissances comme le permet la démarche scientifique, ils devront également trouver une solution à des problèmes d'ordre technologique. La conception d'un objet technologique nécessite une tout autre approche et, par conséquent, une seconde démarche sera nécessaire : la démarche technologique. Nous présenterons ici deux modèles de démarche technologique.

2.10.2 Le modèle du Ministère de l'Éducation du Québec

La réforme du système d'éducation du Québec qui s'amorce au secondaire en 2005-2006 transforme en profondeur les pratiques enseignantes, mais aussi tout le curriculum scolaire. Désormais, la science et la technologie ne feront plus bande à part, mais formeront un tout interdépendant. C'est pourquoi le MEQ nous présente la démarche scientifique et la démarche technologique dans une même figure et comportant des points et interactions communs. Notons tout d'abord que cette démarche n'est pas linéaire, elle permet des boucles de retour. Ces boucles permettent à l'élève d'avoir des remises en question et de revenir aux étapes précédentes afin de modifier sa démarche.

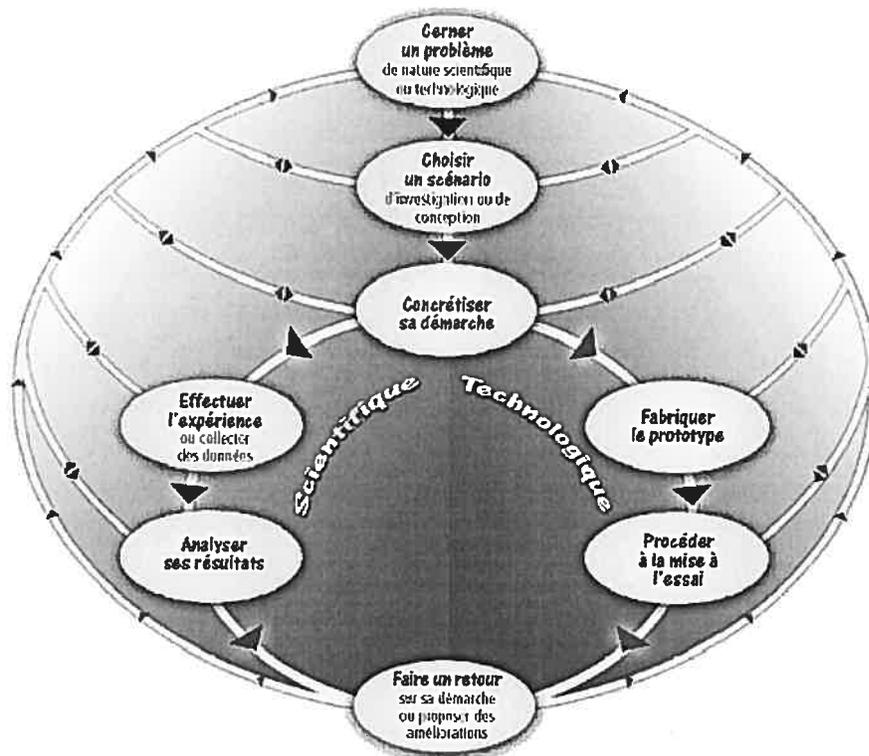


Figure 14: La démarche scientifique et technologique du Ministère de l'Éducation

Le point de départ de la démarche, « Cerner un problème », se déroule dans une situation de projet prenant la forme d'une situation-problème à résoudre et une mise en situation contextualisée est proposée à l'élève. Le premier travail de l'élève se résume donc à l'intérieur de cette mise en situation de bien cerner le problème à résoudre. Selon le MEQ (2005, p227) :

« Chercher des réponses ou des solutions à un problème technologique repose sur un processus itératif et non linéaire. Cela exige de circuler entre les différentes phases de la résolution d'un problème et de mobiliser des démarches, des stratégies, des principes et des concepts. L'articulation de ces diverses ressources suppose que l'on est aussi en mesure de les adapter en tenant compte de la situation et de son contexte. La résolution d'un problème commence toujours par la construction de sa représentation. Elle peut initialement être peu développée et exiger plusieurs ajustements en cours de processus. En effet, des apprentissages nouveaux, l'accès à des connaissances antérieures, des échanges d'idées avec les pairs ou l'enseignant, des résultats expérimentaux imprévus, de nouvelles informations peuvent donner lieu à des reformulations plus fines. »

Cette recherche de réponses ou de solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique constitue la première d'une série de trois compétences disciplinaires à développer chez les élèves. Mais avant de trouver une solution à un problème, encore faut-il le cerner correctement. Pour ce faire, l'élève doit être en mesure de :

- considérer le contexte de la situation-problème,
- se donner une représentation du problème,
- identifier les éléments pertinents,
- reformuler le problème en faisant appel à des concepts scientifiques et technologiques,
- proposer une première explication ou solution du problème.

L'étape suivante de la démarche est de choisir un scénario d'investigation ou de conception. Donc, sur la base de la représentation du problème, l'élève devra *mettre à profit ses connaissances scientifiques et technologiques* et bâtir différents scénarios de résolution de problème. Cette seconde étape correspond également à la seconde compétence disciplinaire du programme de science et technologie. Pour ce faire, l'élève devra comprendre les principes scientifiques en cause dans le problème ainsi que les principes sur lesquels repose la conception d'objets ou de systèmes technologiques. Il devra décrire les principes de fonctionnement et de construction de son prototype ainsi que de s'en donner une représentation schématique. À ce moment, la démarche suppose également une

planification d'actions qui tiennent compte des contraintes imposées par l'environnement de travail et les matériaux disponibles. Finalement, l'élève devra retenir un scénario et planifier sa mise en œuvre.

Le scénario étant choisi, viendra ensuite le moment de concrétiser sa démarche. C'est sur ce point que les démarches scientifique et technologique se dissocient. Lors d'une démarche scientifique, on concrétisera notre scénario en effectuant une expérience. Mais, dans la démarche technologique, l'élève concrétisera son scénario en fabriquant son prototype et en procédant à la mise à l'essai. Il est fort probable que l'élève ait à ajuster ses manipulations ou à chercher une nouvelle piste de solution. L'élève, lors de la réalisation de son prototype, même s'il est inachevé, pourrait noter de nouveaux éléments ou des observations inattendues, et devra alors revenir aux étapes précédentes afin de revoir sa démarche.

Finalement, l'élève devra faire un retour sur sa démarche et proposer des améliorations. Ces améliorations pourront être de deux ordres. Il pourra d'abord chercher des améliorations possibles sur son prototype et rechercher des tendances ou des relations significatives qu'il constatera grâce à son prototype, pour en tirer des conclusions. Ensuite, ces améliorations pourraient être de l'ordre de la métacognition : l'élève pourrait examiner ses résultats en regard de sa représentation et de sa démarche et évaluer l'efficacité et la pertinence de ces actions.

Même si les deux démarches se retrouvent de part et d'autre sur la figure, cela ne veut pas dire qu'elles soient hermétiques. En effet, il est possible de passer d'une démarche à une autre. Par exemple, il est possible qu'au cours d'une conception technologique, l'élève ait besoin de tester la résistance de certains matériaux pour construire son prototype. L'utilisation de la démarche scientifique sera alors nécessaire avant de revenir à la démarche de conception technologique en progression. Des interactions peuvent donc subvenir entre chacune de ces démarches.

2.10.3 Le modèle du Centre de développement pédagogique

Ce second modèle détaille et précise davantage chacune des étapes de la création d'un objet technique, de l'identification du besoin à l'utilisation et à la mise en service de l'objet technique créé. Ce modèle provient du Centre de Développement Pédagogique (2004).

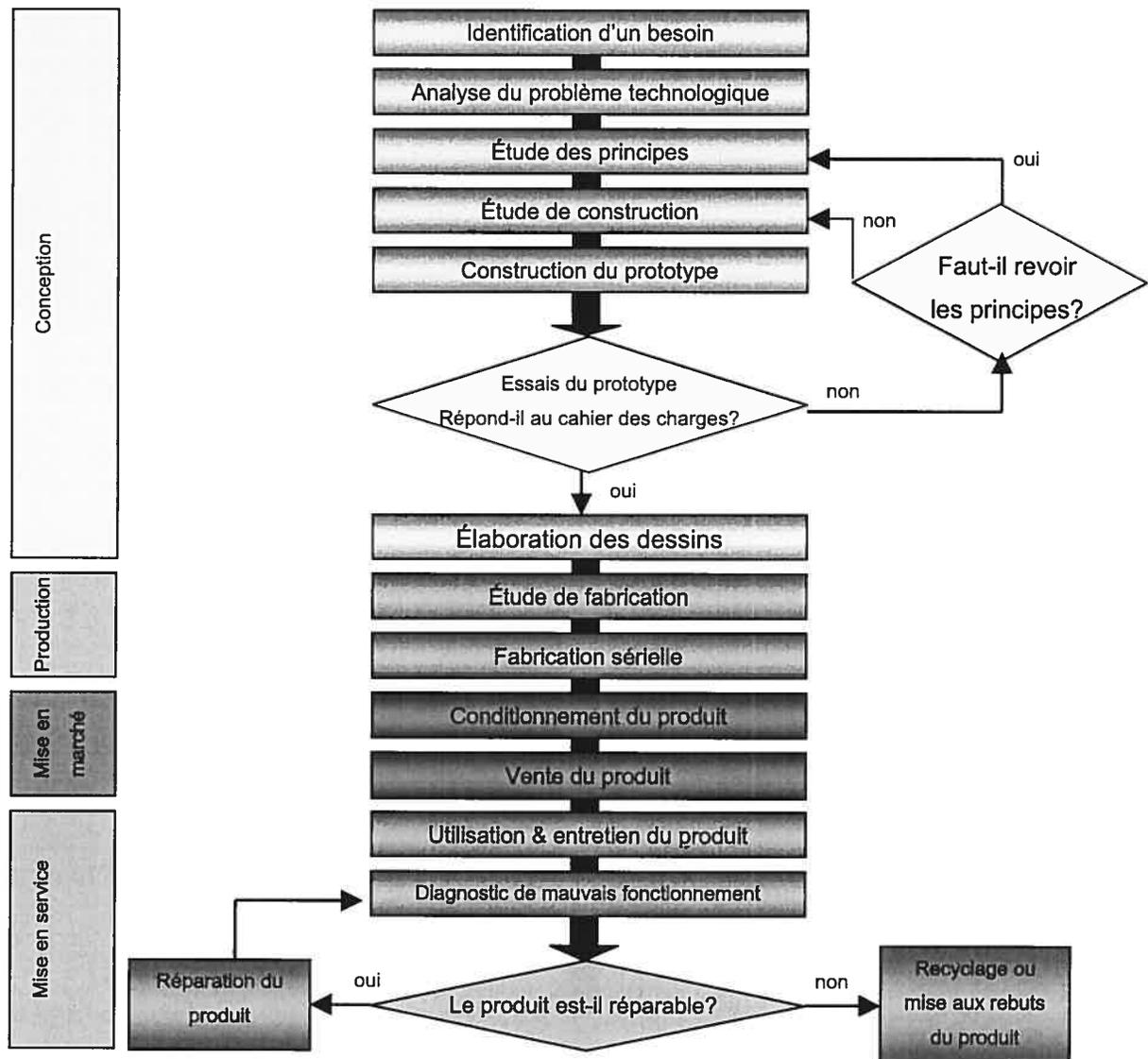


Figure 15: Démarche technologique du Centre de développement pédagogique

Ce modèle de la démarche technologique a pour point de départ l'identification d'un besoin. Ce besoin relève habituellement d'un client qui a un problème à résoudre. Ce client, que ce soit un particulier, une industrie, l'armée, un gouvernement ou un scientifique, entrera en contact avec un concepteur qui, avec ce client, procédera à une analyse du problème technologique. Il s'agira de bien cerner les caractéristiques du besoin et d'élaborer un cahier des charges. Un cahier des charges est un document de nature contractuelle qui est rédigé par le client et lie le concepteur quant à ce qu'il doit livrer au client et sous quelles conditions. On retrouve dans le cahier des charges toutes les informations nécessaires pour concevoir

un objet qui répondra au besoin initial. C'est à partir du cahier des charges que seront élaborées diverses solutions et choisie celle qui sera finalement retenue.

La solution au problème étant retenue, commence alors l'étude des principes. Cette étape consiste, comme son nom l'indique, à déterminer le ou les principes de fonctionnement de l'objet à créer. Le concepteur fera appel à tous les savoirs anciens et nouveaux que la science et la technologie peuvent lui offrir pour répondre le mieux possible à toutes les exigences du cahier des charges. C'est également à cette étape que le concepteur analysera les solutions des concurrents ou bien s'inspirera de solutions existantes dans d'autres applications et procédera à un transfert technologique.

L'étude de construction suivra l'étude des principes. Cette étape consiste essentiellement à traduire les principes de fonctionnement dans la matière, c'est-à-dire le choix des formes, des dimensions, des matériaux, des organes de liaison, des procédés, etc.. L'étude de construction se concrétise par des schémas détaillés qui serviront à la construction du prototype. Le prototype représente le premier modèle de l'objet à construire. Le prototype est rarement unique comme le désigne son appellation. Habituellement, on réalise plusieurs prototypes ou un prototype évolutif. Chaque prototype est normalement une amélioration de la version précédente. Le prototype n'est jamais parfait, il est le fruit d'un compromis acceptable dans les circonstances. La mise à l'essai du prototype nous permettra de vérifier si celui-ci répond fidèlement au cahier des charges. Si tel est le cas, la dernière étape de la phase de conception est la réalisation des plans finaux. Ceux-ci seront nécessaires à la seconde phase de la démarche qui vise la production en série du produit dans le but d'en faire une commercialisation.

Présenté tel que dans la figure 15, la démarche technologique du Centre de développement pédagogique comporte quatre phases : la conception (que nous venons de survoler), la production, la mise en marché et la mise en service. Dans le cadre du projet qui nous concerne, comme la vaste majorité des projets scolaires, la démarche technologique ne se limitera qu'à la phase de conception. Mais, dans le cadre de certains programmes de formation ou projets spéciaux, il est possible de voir des projets d'élèves aboutir à une production et à une mise en marché à plus ou moins grande échelle.

Chapitre 3 : Élaboration de l'idée et modèle opérationnel

3.1 L'idée de ce projet de recherche

L'idée consiste à fournir aux enseignants et aux élèves une série d'activités et de projets qui intègrent les sciences et la technologie en ayant un point commun : la robotique. Plusieurs raisons justifient le choix de ce thème. Premièrement, la robotique est un domaine de recherches et d'activités technologiques de première importance. Pour les jeunes d'aujourd'hui, la robotique n'est plus du domaine de la science-fiction, elle fait partie de leur réalité. En effet, la robotique a fait de nombreuses percées dans le monde du travail et de plus en plus de travailleurs utilisent différentes formes de robots dans l'exercice de leurs fonctions. La robotique est donc un sujet très proche de leur domaine de vie, quel qu'il soit. Deuxièmement, la robotique est un domaine vaste et complexe. Plusieurs disciplines telles le génie mécanique, le génie électrique, la physique et l'informatique sont mises à contribution lors de la conception d'un robot. De plus, selon la raison d'être du robot, il est alors possible d'élargir le cercle des disciplines mises à contribution par la robotique. En effet, plusieurs disciplines telles la biologie, la médecine, l'astronomie, la géologie, etc. constituent des domaines d'études qui utilisent des robots. La robotique représente donc, par sa complexité et son utilité, un thème idéal si l'on désire faire de l'intégration disciplinaire en classe. Troisièmement, petits et grands sont encore émerveillés et fascinés par les films de science-fiction dans lesquels on retrouve plusieurs robots fictifs. L'utilisation de ce thème en classe permet d'exploiter cette fascination dans le but de motiver les élèves avec un sujet qui les accroche et qui pique leur curiosité.

Les différentes activités proposées aux élèves et enseignants favoriseront une approche inductive des apprentissages, tel que préconisé dans la réforme du curriculum. Sans bannir l'aspect théorique et l'enseignement magistral, une approche par projet sera proposée à l'enseignant au travers des différentes activités. Cette approche plus dynamique sera probablement plus motivante pour l'élève.

Tout au long des activités, l'élève passera par toutes les étapes de la démarche technologique de conception et de construction d'un objet technologique. Nous espérons qu'ainsi engagé dans cette démarche, l'élève appréhendera mieux l'ensemble des concepts scientifiques et technologiques essentiels, prescrits dans le curriculum scolaire et abordés sous le thème de la robotique.

3.2 L'environnement

Tout comme les arts ou l'éducation physique, l'enseignement de la technologie, de par les concepts qui y sont enseignés, nécessite la mise en place d'un environnement de travail particulier. De plus, dans une pédagogie par projet, l'élève est plus actif que lors des travaux écrits. Il interagit et coopère avec les autres élèves. Une nouvelle dynamique s'installe alors dans la classe. La qualité de l'environnement technologique mis à la disposition de l'élève est étroitement liée au succès du projet et de la démarche explicitée dans ce mémoire. Il est donc important de s'y attarder un peu.

Au cours des activités liées à ce projet de recherche, l'élève sera amené à mobiliser ses connaissances techniques et scientifiques ainsi qu'à adopter une démarche technologique ou scientifique, parfois les deux. La démarche technologique fait appel à plusieurs techniques et outils de travail. L'atelier de technologie devra donc comporter tous les outils indispensables à l'apprentissage de l'élève et disposés de façon adéquate afin de rendre le travail d'une trentaine d'élèves le plus efficace et sécuritaire possible.

Idéalement, l'atelier de technologie devra donc prévoir les aires de travail suivantes :

- *Une aire de travail individuel*, composée de bureaux individuels pour chacun des élèves de la classe. L'utilisation de cette aire de travail sera multiple. Elle sera probablement privilégiée par l'enseignant lorsqu'il désire utiliser un enseignement magistral ou faire des travaux dirigés. En effet, une telle disposition des surfaces de travail limite le bavardage entre les élèves. Cette aire de travail pourra également servir à installer la planche à dessin et les outils nécessaires à la réalisation de dessin technique (planche à dessin, équerres, règles, etc.). Finalement, cette configuration de l'espace est également utile lorsque l'élève désire tout simplement travailler seul et se concentrer.
- *Une aire de travail en équipe*, composée de tables offrant une surface de travail suffisamment grande pour accommoder 2 ou 3 élèves travaillant sur un projet commun. Ces tables devront avoir une surface résistante propice au travail en atelier avec différents outils à mains.

- *Une aire de travail sur poste informatique.* La présence d'ordinateurs permettra l'apprentissage d'un langage de programmation afin de développer les logiciels de contrôle des différents robots réalisés par les élèves. De plus, la présence de quelques postes avec un accès à Internet permet à l'élève une autonomie quant à l'accès à l'information.
- *Une aire de travail avec les machines-outil* nécessaires à l'usinage et l'assemblage de pièces de l'objet technique à produire. Parmi ces outils, on peut noter tout le matériel faisant partie du défunt cours d'*Initiation à la technologie 314* soit : scie à ruban, sableuse combinée, perceuse à colonne, etc.
- *Un accès à certains instruments de laboratoire* tels que plaque chauffante, becher, support, etc. qui permettront à l'élève de mener à bien certaines expérimentations nécessaires à l'accomplissement de ses projets.

Comme les élèves auront tous des solutions différentes aux problèmes qui leur seront apportés, ceux-ci n'auront pas tous les mêmes besoins en matériel et n'utiliseront pas tous les mêmes outils en même temps. C'est pourquoi il sera recommandé de mettre sur pied un atelier de technologie multifonction où l'ensemble des aires de travail sont réunies dans ce même local ou encore à l'intérieur de plusieurs locaux spécialisés mais très rapprochés les uns des autres. Cette solution offre ainsi plus d'autonomie à l'élève en lui laissant la possibilité de gérer lui-même son travail et de choisir ce sur quoi il désire travailler lors de la période. L'élève est ainsi le véritable maître d'œuvre de son projet en ayant à gérer efficacement ses priorités. Bien gérer son temps constitue une compétence transversale transférable dans ses études ultérieures, sa vie en général et sa future vie de travailleur. L'aménagement de ces différentes aires de travail dans un seul local demande par contre énormément de flexibilité. Toutes les aires ne peuvent être accessibles à tous les élèves simultanément. Soyons réaliste! Pour la mise à l'essai de ce projet, nous pouvons nous considérer comme étant extrêmement privilégiés car non pas un mais trois locaux communicants ont été mis à notre disposition. Ces locaux, présentés à l'annexe 5 offrent un environnement de travail multifonctionnel idéal et adapté aux besoins du projet.

Le premier local est équipé de 32 bureaux individuels, de nombreuses étagères et tiroirs, et un projecteur multimédia. La configuration de ce local changera régulièrement au fil des activités qui s'y dérouleront. Parfois la configuration favorisera un travail individuel avec des

espaces entre chaque bureau, parfois un travail coopératif en petits îlots, parfois en grand cercle afin de favoriser des échanges et des débats en grand groupe. Le projecteur est très utile à l'enseignant pour la présentation de contenu théorique, de ressources sur Internet, etc.

Le second local peut être considéré comme un laboratoire d'informatique. La seule différence avec les laboratoires conventionnels est que chaque poste de travail dispose d'une grande table d'environ deux mètres de largeur par un mètre de profondeur. Que chaque ordinateur repose sur une table d'une telle dimension est peu commun dans les laboratoires d'informatique. Des tables aussi larges permettent de disposer de suffisamment d'espace pour y accommoder l'ordinateur, le clavier et la souris, mais également le projet des élèves qui sera branché à l'un des ports de l'ordinateur.

Le troisième local communicant avec les deux autres est un local de technologie conventionnel, également utilisé par les enseignants du cours d'initiation à la technologie. Il dispose de tables de travail en bois, idéales pour la construction des projets et dispose de toutes les machines-outils et outils à mains nécessaires.

L'immense avantage de ces trois locaux, mis à la disposition du projet de robotique, est qu'ils sont communicants. Lors des activités où l'élève doit lui-même gérer son projet et son temps, celui-ci peut aller et venir librement entre les trois locaux afin d'accéder aux ressources dont il a besoin.

3.3 Les activités

Tel que présenté dans les lignes qui suivent, le cours de robotique s'adresse à des élèves de troisième secondaire et s'échelonne sur toute une année scolaire. Le cours se déroule suivant trois projets qui plongent l'élève dans les différentes parties d'un robot. Avant d'aller plus loin, rappelons tout simplement qu'un robot est un système qui utilise des capteurs qui servent à recueillir de l'information sur le milieu extérieur (ex. : un capteur de luminosité). Il possède également des effecteurs qui servent à produire différentes actions (ex. : une ampoule). Un robot intégrera ces différents éléments afin de produire des actions automatisées. Un robot pourrait, par exemple, produire de la lumière à l'aide d'une ampoule lorsqu'il détecte qu'il fait noir à l'extérieur. Le premier mini-robot que les élèves réaliseront

n'est en fait que l'un des constituants d'un robot. Il s'agit pour eux de construire un effecteur qui prendra la forme d'un manège de fête foraine contrôlé par ordinateur. Le deuxième projet consiste en la réalisation d'un capteur de température. Le dernier projet consistera en l'intégration des deux premiers projets en créant un système automatisé : une serre à semis.

3.3.1 Premier projet : la construction d'un manège

Le premier projet d'envergure qui est présenté aux élèves est la conception et la réalisation d'un effecteur (manège de fête foraine) contrôlé par ordinateur. Les commandes qui contrôleront les diverses fonctions du manège seront produites par un logiciel, écrit par l'élève en Visual Basic. Ces commandes seront ensuite transmises à une interface de contrôle électronique (également réalisée par l'élève) où des relais permettront le passage du courant électrique vers le moteur du manège. La figure 16 représente une élève ayant participé à l'expérimentation ainsi que le manège qu'elle a réalisé. Tout au long de ce projet, les élèves adopteront la même démarche technologique qu'un ingénieur. Comme nous l'avons vu précédemment, le point de départ de ce projet est l'étude du cahier des charges.

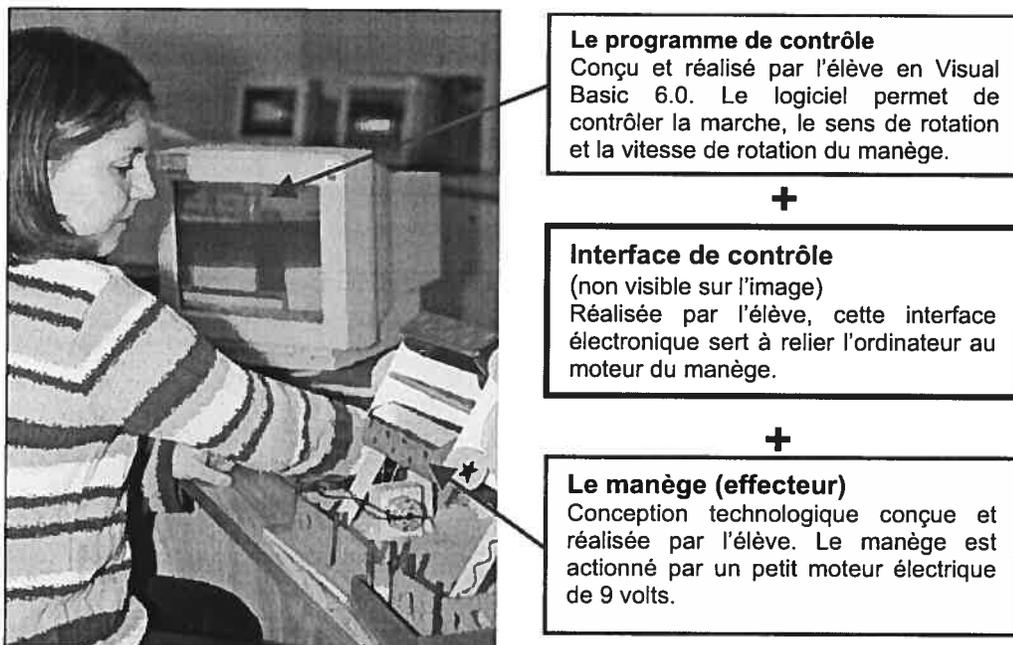


Figure 16: Les trois composants du premier projet : la conception et la construction d'un effecteur sous la forme d'un manège contrôlé par ordinateur.

3.3.1.1 Analyse du cahier des charges

D'abord, une mise en situation théâtrale permet l'entrée en matière du projet. Une courte séquence vidéo a été préalablement enregistrée et simule une téléconférence entre l'enseignant (qui est en classe) et un acteur jouant le rôle d'un promoteur de parc d'attractions (qui est préenregistré). L'intention du promoteur est de construire un parc d'attractions dans un vaste terrain vacant situé dans le quartier où résident les élèves. Soucieux des besoins et intérêts des jeunes, le promoteur aimerait également impliquer les jeunes du quartier dans le choix des manèges pour le parc. Celui-ci, via la téléconférence, demande donc aux élèves de concevoir de petits modèles motorisés des manèges qu'ils souhaiteraient retrouver dans le parc d'attractions. Même s'il est préenregistré, la séquence vidéo est conçue de sorte à faire croire aux élèves qu'il s'agit d'une véritable téléconférence en temps réel avec l'enseignant. Cette mise en situation agit fortement sur la motivation des élèves. Elle capte l'attention des jeunes et la dirige vers l'objet d'apprentissage : la construction d'un objet technique. Pendant la séquence vidéo, les jeunes sont étonnés, surpris et certains sceptiques : Est-ce vrai ou pas? Le doute demeure, mais le résultat escompté est là : les idées se bousculent déjà dans la tête des élèves qui se font une représentation mentale, basée sur leurs propres expériences, du manège qu'ils aimeraient concevoir. À la fin de la présentation, le promoteur fait parvenir à l'enseignant, par courrier électronique, le cahier des charges à l'intention des élèves.

Comme nous l'avons vu précédemment, la technologie sert à concevoir des objets techniques afin de répondre à différents besoins. Ces besoins sont exprimés dans un document qui s'appelle *le cahier des charges*. Dans ce document, le demandeur (notre promoteur) exprime son besoin en terme de fonctions de services et de contraintes relatives aux milieux dans lesquels se situe l'objet technique à concevoir, c'est-à-dire le modèle robotisé d'un manège.

L'élève utilisera donc le cahier des charges afin de bien cerner le problème qui lui est proposé et de trouver sa solution. Dans le cahier des charges présenté à l'élève, on y précise les contraintes suivantes au regard de différents milieux :

Au regard du *milieu humain* le système (manège) devra être :

- Construit sur une planche de 25cm x 30cm et transportable;
- Attrayant, peu encombrant et sécuritaire;
- De couleur vive;
- Idéalement, les organes du mécanisme seront démontables pour d'éventuelles réparations

Au regard du *milieu physique* le système devra être :

- Fabriqué essentiellement de matériaux recyclés résistants et adaptés aux conditions normales d'utilisation à l'intérieur d'une classe ou d'une maison.

Au regard du *milieu technique* le système devra :

- Être mis en action par le moteur de 9 volts qui est fourni
- Être couplé à une interface de contrôle informatique (qui sera réalisée plus tard)
- Le mécanisme devra être facilement réparable

Au regard du *milieu industriel* le système devra :

- Être totalement réalisé dans l'atelier de technologie à l'exception des éléments décoratifs achetés sur le marché.

Au regard du *milieu économique* le système devra être :

- D'un coût inférieur à 5,00\$

3.3.1.2 L'étude des principes

Suite à l'analyse du cahier des charges, l'élève pourra concevoir son manège tout en respectant les différentes contraintes qui lui sont imposées. Il n'y a pas de plans prédéterminés pour construire le manège, c'est à l'élève de décider à quoi ressemblera son manège. Mais peu importe l'aspect du manège, tous auront besoin d'un mécanisme de transmission ou de transformation du mouvement afin d'acheminer le mouvement de rotation du moteur à d'autres organes du manège.

Le projet crée inévitablement un besoin d'informations chez les élèves. À ce stade-ci, il est opportun pour l'enseignant de proposer aux élèves quelques activités d'exploration et de découverte sur les mécanismes, les forces et les mouvements. À partir d'objets techniques

de la vie courante, il est possible d'effectuer le recensement des différents mécanismes : Engrenage, poulies, roue de friction, bielle et manivelle, etc. Une étude plus poussée des avantages et inconvénients de chacun permettra à l'élève de découvrir qu'en jouant avec le rapport de grandeur de deux roues, il est possible d'effectuer des multiplications ou des divisions de vitesse et ainsi, de changer mécaniquement la vitesse de rotation du manège. L'étude des principes sera complète lorsque l'élève aura fixé et justifié son choix quant au mécanisme qu'il utilisera. Pour ce faire, l'élève devra présenter son *schéma de principes*.

Le dessin technique est un langage normalisé. Des règles existent afin que tous, peu importe la langue ou la culture, puissent comprendre ce qui est représenté sur papier. Comme dans notre mise en situation l'élève exécute un travail pour une importante compagnie, il est impératif que ses dessins suivent certaines règles qui lui permettront d'être compris par les ingénieurs qui éventuellement construiront son manège. Avant de faire les dessins relatifs aux principes du manège, l'élève devra se familiariser avec les règles, les symboles et les instruments à dessin. Une fois ces acquis en main, le schéma de principe pourra être exécuté et l'élève pourra alors passer à l'étape suivante.

3.3.1.3 Étude de construction

Avec l'élaboration du plan viendra le choix des différents matériaux à utiliser. Ces matériaux seront sélectionnés en fonction du rôle structural ou fonctionnel de la pièce à réaliser : pilier, base, axe de rotation, etc. Les élèves pourront compter sur une relative diversité de matériaux neufs : languette de bois, gougeons, morceaux de styrène et de métal, etc. De plus, ils pourront compter sur un choix de matériaux de récupération. Les raisons de l'utilisation de matériaux de construction récupérés sont d'un double intérêt : d'une part, cela rend le projet plus économique et, d'autre part, les élèves ont ainsi la possibilité de mobiliser toute leur créativité et leur ingéniosité en choisissant eux-mêmes des matériaux inusités en fonction des objectifs recherchés. Le choix des matériaux sera grandement influencé par la fonction de la pièce à usiner. Les choix de l'élève devront être appropriés et justifiés dans le *schéma de construction* qu'il dessinera. Le schéma de construction devra également identifier les dimensions de chacune des pièces, comment celles-ci s'assembleront ainsi que les différents organes de liaison.

3.3.1.4 La construction du prototype

La construction du manège en atelier de technologie est une étape très stimulante pour l'élève. C'est le moment pour lui d'être actif et de construire quelque chose. Peu importe ce que l'on fait, il est toujours motivant de construire quelque chose de ses propres mains. La construction représente aussi une étape des plus enrichissantes. Au cours de son travail, l'élève apprendra les techniques d'utilisation de plusieurs machines-outils ainsi que les règles de sécurité qui s'y rattachent. Mais, encore plus important, c'est d'apprendre à bien faire les choses. En effet, l'élève devra être minutieux dans l'exécution de chacune des tâches qu'il accomplira car la qualité de son travail se révèle d'une importance capitale. Peu importe le mécanisme qu'il aura sélectionné pour son manège, tous laissent très peu de place à l'erreur. L'élève découvrira rapidement que le succès de son projet est étroitement lié à sa minutie et à la qualité de son travail en atelier. Quant aux élèves ayant moins de dextérité manuelle, le rôle de l'enseignant est primordial. Celui-ci doit apporter une aide et un support à tous les élèves mais, doit porter une attention particulière aux élèves éprouvant une certaine crainte face aux machines-outils. De cette crainte résultera une mauvaise utilisation de l'outil et par conséquent une mauvaise qualité des pièces usinées. Si un tel élève ne reçoit pas le support adéquat de la part de l'enseignant, l'élève risque alors de se démotiver rapidement face à un double constat d'échec : son projet sera inesthétique et ne fonctionnera pas.

La construction du prototype progressant, l'élève voudra tester son manège afin d'en vérifier le bon fonctionnement. Pour ce faire, il devra construire un circuit électrique simple afin de mettre le moteur électrique en marche, de constater le bon fonctionnement de son manège et, au besoin, d'y apporter des correctifs. La mise à l'essai du manège est non seulement une occasion de vérifier si le prototype fonctionne, mais aussi, de permettre à l'élève de s'initier aux principes de base des circuits électriques et de ses principaux composants. Ces notions de base en électricité font partie intégrante du programme de formation pour le cours et le niveau ciblé par notre projet. Étant donné qu'avant la troisième année du secondaire, aucun programme d'étude ne s'attarde véritablement sur la nature de l'électricité, les élèves disposent d'une compréhension très limitée des concepts relatifs à la nature de l'électricité. Il sera important pour l'enseignant de bien guider et soutenir les élèves dans ces activités d'exploration de l'électricité. L'électricité représente un élément essentiel et incontournable de la réalité des élèves. Qu'elle soit simplement une source d'énergie ou qu'elle joue un rôle

primordial au cœur même des fonctionnalités d'un appareil, l'électricité est présente dans presque tous les objets technologiques modernes. Dans un robot, l'électricité est un élément tout aussi essentiel. L'électricité non seulement active le robot, mais sert également de support à toute l'information dont celui-ci aura besoin afin d'accomplir les tâches pour lesquelles il est programmé. Ainsi donc, l'importance de l'électricité dans la vie des élèves et pour le projet justifie que l'enseignant présente aux élèves une série d'activités d'apprentissage qui leur permettront de mieux comprendre certains phénomènes électriques courants. Pour les activités de découverte de l'électricité, l'enseignant fournira à l'élève une source de courant variable, des fils électriques (à pince crocodile sur chaque extrémité), un interrupteur ainsi que quelques résistances. Le manège deviendra alors un outil permettant d'appréhender, d'une manière empirique, les effets de la tension électrique, de l'intensité, des résistances, des montages en série ou parallèles sur l'intensité du courant et la vitesse de rotation de son manège, la relation entre le sens du courant et le sens de rotation du manège, etc. Bref, grâce aux manèges, les élèves expérimenteront toute une série de concepts en relation avec la nature même de l'électricité.

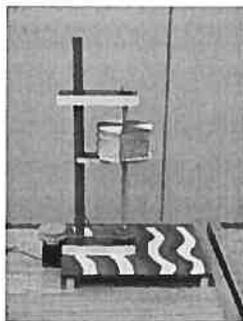


Figure 17 : Manège d'élèves utilisant les mécanismes de poulie et courroie et de vis sans fin.

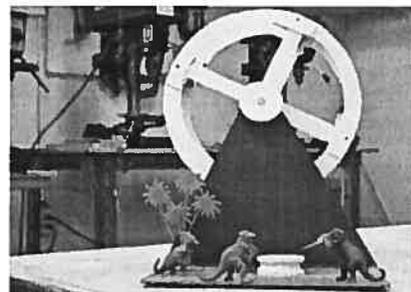


Figure 18 : Manège d'élèves utilisant les mécanismes de poulie et courroie.

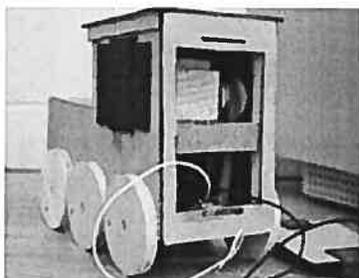


Figure 19 : Manège d'une élève utilisant les mécanismes de poulie et courroie



Figure 20 : Manège d'une élève utilisant les mécanismes de poulie et courroie et de roue de friction

3.3.1.5 La création des plans finaux

Une fois le prototype terminé et son bon fonctionnement validé, viendra le temps pour l'élève de dessiner les plans finaux de son manège. Cette étape fait partie intégrante de la démarche technologique et est réalisée par tous les ingénieurs dans leur travail. Le dessin technique est un outil indispensable car il facilite les échanges de la pensée technique entre les individus grâce à son langage de codage iconographique commun pour tous ceux et celles qui oeuvrent en technologie. Les ingénieurs, les architectes, les designers, les technologues, les techniciens et les ouvriers spécialisés, tous l'utilisent pour communiquer entre eux. C'est un langage universel qui permet une compréhension univoque en rapport avec la définition et la réalisation d'un objet technique.

Au cours des activités précédentes, l'élève aura déjà mis en pratique certaines bases du dessin technique. Mais ici, il s'agit des dessins les plus complets et complexes que l'élève aura à réaliser. Il sera donc nécessaire à l'enseignant d'introduire quelques notions plus avancées sur le dessin technique et les différents instruments que l'élève devra utiliser.

3.3.1.6 L'électronique

Maintenant que l'élève dispose d'un manège opérationnel et des connaissances de base en électricité, il pourra se lancer dans l'élaboration d'un circuit électronique: la réalisation d'une interface de contrôle permettant de relier le manège à un ordinateur. Notons que la réalisation de l'interface de contrôle n'inclut aucun concept prescrits par le programme de formation. Mais, nous croyons que cet enrichissement sera bénéfique pour les élèves tant au niveau des manipulations qui seront nécessaires pour sa réalisation que pour la compréhension générale d'un circuit électrique qui leur sera utile pour les prochains cours de sciences qu'ils suivront.

Il existe plusieurs techniques pour faire des circuits imprimés. Les élèves seront initiés à l'une de celles-ci: la gravure chimique à l'aide de perchlorure de fer (voir annexe 2). Pour cette réalisation, l'élève disposera du typon, c'est-à-dire du négatif du circuit à réaliser, d'une plaque de cuivre photosensible et de tous les composants nécessaires (transistor, relais, etc.). L'élève devra réaliser lui-même le circuit imprimé en exposant aux rayons U.V. la plaquette de cuivre dans une insoleuse. Il procédera au développement du circuit puis il

réalisera la gravure chimique du circuit dans un bain de perchlorure de fer. Finalement, il procédera à l'implantation des composants sur la plaquette à l'aide de soudures à l'étain. Cette activité permettra entre autres d'introduire quelques notions théoriques sur les transformations physiques et chimiques ayant lieu lors des différentes manipulations.

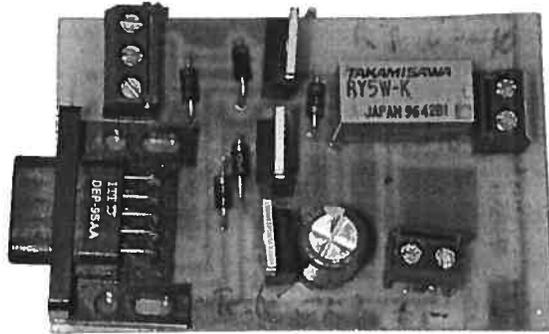


Figure 21 : Interface de contrôle réalisé par un élève

Lorsque viendra le temps de souder les nombreux composants sur le circuit, différentes activités connexes permettront à l'élève de découvrir les fonctions des différents composants qu'il a manipulés et qui ont pris place sur le circuit électronique (condensateur, relais, transistor, etc.). Ces activités seront réalisées grâce à une plaque d'expérimentation spécialement conçue à cet effet. Cette plaque comporte tous les éléments présents sur leur interface de contrôle : transistor, relais, condensateur, résistance, diode, diode électroluminescente, etc. Un peu sous le même principe des kits électroniques Radio-Shack, plusieurs expériences de découverte pourront être réalisées sur cette plaque, sans risque d'endommager un composant. L'utilisation est simple, il suffit d'enfoncer l'extrémité d'un fil dénudé dans les petits trous prévus à cette fin. Des exemples d'activités pour la plaquette d'expérimentation se retrouvent en annexe 9.

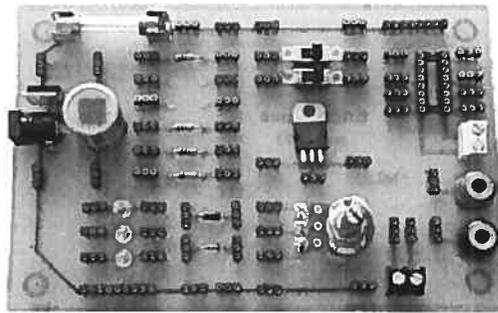


Figure 22 : La plaquette d'expérimentations

Bien que l'électronique de l'interface de contrôle soit relativement simple, il n'est pas toujours aisé pour les élèves de visualiser son fonctionnement. Pour surmonter cette difficulté, un logiciel a été créé afin d'apprendre aux élèves le fonctionnement de l'interface électronique. Par un graphisme simple, il illustre visuellement le rôle des composants électroniques dans la distribution du courant électrique au moteur et la variation de la vitesse de rotation par l'envoi d'impulsions électriques pour faire varier la vitesse de rotation du moteur (le principe du PWM ou Pulse Width Modulation). Ce logiciel sera un outil précieux pour l'enseignant qui désire expliquer comment fonctionne l'interface de contrôle.

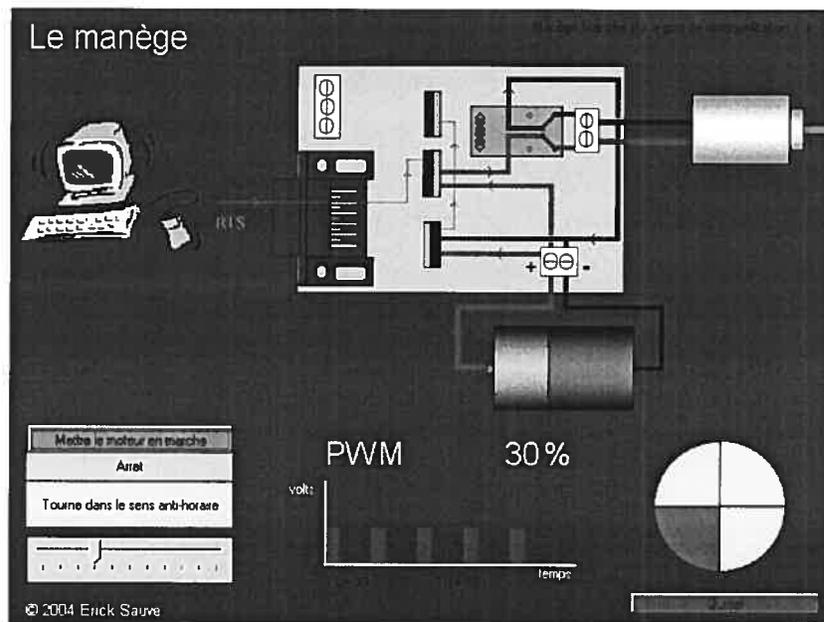


Figure 23 : Saisie d'écran du logiciel de démonstration du manège

Le fonctionnement de l'interface de contrôle est relativement simple et sa compréhension est à la portée d'élèves de 3^e secondaire s'ils bénéficient d'un support adéquat de la part de l'enseignant. Pour commander le moteur, on utilise les signaux électriques DTR et RTS qui sont des signaux standards présents dans tous les ports de communication série RS232. Le programme créé en Visual Basic par les élèves est destiné à commuter l'état (ouvert ou fermé) de deux transistors qui permettront de commander les fonctions du manège. La figure 24 résume le principe de fonctionnement du manège.

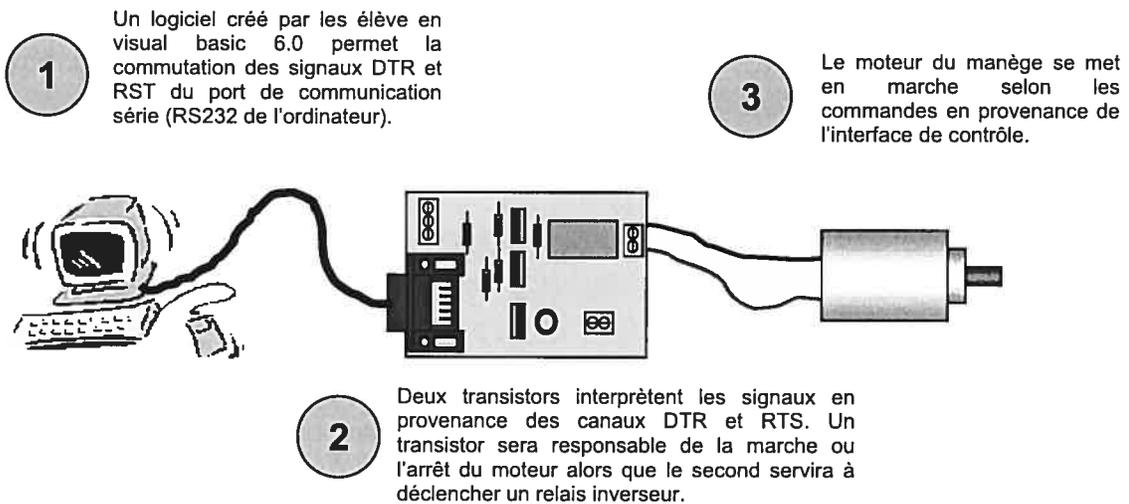


Figure 24 : L'interface électronique du manège

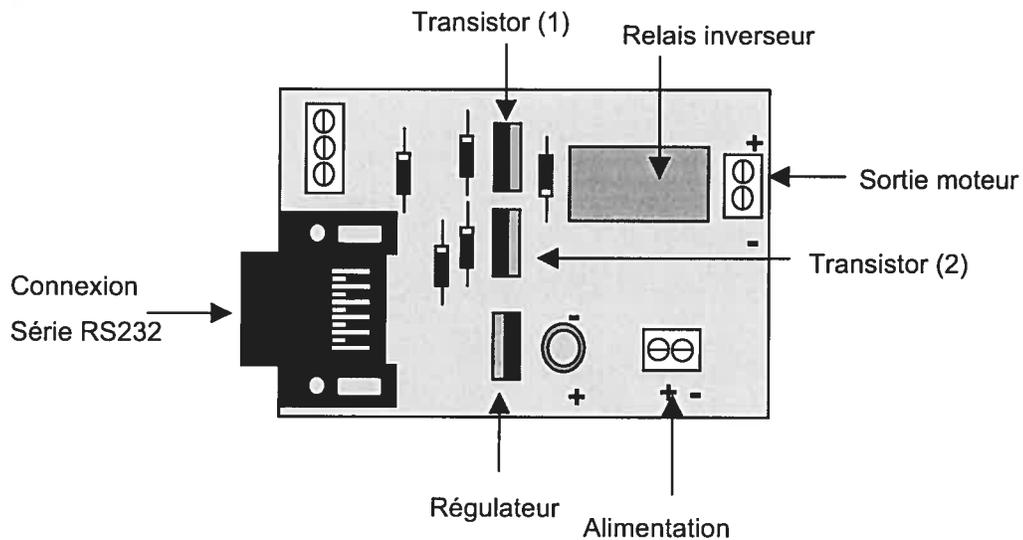


Figure 25 : Identification des principaux composants de l'interface de contrôle

- **Transistor (1)** : La base de ce transistor est contrôlée à l'aide du courant provenant du canal DTR du port série de l'ordinateur. Ce transistor permet la commutation du courant électrique passant dans le solénoïde du relais inverseur. La commutation du courant aura pour effet d'inverser le sens de rotation du moteur.
- **Le relais inverseur** : Ce relais est au service du transistor (1). Lorsqu'un courant en provenance de l'émetteur du transistor (1) pénètre le solénoïde du relais, celui-ci actionne l'opérateur du relais qui en changeant de position inverse le sens de rotation du moteur.
- **Transistor (2)** : La base de ce transistor est contrôlée à l'aide du courant provenant du canal RTS du port série de l'ordinateur. Ce transistor agit lui aussi comme un commutateur en contrôlant le passage d'un courant de forte intensité alimentant le moteur. Ce transistor aura pour effet de faire fonctionner ou d'arrêter le moteur.

Le circuit est également composé de diodes servant essentiellement à empêcher tout retour de courant vers l'ordinateur en cas de mauvais branchement et d'un condensateur afin de régulariser le courant électrique entrant dans le circuit.

3.3.1.7 La technologie au service de l'informatique

Parallèlement à ce travail de conception technologique, l'élève sera initié à la programmation informatique. Tous les élèves qui s'inscriront au cours de science et technologie et qui réaliseront le projet de robotique seront également inscrits au cours d'initiation à la programmation en Visual Basic. L'élève apprendra d'abord la façon avec laquelle l'ordinateur traite et achemine l'information, puis avec leur enseignant d'informatique, apprendront les notions de base de la programmation ainsi que les principaux objets nécessaires à tout bon programme écrit en Visual Basic : bouton de commande, étiquette de texte, etc.

Lorsque le manège sera opérationnel avec son interface électronique, alors viendra le temps d'apprendre les notions de programmation plus complexes. Ici, ce n'est pas l'informatique qui est au service de la technologie mais bien l'inverse. C'est-à-dire que la réalisation technologique de l'élève devrait servir à faciliter l'apprentissage de plusieurs notions complexes de programmation : les conditions « if » et le concept des boucles (Do-loop par

exemple). Traditionnellement, ce concept s'apprend en réalisant des compteurs qui accroissent ou décroissent la valeur de variables. Quoi de plus abstrait et insignifiant pour l'élève! Avec son manège relié à l'ordinateur, l'élève pourra apprendre le même concept, mais en ayant un objet bien réel et concret qui s'activera ou non en fonction des lignes de codes qu'il écrira.

Le projet du manège se conclura à l'intérieur du cours d'initiation à l'informatique par l'écriture d'un logiciel, créé par l'élève, qui regroupera toutes les procédures de contrôle du manège (voir annexe 4). Il s'agit de la marche et de l'arrêt du moteur, de l'inversion du sens de rotation du moteur et finalement du contrôle de la puissance du moteur par l'envoi d'impulsions électriques. Cette dernière procédure, le contrôle des vitesses, est la plus complexe puisqu'elle utilise des boucles informatiques pour contrôler la quantité d'énergie envoyée au moteur sous forme d'impulsions. Pour une même fréquence, plus l'impulsion est grande, plus le moteur recevra d'énergie et plus il tournera vite. Il s'agit en fait du concept bien connu des électromécaniciens : le PWM ou Pulse Width Modulation ou en français, impulsion à largeur de bande. On pourrait aussi contrôler les temps de marche, d'arrêt, dans un sens ou dans l'autre ainsi que créer une augmentation ou diminution progressive de la vitesse d'accélération ou de décélération.

3.3.1.8 Planification du projet du manège

La conception et la construction du projet du manège dans sa totalité est un projet à long terme qui demande une bonne planification et gestion du temps. Un découpage du temps de classe a donc été mis sur pied avec des enseignants et est présenté dans le tableau ci-après avec la liste des concepts prescrits qui sont couverts par l'activité. Notons que dans ce tableau, les concepts inscrits en italique ne sont pas prescrits par le programme de formation et sont par conséquent abordés comme de l'enrichissement. Le projet du manège, ainsi que l'ensemble des activités d'exploration et de laboratoire qui s'y rattachent, occupent donc 60 heures sur le total des 150 heures du cours de science et technologie.

Chronologie selon la démarche technologique		Concepts prescrits	Nombre d'heures
Ateliers sur les mécanismes	Une exploration des différents mécanismes de transmission et de transformation du mouvement est nécessaire afin que l'élève puisse concevoir son manège.	<ul style="list-style-type: none"> • Liaisons des pièces mécaniques (directes et indirectes, complètes et partielles, permanentes et liaisons démontables, élastiques et rigides) • Fonctions types (guidage, lubrification, étanchéité) • Transmission du mouvement (roues de friction, poulies et courroie, engrenages, roues dentées et chaîne, roues et vis sans fin, changements de vitesse) • Transformation du mouvement (systèmes vis et écrou, bielles, manivelles, coulisses et système bielle et manivelle, pignon et crémaillère, cames) 	5
Réalisation du croquis	L'élève détaille par un croquis le manège qu'il veut construire.	<ul style="list-style-type: none"> • Formes de représentation (croquis) 	1
Réalisation du schéma de principe	Un dessin technique servira à détailler les modes de fonctionnement du manège.	<ul style="list-style-type: none"> • Tracés géométriques • Standards et représentations • Lignes de base • Formes de représentation (schémas) 	7
Schéma de construction	<p>Une exploration des contraintes, des propriétés mécaniques ainsi que des types de matériaux permettra à l'élève de faire les bons choix en ce qui concerne l'utilisation des matériaux de construction.</p> <p>Une fois le choix des matériaux arrêté, l'élève détaille son plan de construction. Il utilisera à nouveau ses connaissances du dessin technique.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes (traction, compression, torsion) <p><u>Les types de matériaux et leurs propriétés :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Alliages à base de fer (fontes, aciers) • Métaux et alliages non ferreux (aluminium, cuivre, laiton, bronze) • Bois et bois modifiés (résineux, feuillus, structure du bois, bois modifiés) • Propriétés mécaniques (dureté, élasticité, fragilité, ténacité, ductilité, malléabilité) 	5
Construction du prototype	L'élève construit en atelier son prototype selon les schémas qu'il a réalisés.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Différentes techniques de travail avec les outils à la disposition de l'élève</i> • <i>Règles de sécurité en atelier</i> 	8

Mise à l'essai du prototype	Activités d'exploration sur les types de charges électriques se déroulant principalement dans le laboratoire de sciences. Utilisation du matériel « traditionnel » déjà à la disposition de l'enseignant.	<u>Types de charges électriques :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Existence de charges positives et négatives • Mobilité des charges négatives • Forces d'attraction ou de répulsion • Champs électriques • Série électrostatique et tendance à attirer des charges négatives 	4
	Les activités d'exploration de l'électricité et du courant continu se font avec la plaquette d'expérimentation (voir figure 22) ainsi que le prototype fonctionnel du manège.	<u>Courant électrique continu :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Intensité du courant • Résistance électrique • Tensions électriques • Loi d'Ohm • Unités de mesure : volt, ohm, ampère 	7
		<u>Électricité :</u> <ul style="list-style-type: none"> • Fonction d'alimentation (courant continu, courant alternatif, plaque signalétique) • Fonction de conduction, d'isolation et de protection (masse et mise à la terre, matériaux conducteurs et isolants. Fusible, disjoncteur et position dans un circuit) • Fonction de commande : types (levier, poussoir, bascule, magnétique) emplacement (position dans un circuit) • Fonction de transformation de l'énergie • Électricité et lumière (lampe, diode électroluminescente, fluorescent) • Électricité et chaleur (élément chauffant) 	2
Réalisation des plans finaux	L'élève représente la version définitive de son manège grâce à une projection orthogonale à l'échelle et comportant des cotes. Ce dessin technique sera considéré comme les plans finaux du manège.	<ul style="list-style-type: none"> • Formes de représentation (projection à une vue, projection orthogonale à vues multiples) • Échelles • Projection orthogonale • Standards et représentations • Cotation 	8

Réalisation du circuit imprimé de l'interface de contrôle	Activités d'exploration sur le magnétisme se déroulant principalement dans le laboratoire de sciences avec l'utilisation du matériel « traditionnel » déjà à la disposition de l'enseignant. Nécessaire à la compréhension du fonctionnement du relais (présent sur l'interface de contrôle).	<ul style="list-style-type: none"> • Champ magnétique d'un aimant droit • Lignes de champ • Pôles magnétiques • Forces d'attraction et de répulsion 	3
	Réalisation en laboratoire du circuit électrique de l'interface de contrôle. Activité de découverte des composants de l'interface de contrôle.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Technique de fabrication d'un circuit électrique</i> • Réaction chimique • Réaction physique • <i>Transistor</i> • <i>Condensateur</i> • <i>Régulateur</i> • <i>Relais</i> 	1+9
Total			60

Table 2 : Répartition du temps et concepts prescrits pour le projet du manège

3.3.2 Deuxième projet : La réalisation d'un capteur de température

Avec le manège, les élèves auront réalisé l'un des composants d'un robot : un effecteur capable de produire une action. Le deuxième projet résidera dans la réalisation du deuxième composant essentiel à tout robot : un capteur. Un capteur est un appareil qui transforme la grandeur physique mesurée en une autre grandeur physique qui pourra être directement visualisée ou qui pourra être traitée avant sa visualisation. Dans le cas du thermomètre, un transfert de chaleur entraînera une dilatation d'une colonne de mercure. Nous visualiserons donc la hauteur de mercure déplacée. (Fournier 2001).

Selon Fournier (2001), la production d'un instrument de mesure (capteur), permet à l'élève de développer non seulement des savoirs-faire en technologie des systèmes de mesures, mais aussi des connaissances et savoirs-faire en sciences expérimentales :

« En concevant et construisant son propre système de mesure dans un environnement d'expérimentation assistée par ordinateur, il réalise une investigation scientifique dans laquelle il doit induire une relation de causalité entre les différentes variables mises en jeu. Il doit ensuite isoler

cette relation en construisant un schème de contrôle des variables puis la modéliser sous forme graphique et algébrique. Nous croyons que cette façon de procéder va permettre aux étudiants de mieux comprendre les phénomènes physiques qu'ils vont mesurer. »

En nous appuyant sur les conclusions de Fournier (2001), nous allons permettre aux élèves de réaliser un capteur de température à l'aide d'une thermistance introduite dans un pont diviseur de courant. Bien que fort simple à réaliser, la théorie derrière le fonctionnement de la thermistance ou du pont diviseur de courant est quelque peu abstraite et pas nécessairement du niveau d'élèves de 3^e secondaire. Par conséquent, pour construire ce capteur de température, les élèves utiliseront un schéma de construction qui leur sera remis et l'enseignant ne s'attardera pas sur la compréhension détaillée du capteur.



Figure 26 : Capteur de température réalisé par un élève

La construction du capteur est simple due à son nombre réduit de composants : une thermistance ainsi qu'une résistance fixe (R1 figure 27). Une thermistance est une résistance qui change de résistivité selon la température à laquelle elle est exposée (R2 figure 27). La résistance fixe est une résistance qui correspond à la valeur de la thermistance à une température moyenne dans des conditions d'utilisation normale du capteur. Dans notre cas, la température de référence est celle d'une pièce normalement chauffée, soit environ 25°C. Ces deux éléments, assemblés comme indiqué dans la figure 27, auront pour effet de provoquer une variation de la tension selon l'équation présentée à la figure 27.

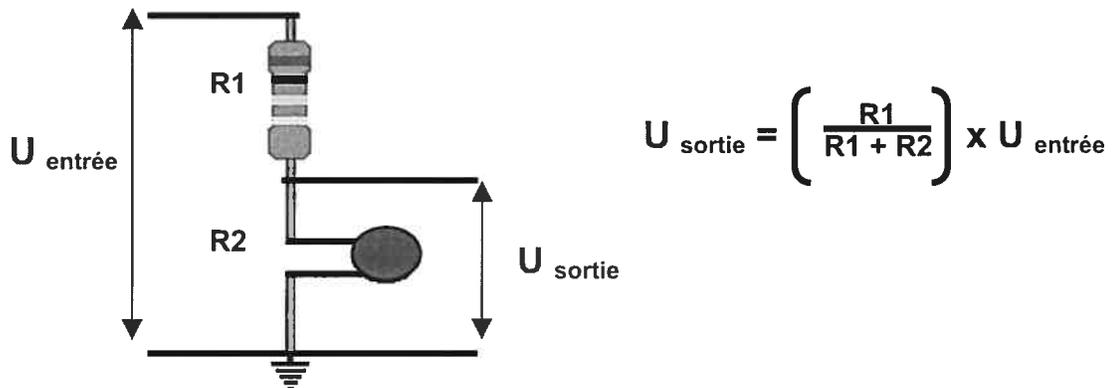


Figure 27 : Schéma électrique d'un pont de résistance ainsi que l'équation de la tension dans un tel pont

3.3.2.2 Fabrication d'une interface d'acquisition de donnée

Le capteur de température traduira la valeur de la température ambiante en une grandeur physique, en un courant électrique qui variera proportionnellement à l'accroissement ou à la baisse de température. Le capteur produira donc une variation de la tension (un signal analogique) qui variera selon le changement de la température mesurée. Puisque nous utilisons l'ordinateur pour traiter cette information, il nous faudra convertir ce signal analogique en un signal numérique compréhensible pour l'ordinateur. En effet, les ports de communication standards d'un ordinateur (série ou parallèle) sont tous numériques et ne permettent pas l'utilisation d'un signal analogique. Nous avons donc besoin d'un convertisseur qui traduira le signal analogique en signal numérique. Ces convertisseurs analogiques numériques se retrouvent dans de petites puces électroniques appelées : *microcontrôleur*.

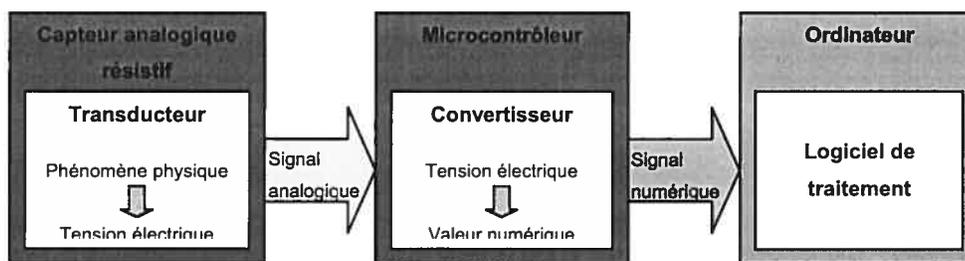


Figure 28 : La chaîne d'information du capteur de température

Il sera par conséquent indispensable d'utiliser un appareil comportant un microcontrôleur qui sera capable de fournir au capteur une tension d'alimentation stable, de lire la variation de tension générée par le capteur et de convertir celle-ci en un signal numérique pouvant être traité par l'ordinateur. Pour notre projet, les élèves construiront l'interface d'acquisition de données conçue par Isidore Lauzier (2000) mais, adaptée pour être réalisée par des élèves du secondaire (voir figure 29). Le négatif du circuit à réaliser ainsi que toutes les pièces seront fournies aux élèves. Cette plaquette sera construite parce qu'indispensable pour l'acquisition de données, mais son étude restera très limitée dans le cadre de notre projet.

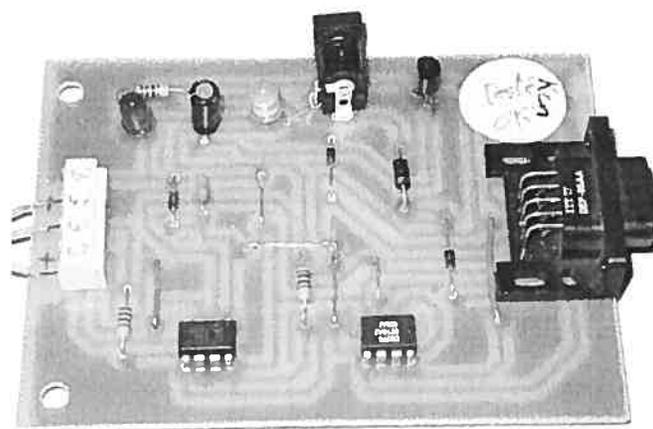


Figure 29 : Interface à microcontrôleur assemblée par un élève

La figure 30 nous permet de visualiser les branchements de la carte d'acquisition de données. Pour effectuer la lecture de la température, la carte d'acquisition de données doit constamment fournir un courant stabilisé de 5 volts au capteur. Au moment de la prise de mesure, l'ordinateur doit faire parvenir une série de commandes au microcontrôleur. Premièrement, pour faire la lecture de la tension à la borne d'entrée analogique (où est branché le capteur). Deuxièmement, pour effectuer une conversion du signal analogique en une valeur numérique. Troisièmement, pour faire parvenir la valeur numérique de l'interface à l'ordinateur où elle sera mémorisée avant d'être traitée pour être visualisée ou analysée. Des informations supplémentaires sur ce procédé sont fournies à l'annexe 6.

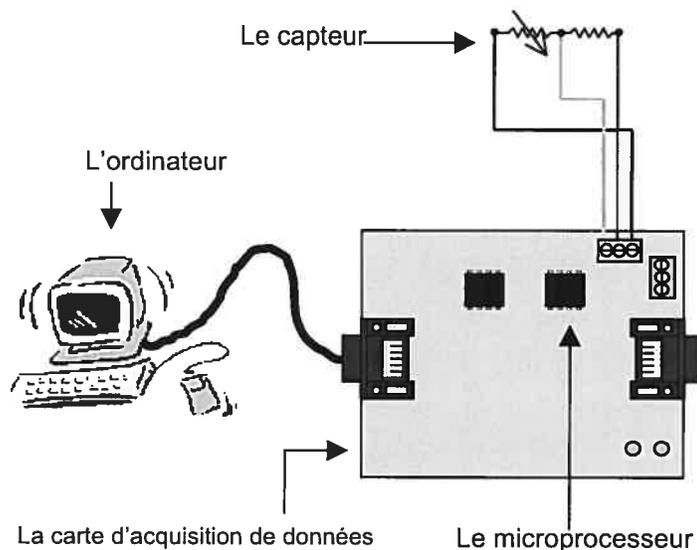


Figure 30 : L'interface électronique du capteur

3.3.2.3 L'étalonnage du capteur

Jusqu'à présent, l'élève a réalisé un capteur de température, une carte d'acquisition de données et un logiciel permettant le contrôle de cette carte (dans le cours d'informatique). Ainsi, la grandeur physique que nous désirons mesurer (la température) a été convertie en une tension électrique (variant entre 0 et 5 volts) puis convertie en une valeur numérique par le microcontrôleur. Cette valeur numérique sera comprise entre 0 et 255. L'étalonnage du capteur consistera en une comparaison entre la valeur ainsi obtenue pour notre capteur et une référence prise comme étalon. Il sera alors possible de relier la grandeur physique mesurée à l'unité de l'étalon utilisé.

Pour faire l'étalonnage du capteur, l'élève devra ainsi procéder à la comparaison entre la température d'un véritable thermomètre et la réponse du capteur en bits. Pour ce faire, il lui suffira d'introduire dans un becher rempli d'eau et de glace le capteur de température avec un thermomètre. Ce becher sera monté sur une plaque chauffante que l'élève mettra en marche. Au fur et à mesure que la température de l'eau s'élèvera, l'élève pourra noter la réponse, en bits, provenant du système d'acquisition de données. Pour aider l'élève dans cette tâche, un logiciel lui sera fourni. Ce logiciel (voir figure 33) créé uniquement pour cette

activité est capable de recueillir, d'une façon continue, les données en provenance du capteur et affiche à l'écran la valeur en bits qui a été lue. De plus, il fournit à l'élève plusieurs directives et consignes afin qu'il puisse être le plus autonome possible dans la réalisation de cette tâche.

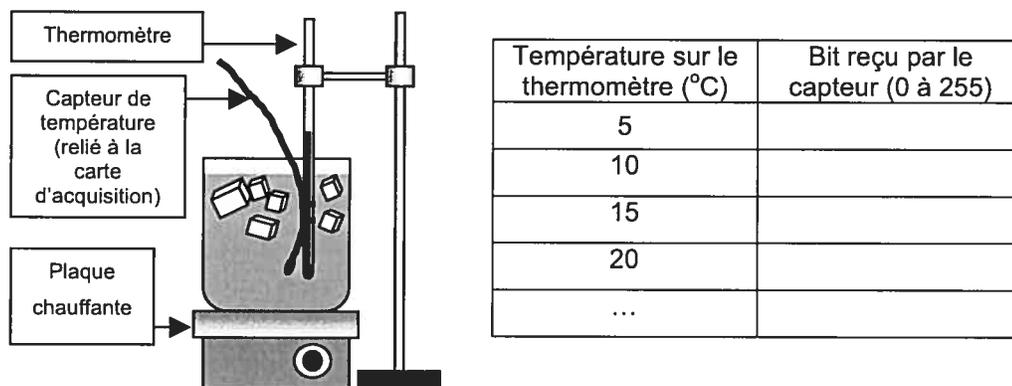


Figure 31 : L'étalonnage du capteur de température et un exemple de table À remplir par l'élève



Figure 32 : Mise en place du capteur de température afin d'effectuer son étalonnage

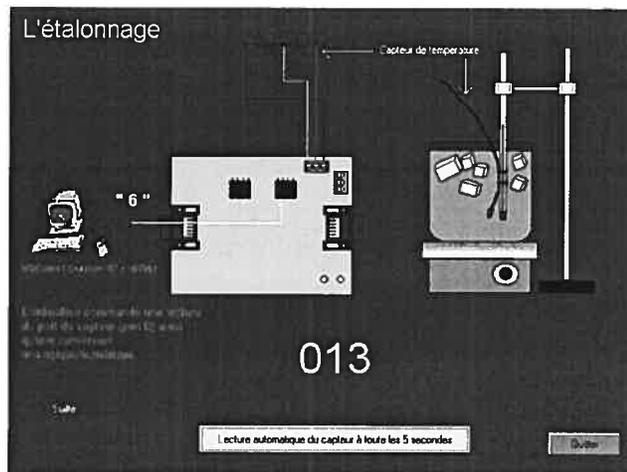


Figure 33 : Saisie d'écran du logiciel utilisé par les élèves afin de procéder à l'étalonnage de leur capteur.

À l'aide des données ainsi recueillies, l'élève procédera ensuite à l'analyse graphique des données. Il sera en mesure de modéliser par une fonction mathématique ses données expérimentales (voir figure 34). Notons toutefois que la véritable réponse d'un capteur d'une

thermistance, suite à une variation de température, suit une fonction logarithmique décroissante. Mais, en troisième secondaire, cette fonction n'a pas encore été abordée dans le cours de mathématiques. Puisque nous utiliserons le capteur de température dans une plage très réduite allant de 20°C à 40°C (correspondant à celle pouvant être obtenue dans une serre) il est possible de modéliser sans trop d'erreurs, à l'intérieur de cette plage de température réduite, le comportement du capteur par une fonction linéaire du premier degré : $y = ax + b$. Notons que notre but n'est pas nécessairement d'obtenir une précision absolue, mais de rendre concrètes et utiles des notions faisant partie du programme d'étude des mathématiques à la troisième secondaire. L'étalonnage du capteur permet donc une mise en application de notions théoriques faisant partie du programme de mathématiques de troisième secondaire. Une fois la relation mathématique connue, il ne restera plus qu'à utiliser cette équation dans le logiciel du capteur, créé par les élèves, afin de passer de la donnée en bytes (obtenue par le capteur) à une température en degrés Celsius.

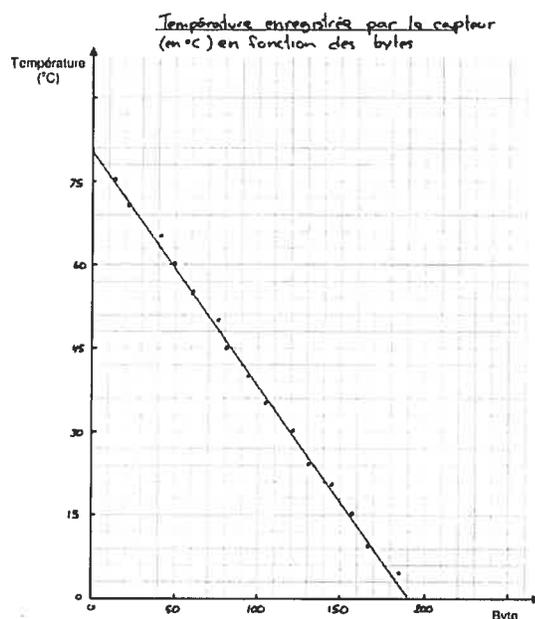


Figure 34: Régression linéaire produite par un élève afin d'effectuer l'étalonnage du capteur de température

3.3.3 Troisième projet : Conception d'un système automatisé.

Tel que mentionné précédemment, un robot est un système automatisé intégrant des capteurs et des effecteurs. L'activité terminale du cours de robotique sera donc un projet intégrant ces deux éléments réalisés précédemment. L'intégration s'effectuera par la conception et la réalisation d'une serre à semis dont la température interne sera régulée via le capteur de température construit précédemment et un ventilateur qui chassera l'air chaud au besoin. Cette activité technologique est relativement simple puisqu'en ce qui concerne l'aspect électronique, elle utilise tous les composants construits précédemment. Il ne reste donc que la serre à semis à concevoir et construire. Ainsi que le logiciel de gestion de la serre à écrire.

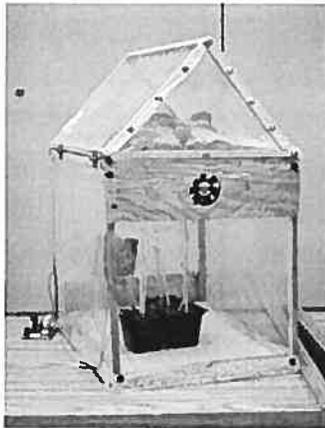


Figure 35 : Une serre à semis réalisée par un élève

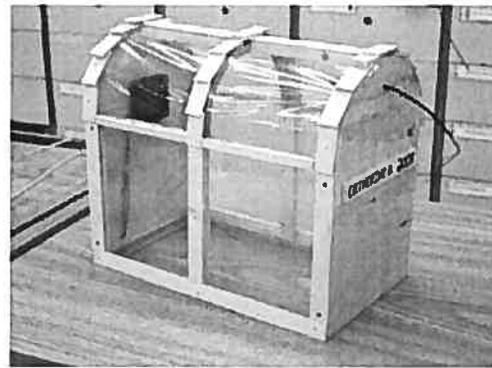


Figure 36 : Une serre à semis réalisée par un élève

Tout d'abord, en ce qui concerne la conception de la serre à semis, l'élève devra construire sa serre suivant le cahier des charges qui lui sera présenté :

Au regard du milieu **humain** votre système devra être :

- Transportable;
- Attrayant, peu encombrant et sécuritaire;
- Facile d'utilisation et d'entretien.

Au regard du milieu **physique** le système devra être :

- Adapté aux conditions normales d'utilisation à l'intérieur d'une classe ou d'une maison;
- La surface de la serre avec l'air extérieur est minimisée afin de réduire les transferts de chaleur non souhaités;
- L'espace interne de la serre est maximisé afin d'offrir le plus d'espace possible aux plantes.

Au regard du milieu **technique** le système devra :

- La serre est chauffée par le soleil ou une lampe d'intérieur conçue pour la croissance des plantes;
- L'air chaud est évacué par un ventilateur (fourni);
- Couplé à une interface de contrôle informatique (déjà réalisé).

Au regard du milieu **industriel** le système devra :

- Être totalement réalisé dans l'atelier de technologie à l'exception des éléments décoratifs achetés sur le marché.

Au regard du milieu **économique** le système devra être :

- D'un coût inférieur à 8,00\$

Les exigences du cahier des charges sont très restrictives en ce qui concerne le principe de fonctionnement des serres à semis. Une lampe (ou le soleil) éclaire la serre et la réchauffe. L'air chaud qui s'accumule dans la serre est évacué par un ventilateur lorsque la température interne de la serre atteint une température maximale déterminée selon le type de plante cultivée. Lorsque la température baisse en deçà de la valeur minimale, le ventilateur s'arrête et l'air chaud continue alors à s'accumuler. Le principe de fonctionnement de la serre est synthétisé à la figure suivante :

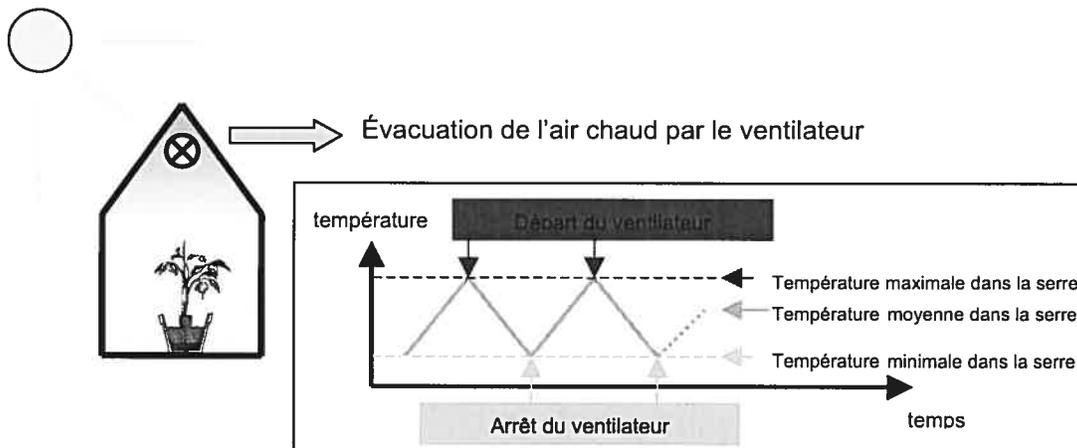


Figure 37: Principe de fonctionnement de la serre à semis

Par contre, le cahier des charges est volontairement peu précis en ce qui concerne l'aspect que peut prendre la serre en elle-même. Quelques exigences en ce qui concerne sa surface et son volume laisseront probablement les élèves quelque peu perplexes. Il est demandé aux élèves de concevoir une serre à semis dont le volume est maximisé par rapport à la surface. Le but étant d'offrir le plus possible d'espace pour les plantes, mais le moins possible de contact avec l'air extérieur afin de minimiser les changements de température non contrôlés dans la serre. En fait, la conception de la serre devrait se réaliser conjointement avec l'enseignant de mathématiques. Le programme de formation en mathématiques à la troisième secondaire aborde les formules des aires et des surfaces des solides. Dans le cours de mathématiques, les élèves devront utiliser différentes combinaisons de solides afin de concevoir une serre qui maximise autant que possible le ratio volume / surface. Leur serre devra également respecter tous les autres critères du cahier des charges le mieux possible. La serre qu'ils auront conçue dans le cours de mathématiques sera par la suite fabriquée dans le cours de robotique. Deux exemples sont présentés aux figures 36 et 37.

En ce qui concerne l'électronique de la serre à semis, rien n'est plus simple, car tout a déjà été construit dans les projets précédents. Chacun des composants construits précédemment (l'interface d'acquisition et de contrôle de moteur) ont été conçus pour opérer individuellement, mais ils forment également un tout fonctionnel. La figure suivante montre comment on crée le système électronique de gestion de la serre à partir de composants déjà réalisés.

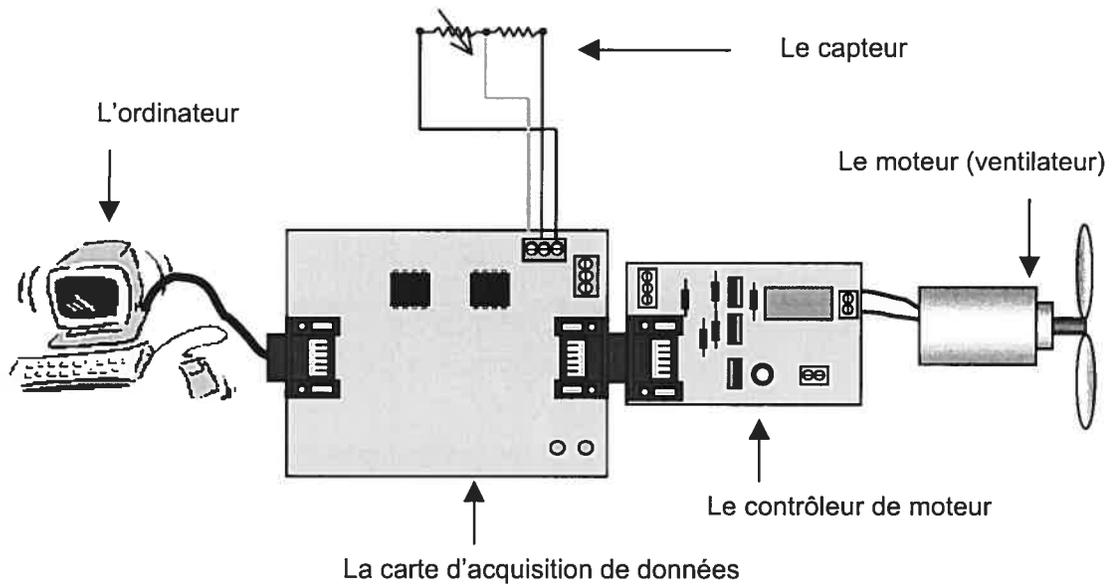


Figure 38 : L'interface électronique de la serre à semis

Pour compléter le projet et obtenir une serre capable de contrôler sa température interne, il ne restera plus aux élèves qu'à écrire en Visual Basic le programme permettant de fixer la température maximale et minimale de la serre et de déclencher la marche ou l'arrêt du moteur au moment opportun. Un exemple d'un tel programme réalisé par un élève est représenté aux figures 39 et 40.

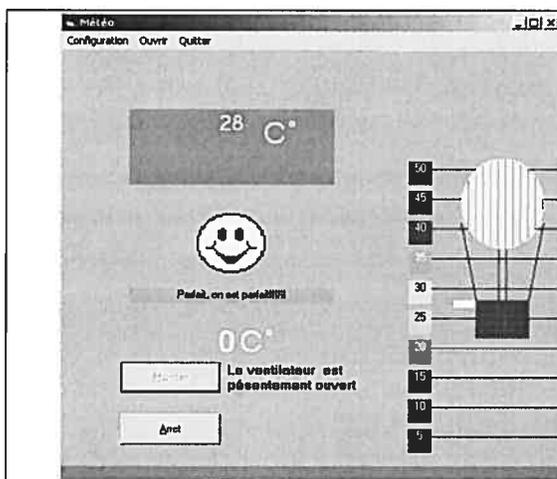


Figure 39 Saisie d'écran d'un logiciel de contrôle de la serre réalisé par un élève

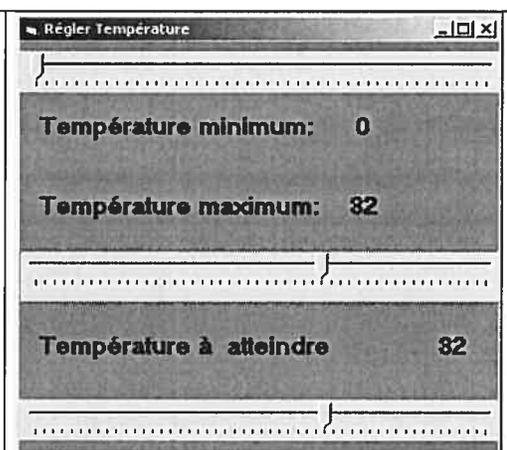


Figure 40: Saisie d'écran de la page de configuration du logiciel de contrôle de la serre réalisé par un élève

Dim Port0 As String	'Déclaration des variables
Dim Portx As Integer	
Dim Fin as Boolean	
Do	'Début de la boucle de lecture de la température
MSComm1.Output = "6" & vbCrLf	'Commande de la lecture du port
attente 500	
MSComm1.Output = "4" & vbCrLf	'Commande de la conversion Analogique /
	numérique.
attente 500	
Port0 = MSComm1.Input & vbCrLf	'Commande de renvoi de la valeur
Portx = Asc(Port0)	'Stockage de la valeur dans la variable Portx
attente 500	
Portx = Portx * -0.416666 + 80	'Transformation de la valeur en bit en degrés
	Celsius
attente 100	
lbltemperature.Caption = Portx	'Affichage de la valeur
If Portx < 15 Then	'Vérification de la température minimale
MSComm1.Output = "8"	'Mise en marche du ventilateur
imgfroid.Visible = True	
(...)	
Else	
lbltemperature.BackColor = &H80FFFF	
(...)	
End If	
If Portx > frmTempérature.Slidermax Then	'Vérification de la température maximale
MSComm1.Output = "8"	'Mise en marche du ventilateur
imgchaud.Visible = True	
(...)	
Else	
lbltemperature.BackColor = &HFF8080	
End If	
Loop until Fin = true	

Table 3 : Échantillon des lignes de codes écrites par un élève pour la serre à semis

Chapitre 4 : Les mises à l'essai et l'évaluation

Dans le présent chapitre, nous décrivons les différentes mises à l'essai que nous avons effectuées dans le cadre de cette recherche. Nous décrivons d'abord la mise à l'essai fonctionnelle du prototype faite avec des experts, puis la mise à l'essai empirique faite avec des élèves du secondaire. Tout au long de ce processus de mise à l'essai, des améliorations ont été apportées aux prototypes grâce aux nombreuses suggestions de nos cobayes experts ou élèves. Finalement, nous parlerons de l'évaluation du projet.

4.1 La mise à l'essai fonctionnelle

Les premiers prototypes des circuits (le contrôleur de moteur et la carte d'acquisition de données) ainsi que les divers logiciels ont été développés et testés au Laboratoire de Robotique Pédagogique de l'Université de Montréal. Plusieurs étudiants-chercheurs travaillant à ce laboratoire ont effectué divers tests techniques afin d'évaluer le bon fonctionnement des prototypes. L'aspect didactique a, quant à lui, été testé par trois enseignants d'initiation à la technologie du secondaire. Pour ce faire, ces enseignants ont réalisé l'ensemble des activités de conception destinées à être accomplies par les élèves. Ceux-ci ont bénéficié des mêmes ressources matérielles et informatiques que les élèves et ont été en mesure de fournir plusieurs pistes de modifications souhaitables ou obligatoires afin d'assurer le succès du projet auprès des élèves.

4.2 Mise à l'essai empirique

À ce jour, ce projet de robotique a bénéficié de trois années de mises à l'essai empiriques. Chacune de ces mises à l'essai s'est déroulée à l'école secondaire Saint-Maxime (commission scolaire de Laval) empruntant à chaque fois un ou deux groupes de 23 élèves à la clientèle du cours d'initiation à la technologie (I.A.T), pour des raisons de sécurité, tous les groupes d'I.A.T sont limités à 23 élèves. À chacune de ces trois mises à l'essai, le projet s'est déroulé tout au long de l'année scolaire.

Mise à l'essai	Année scolaire	Nombre de groupes
1ere	2002-2003	1
2e	2003-2004	1
3e	2004-2005	2

Table 4 : Historique des mises à l'essai empiriques

Tous ces groupes possédaient une répartition équitable entre le nombre de garçons et de filles. De plus, tous étaient représentatifs de la grande diversité culturelle présente dans la ville de Laval. Chacune de ces mises à l'essai a apporté son lot de problèmes et de solutions de sorte que d'année en année le cours de robotique n'a cessé de s'améliorer. Voici quelques problèmes d'implantation qui ont été rencontrés à la première année de mise à l'essai.

En premier lieu, pour réaliser la totalité de ce projet, c'est-à-dire la construction de toutes les parties d'un robot par les élèves, l'appropriation des concepts qui leur sont associés et le développement des compétences souhaitées, la totalité d'un cours de 100 heures est nécessaire. De plus, le contenu disciplinaire de ce projet, c'est-à-dire du «cours de robotique» a été conçu pour un programme de formation qui n'est pas encore implanté dans les écoles secondaires, en particulier pour une école de 2^e cycle comme l'école Saint-Maxime. Ce projet ne peut donc s'inscrire dans le cadre des cours offerts à l'école au moment de la mise à l'essai. Une dérogation a donc été obtenue de la part de l'école secondaire pour utiliser, à chaque année scolaire, un groupe (ou deux groupes) du cours d'initiation à la technologie (I.A.T). Ce ou ces groupes, plutôt que de faire le programme du cours d'IAT feraient le programme du cours de robotique. Le choix du cours d'I.A.T est le choix le plus logique. D'abord, parce qu'il est prévu qu'une partie de ce cours soit intégré dans le futur cours de science et technologie de la réforme. Ensuite, parce qu'il se donne aux élèves dans un atelier propice à la construction de projets. Finalement, comme ce cours est destiné à « disparaître » avec la réforme plus aucun examen normalisé du Ministère de l'Éducation ou de la Commission scolaire n'a lieu au mois de juin. Il était donc plus aisé d'accorder à une école une dérogation comme celle que nous avons obtenue.

En second lieu, la mise en place de ce projet nécessitait des ressources financières. D'abord pour l'achat d'outils spécialisés ne se retrouvant pas dans le local d'I.A.T et ensuite pour la réalisation des projets par les élèves. En ce qui concerne l'achat d'outils spécialisés, il a été fallu équiper l'école d'outils pour faire les circuits imprimés, c'est-à-dire d'une insoleuse à rayons ultra-violet, d'un bain pour faire la gravure chimique à l'aide de Perchlorure de fer et de petites perceuses sur colonne pour faire les petits trous dans les circuits imprimés. Pour ces achats et autres outils nécessaires, un budget de 2000\$ a été offert par l'école. Quant à l'achat des consommables, c'est-à-dire le bois, la colle, le carton, les pièces électriques (résistances, condensateurs, etc.) et électroniques (transistors, microcontrôleurs, etc.)

utilisées par les élèves et qu'ils pourront conserver, ils sont payés en partie par le budget normalement alloué à chaque élève inscrit au cours d'I.A.T et par un montant d'argent payé par l'élève au moment de l'inscription en septembre afin de faire partie de ce projet spécial.

En troisième lieu, comme le nombre de laboratoires informatiques de l'école ne permettait pas d'accommoder le cours de robotique sur une base régulière, un nouveau laboratoire a été mis sur pied. Grâce au programme : *Ordinateurs pour les écoles*, une vingtaine d'ordinateurs ont été obtenus gratuitement et mis à l'usage exclusif de ce projet de robotique. Le nouveau laboratoire d'informatique fait partie d'un environnement à trois locaux qui ont été aménagés et réservés pour cette expérimentation (voir l'annexe 5).

Finalement, dans une école la grille horaire des enseignants réduit souvent les possibilités de travail en coopération dans le but de faire des projets interdisciplinaires. Afin de favoriser une étroite collaboration entre l'enseignant d'informatique et l'enseignant du cours de robotique, il a été demandé et accordé par la direction de l'école, qu'au moment où l'enseignant du cours d'informatique enseigne au groupe du projet de robotique, l'enseignant du cours de robotique soit en période « libre » afin que celui-ci puisse participer au cours d'informatique et faire avec l'enseignant d'informatique de l'enseignement coopératif et vice-versa. Deux périodes par cycle de neuf jours ont ainsi été accordées à l'enseignant du projet de robotique par la direction de l'école. Malheureusement, d'autres dispositions de la sorte ont été impossibles à réaliser avec l'enseignant de 3^e secondaire en sciences ou mathématiques. Mais, peu importe, une collaboration entre les enseignants des sciences et des mathématiques a été possible même si un peu plus compliquée à organiser.

4.3 Évaluation du projet

Notre projet, dans le cadre de ce mémoire, était de concevoir une activité interdisciplinaire qui motiverait les élèves à faire des sciences. Après avoir expérimenté ce projet à trois reprises lors des trois dernières années scolaires, la question qui se pose maintenant est : « avons-nous réussi? ». Sur la base des inscriptions, nous pouvons considérer que le projet est un succès, car depuis la première année les inscriptions ne cessent d'augmenter. En effet, pour l'année scolaire 2005-2006 le projet entamera sa quatrième année d'expérimentation avec, encore une fois, deux groupes. Mais une évaluation un peu plus poussée et rigoureuse a été effectuée après des élèves ayant participé au projet. Cette

évaluation a utilisé deux questionnaires : Le premier afin d'évaluer l'efficacité du projet en temps que projet interdisciplinaire, le second afin d'évaluer la satisfaction générale des élèves.

4.3.1 Évaluation d'un projet interdisciplinaire

Pour cette évaluation, un questionnaire élaboré par Colet (2004) (annexe 7) permettant d'évaluer l'indice d'interdisciplinarité a été administré en juin 2005 à trois des quatre groupes ayant participé au projet de robotique. Lors de l'évaluation, il a été constaté que le style d'écriture et certains termes utilisés dans le questionnaire étaient un peu ardues pour des élèves de troisième secondaire. Tout le temps nécessaire pour bien expliquer chacun des points du questionnaire a été emprunté sur leur temps de classe et, suite aux explications, tous les élèves ont été en mesure de répondre au questionnaire de façon éclairée. Selon Colet (2004), l'indice d'interdisciplinarité Ind_{ID} est le résultat de la différence entre le score pour l'organisation des savoirs et le score pour l'organisation du travail (voir l'évaluation d'un projet interdisciplinaire dans un chapitre précédent). L'analyse des résultats obtenus auprès des élèves nous donne donc une note de 11.1 sur un maximum de 12 pour l'organisation des savoirs et un score de 10.7 sur un maximum de 12 en ce qui concerne l'organisation du travail. La différence entre ces deux dimensions nous donne un l'indice d'interdisciplinarité :

$$Ind_{ID} = 0,5$$

Cette note, place notre projet confortablement dans la zone de l'interdisciplinarité qui est définie dans l'intervalle $[-1 \text{ à } +1]$:

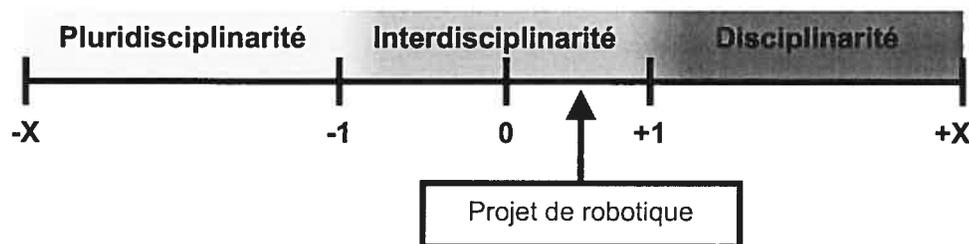


Figure 41 : Positionnement du projet de robotique dans l'échelle d'interdisciplinarité

Cette évaluation vient donc confirmer que notre approche a bel et bien fourni les résultats escomptés en ce qui concerne l'intégration de la technologie, de l'informatique et des

sciences. Ainsi, l'objectif de faire de ce projet un projet interdisciplinaire semble donc se confirmer par cette évaluation et se résume par ce commentaire d'une élève :

« J'aime la façon que l'on travaille dans la classe, les divers projets qui nous permettent d'en savoir davantage sur la technologie et l'informatique »

Marie-Lyne Chayer

De plus, si l'on observe les résultats pour chacune des 8 dimensions évaluées par le questionnaire (figure 42), on constate que le degré d'intégration disciplinaire obtient une note de 94,3%. Cette note confirme que les élèves ont été en mesure de constater et d'apprécier le degré d'intégration des contenus disciplinaire tout comme l'intégration de l'évaluation des apprentissages qui a obtenu le plus haut pourcentage de toutes les dimensions (96,2%). Ce résultat s'explique par les efforts qui ont été fournis par les enseignants afin d'évaluer les élèves en situations authentiques plutôt que par un traditionnel examen écrit.

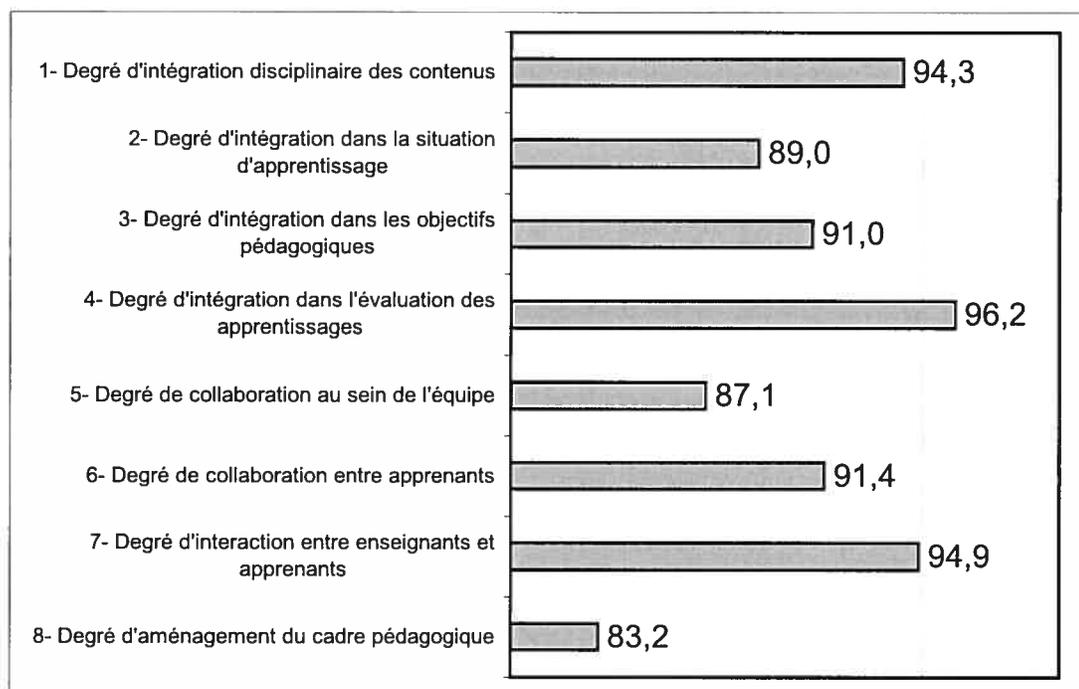


Figure 42 : Résultat de l'évaluation des 8 dimensions du questionnaire de Colet

4.3.2 Évaluation de la richesse du projet pour les élèves et de la qualité de la concertation pour l'équipe

Un second questionnaire a été distribué aux élèves (annexe 8). Il s'agit d'un questionnaire réalisé par Marie-Noelle Cormemier (2000) qui forme une double évaluation. D'une part, ce questionnaire servira à évaluer la richesse du projet pour les élèves et, en second lieu, la qualité de la concertation pour l'équipe qui a réalisé le projet interdisciplinaire.

Tout d'abord, les résultats de la première partie de l'évaluation nous permettent de constater un très haut pourcentage de satisfaction chez les élèves en ce qui concerne la richesse du projet. Les résultats pour chacune des dimensions évaluées se situant entre 84,3% et 97,1% ce qui est très satisfaisant. On constatera, d'une part la grande satisfaction des élèves à pouvoir trouver et créer leur propre solution aux problèmes technologiques proposés puisque 94,3% des élèves considèrent que le projet a induit des travaux créatifs. Mais, ceux-ci ont peut-être une petite réserve en ce qui concerne la qualité de leurs productions (84,3%). Il est vrai qu'il n'est pas toujours facile de partir d'une belle et grande idée et de la réaliser à partir de ses mains et de matières premières telles le bois et le métal. On observera également la très haute évaluation des élèves en ce qui concerne l'incidence du projet et la relation entre l'élève et l'enseignant (97,1%). Ce bon résultat est également observable dans la figure 44 alors que l'incidence du projet sur le degré d'interaction entre l'enseignant et l'apprenant a obtenu une note de 94,9%. Ce très haut résultat a de quoi nous réjouir lorsque l'on se souvient que la relation entre l'enseignant et l'élève est à la base du triangle pédagogique (voir chapitre 2) et qu'une bonne relation élève-enseignant devrait favoriser une bonne relation entre l'élève et le savoir.

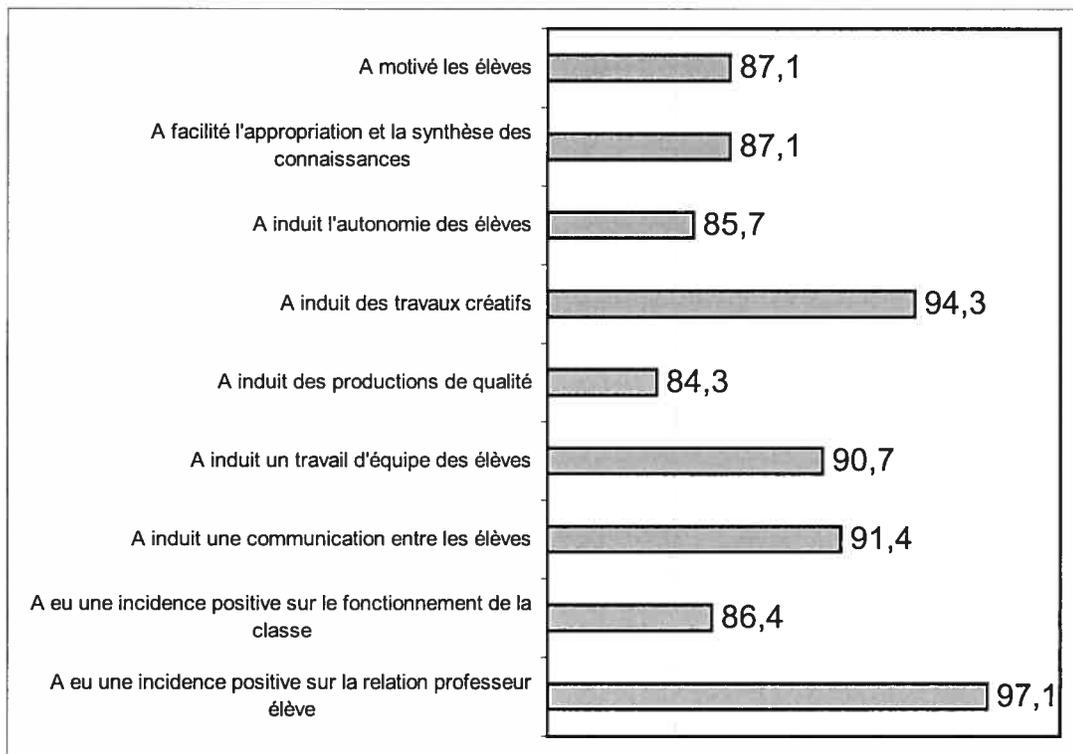


Figure 43 : Résultat de l'évaluation de la qualité de la richesse du projet selon le questionnaire de Cormenier (2000).

Cette bonne relation entre l'enseignant et les élèves s'est développée dans un environnement de travail où les élèves possédaient une grande autonomie et une responsabilité face à leur gestion du temps. Cette liberté d'action a été très appréciée par 86.4% des élèves :

« J'aime qu'on soit libres (le prof n'est pas toujours après nous) [...] J'aime l'ambiance c'est super! »

anonyme

« On nous apprend à travailler de façon autonome »

anonyme

En second lieu, à l'aide du questionnaire de Cormenier (2000) il nous a été possible d'évaluer la qualité de la concertation entre les membres de chacune des équipes qui a travaillé sur chacun des projets du cours de robotique. Ici, il est possible de constater ce que nous croyons être l'élément déterminant dans la réussite de ce projet : la mise en place

d'une aide personnalisée qui a obtenu la plus haute note de satisfaction (92.9%) chez les élèves. Ce résultat est également confirmé par ce commentaire d'un élève :

« J'aime l'ambiance qu'il y a entre le professeur et les élèves, la façon qu'on travaille en classe, les projets qu'on va faire durant l'année : le manège, la serre... »

anonyme

Ce résultat ainsi que le résultat précédent concernant la relation entre l'élève et l'enseignant nous amènent à croire qu'aux yeux des élèves, l'enseignant n'était pas le maître absolu en classe, mais bien une ressource, au même titre qu'un entraîneur, qui a su guider les élèves tout au long de leur processus d'apprentissage.

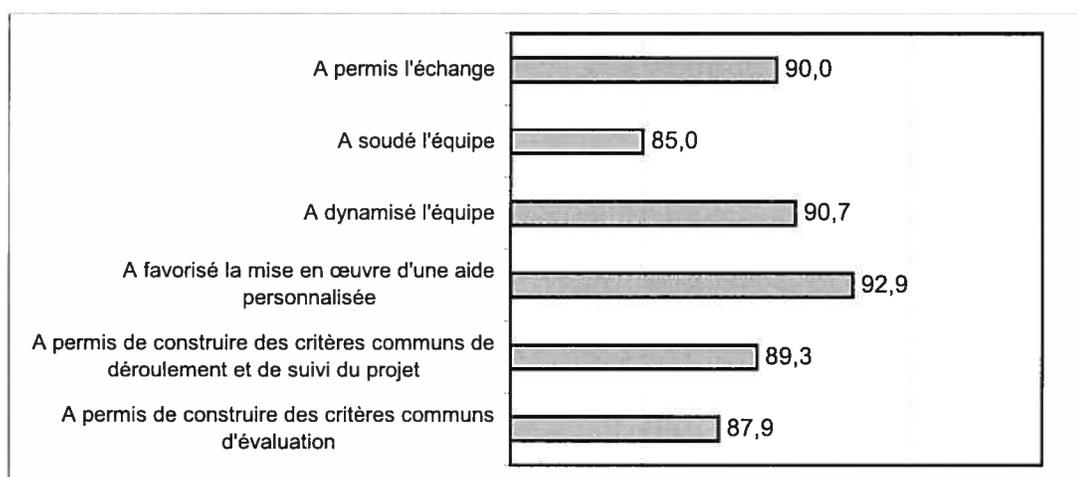


Figure 44 : Résultat de l'évaluation (en pourcentage) de la qualité de la concertation pour l'équipe selon le questionnaire de Cormenier (2000).

Les deux questionnaires de Cormenier nous permettent de croire qu'il est effectivement possible d'accroître l'intérêt et la motivation des élèves grâce à un projet qui s'ancre dans leur réalité et qui leur offre un défi à résoudre: comprendre suffisamment le fonctionnement d'un robot afin d'être en mesure d'en réaliser un à l'école. En ce qui concerne le facteur de motivation du projet, 87,1% des élèves ont considéré que ce projet a accru leur motivation en classe. D'ailleurs, quelques témoignages ont été recueillis chez les élèves concernant la motivation :

« J'aime ça travailler avec l'électricité pour apprendre diverses notions. La façon dont le prof explique les choses. »

anonyme

« Ce que je n'aime pas dans le cours c'est rien. Impossible de trouver quelque chose d'ennuyant dans ce cours de techno-folie »

Martin Langlais

4.3.3 Évaluation du projet face au programme de formation

Nous croyons que les approches préconisées dans ce projet de robotique concordent avec les visés du programme de formation. L'évaluation des élèves semble confirmer notre perception. Mais nous devons pousser plus loin notre évaluation et valider la pertinence du projet de robotique face au contenu disciplinaire qu'il offre à l'élève dans le but de couvrir plus exhaustivement le contenu disciplinaire du programme de science et technologie à la première année du deuxième cycle du secondaire.

4.3.3.1 Une efficacité partagée

Le tableau 4 nous indique le nombre de concepts prescrits, présents dans chacun des quatre univers du programme de formation en science et technologie (première année du deuxième cycle du secondaire). Il est à noter que le nombre de concepts prescrits a été tiré de la version provisoire (février 2005) du programme de science et technologie. Celui-ci étant en cours de consultation et de révision au moment d'écrire ces lignes. La version définitive reste à paraître au cours de l'année 2006. Plusieurs changements peuvent encore être apportés à la liste des concepts prescrits, tant au niveau de la nature des concepts que de leur nombre.

Univers	Nombre de concepts prescrit dans le programme de formation*	Nombre de concepts prescrits présents dans ce projet		
		conception d'un effecteur (manège)	Conception d'un capteur	Conception d'un système automatisé (serre à semis)
Matériel	23	17	0	0
Vivant	29	0	0	0
Terre et espace	19	0	0	0
Technologique	22	22	0	10
Total	93	49	0	10

*Version provisoire du programme de science et technologie deuxième cycle du secondaire, première année, février 2005

Table 5 : Comparaison entre le nombre de concepts prescrits présents dans le programme de formation et le nombre de concepts prescrits présents dans le projet de robotique

La première constatation que nous pouvons faire, et elle est majeure, est que seule la conception d'un effecteur (le manège) permet d'aborder en classe un nombre acceptable de concepts. Le temps passé à la réalisation d'un capteur de température et la conception d'un système automatisé, la serre à semis, bien qu'ils permettent l'intégration des mathématiques et de l'informatique avec le cours de science et technologie, ne permettent pas de couvrir efficacement le programme de formation. Nous croyons fermement que les concepts abordés intéressent et motivent les élèves, mais le nombre de concepts prescrits qu'ils permettent de couvrir ne justifie pas le temps accordé à ces projets. Ainsi donc, notre constat est que le projet de robotique pourrait se limiter uniquement à la conception du manège.

Considérant uniquement l'activité de conception d'un manège, ce projet de robotique utilise 17 des 23 concepts prescrits de l'univers matériel et la totalité des 22 concepts de l'univers technologique. Ce projet permet donc à l'enseignant de couvrir 53% des concepts prescrits par le programme de formation en une période de 60 heures. Comme le cours de science et technologie occupe un total de 150 heures dans l'horaire de l'élève pour l'année scolaire, il revient à dire que plus de la moitié des concepts sont couverts en 40% du temps disponible par l'enseignant. Nous pouvons considérer le projet comme étant efficace tant sur le nombre de concepts prescrits qu'il couvre que sur le temps nécessaire à sa réalisation.

Finalement, comme nous l'avons mentionné précédemment, chacun des concepts prescrits par le programme de formation en science et technologie a été réparti dans l'un des quatre

univers : l'univers matériel, l'univers du vivant, terre et espace et l'univers technologique. Afin de développer chez les élèves les compétences disciplinaires et transversales souhaitées, il est demandé aux enseignants d'offrir aux élèves des situations d'apprentissage et d'évaluation contextualisées, ouvertes et intégratives (MELS 2005, p. 221). Pour ce faire, les concepts de chacun des quatre univers ne doivent pas être abordés séparément ni de manière séquentielle (MELS 2005, p.245) : «l'intégration dans une même situation de concepts puisés dans ces divers univers constitue une approche privilégiée dans la mise en œuvre du programme.» (MELS 2005, p.245). Lors de l'élaboration de situations d'apprentissage, l'enseignant doit donc puiser les concepts à travailler dans au moins deux univers. Notre projet respecte donc cette prescription du programme de formation puisqu'il puise ses concepts dans deux des quatre univers : l'univers matériel et technologique.

Conclusion et perspective

Nous avons, dans cette recherche, développé des activités d'apprentissage interdisciplinaires s'intégrant au nouveau programme de formation en science et technologie à la première année du deuxième cycle du secondaire. Programme qui sera en place en 2007 dans toutes les écoles de la province de Québec. Pour ce faire, nous sommes partis de l'idée toute simple que les robots représentent un sujet d'étude suffisamment complexe permettant une indispensable intégration de l'informatique, des sciences et de la technologie. De plus, comme le robot est un sujet qui fascine les jeunes (et les moins jeunes) tout en faisant de plus en plus partie intégrante de notre réalité quotidienne, nous avons posé l'hypothèse que ce sujet motiverait les élèves dans leur apprentissage des sciences et de la technologie tout en offrant un excellent moyen de contextualiser les apprentissages. La principale activité de ce projet de robotique est la création d'un manège de fête foraine contrôlé par ordinateur. Ce projet de création technologique suit toutes les étapes de la démarche technologique. Cette démarche comprend : L'étude du cahier des charges, l'étude des principes, l'étude de construction, la construction d'un prototype et la création des plans finaux. Cette activité de conception technologique et d'investigation scientifique est réalisée dans un environnement technologique expressément mis au point pour ce projet. Il comprend un environnement de travail, un modèle d'interface de contrôle de moteur incluant les plans nécessaires à sa réalisation, un logiciel du support à l'enseignement ainsi que des activités de découvertes scientifiques relatives à la nature de l'électricité. Elle permet à l'élève de s'approprier les compétences propres à différents domaines de formation, les savoirs (nature de l'électricité, principes élémentaires d'électronique, dessins techniques, etc.) et les savoirs-faire par la conception et la réalisation de projets technologiques (manège, interface de contrôle, logiciel en Visual Basic).

La méthodologie de cette recherche de développement technologique en éducation a suivi le modèle de Nonnon (1994). Ce modèle impose que l'idée initiale, à l'origine de la recherche, soit confrontée aux théories de l'éducation actuellement valides. Des considérations didactiques sur la nécessité de l'intégration des sciences et de la technologie, sur la démarche scientifique et technologique, sur un apprentissage basé sur une approche par projet ainsi que sur le constructivisme ont donc été abordées afin de valider notre idée. Nous nous sommes également assurés que ce projet correspondait en tous points aux visées du nouveau programme de formation de l'école québécoise.

Nous avons ensuite mis sur pied un modèle d'action comprenant une stratégie d'apprentissage (des activités d'investigation et de conception technologique) ainsi que plusieurs prototypes qui appuient cette stratégie. Ce modèle a été mis à l'essai de manière fonctionnelle avec des experts et nous avons ensuite procédé à trois mises à l'essai empiriques avec des élèves du secondaire. Lors de ces mises à l'essai nous avons été en mesure d'améliorer nos prototypes et de recueillir des informations sur sa fonctionnalité en classe et la possibilité d'intégrer notre projet dans l'éventuel programme de sciences et technologie au deuxième cycle du secondaire.

L'évaluation de notre projet de robotique a essentiellement été effectuée à l'aide de sondages auprès des élèves et des enseignants. D'abord, un sondage a été conduit auprès des élèves afin d'évaluer l'indice d'interdisciplinarité selon Colet (2003). Le projet de robotique a obtenu un excellent résultat avec un score de 0,5, ce qui le place confortablement dans la zone d'un projet interdisciplinaire. Un second sondage a été effectué auprès des élèves afin d'évaluer la richesse du projet pour les élèves ainsi que la qualité de la concertation pour l'équipe. Notre projet a également très bien performé dans ce sondage obtenant des scores supérieurs à 82% dans chacun des points évalués. Ce sondage confirme que notre projet excelle dans l'intégration des contenus disciplinaires et dans la relation élèves-enseignants qu'il permet de créer.

Malheureusement, il est également ressorti de notre évaluation que tous les projets proposés n'étaient pas égaux dans leur efficacité à rejoindre tous les concepts prescrits au programme de formation. Pour cette raison, nous recommandons l'utilisation en classe du projet de la conception d'un manège (qui s'est révélé très efficace sur la quantité de concepts prescrits qu'il utilise). Mais, l'utilisation dans la forme actuelle des projets de conception du capteur et du système automatisé (la serre à semis), ne sauraient être recommandés puisqu'ils ne permettent pas de répondre aux attentes du nouveau programme au niveau du nombre de concepts prescrits qu'ils permettent de couvrir. L'utilisation de ces projets pourrait par contre se faire à titre de projets spéciaux ou d'enrichissements en attendant que les programmes évoluent de la technique vers la technologie.

De par cette recherche de développement en éducation nous avons produit des activités d'apprentissage interdisciplinaires en sciences, technologie et informatique couvrant plus de la moitié du programme de science et technologie à venir (première année du deuxième

cycle du secondaire). De par les outils que nous fournissons à l'enseignant, nous croyons que son intégration sera des plus aisée et que ce projet aidera les enseignants à mieux répondre aux exigences du programme de formation tout en motivant les élèves et en développant chez eux des compétences pratiques en sciences et technologie.

Liste de références

- ARSAC G. & al (1991). *Problème ouvert et situation-problème*. Irem de Lyon.
- ASTER et al. (1985), *Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales*, Instaprint, p.213.
- BELLAVANCE Francoeur, Suzanne. 1995. *Centre de pédagogie transdisciplinaire* <<http://www.cspi.qc.ca/pont-com/projet/dprojet.htm>> page consulté le 1 avril 2003.
- BLACK, Harrison. *Rapport Copret*, France, p.93 et 94.
- BLONDIN, André. (1998) *Traitement didactique préventif d'un type de conceptions erronées en sciences chez des élèves du secondaire*, Thèse de doctorat, p 16-23.
- BLONDIN, André et Trân, K.T. (1991) *Didactique expérientielle*, Spectre, mai 1991
- BOUCHARD, Colette. *Le processus d'apprentissage et l'intégration*» in *Interdisciplinarité, différents points de vue*.
- BOUMATI, Françoise (1993), *Essai d'enseignement de la technologie à l'école avec la robotique comme finalité*, Robotique pédagogique Les actes du 2^e congrès international, Les publications de la faculté des sciences de l'éducation, Université de Montréal, page 25.
- CENTRE DE DEVELOPPEMENT PÉDAGOGIQUE, Documents remis lors de la formation des agents multiplicateurs de la réforme au secondaire 2004.
- COLET, Nicole Rege (2003), *Université et disciplinarité : Ose-t-on encore parler d'interdisciplinarité? Séminaire Internationale d'interdisciplinarité*, Université de Porto, Novembre 2003.
- CENTRE INTER UNIVERSITAIRE DE RECHERCHE SUR LA SCIENCE ET LA TECHNOLOGIE (CIRST), (2000), *Portrait statistique des étudiants en science et génie du Québec (1970 à 2000)*. Page 18.
- CONSEIL DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE (2002), *30 ans d'histoire*, Bibliothèque nationale du Québec. p73.
- CORMENIER, Marie-Noelle (2000), *Évaluation du projet par l'équipe à l'initiative de l'itinéraire de découverte*, <http://www.ac-creteil.fr/pointdoc/peda/rechdoc/idd.html>.
- DRIVER, Rosalind. (1989), *Students' conceptions and the learning of science*, International Journal of Science Education, Vol 11, no 5, Special Issue, p. 481.
- DESPRÉS-POIRIER, Micheline, *Le système d'éducation du Québec 3^e édition*, Édition Gaëtan Morin 1999

- FENOUILLET, Fabien. (1999) La motivation à l'école, Cité des Sciences et de l'Industrie *Apprendre autrement aujourd'hui ? 10^e Entretiens de la Villette*. http://www.cite-sciences.fr/francais/ala_cite/act_educ/education/apprendre/commapprends_p4.htm
- FOUREZ, G. (1998). *Se représenter et mettre en œuvre l'interdisciplinarité à l'école*. Revue des sciences de l'éducation, vol. XXIV (1), 31-50.
- GALACTICS, 1998 <http://collections.ic.gc.ca/science/francais/science/alsci.html>, Page web consulté le 26 juillet 2004.
- GAUTHIER, Clermont. (1997) *Pour une théorie de la pédagogie*, Les presses de l'université Laval. p.104.
- GIORDAN André, GIRAULT Yves. (1994a). *Les aspects qualitatifs de l'enseignement des sciences dans les pays francophones*. Page 24.
- GIORDAN André, GIRAULT Yves, (1994b) *Les aspects qualitatifs de l'enseignement des sciences dans les pays francophones*. 1994. Page 11.
- GIORDAN André, GIRAULT Yves, (1994c) *Les aspects qualitatifs de l'enseignement des sciences dans les pays francophones*. 1994. Page 22.
- HOUSSAYE J. (1988), *Le triangle pédagogique*. Théorie et pratiques de l'éducation scolaire T.1, Pratiques pédagogiques. Théorie et pratiques de l'éducation scolaire T. 2, Suisse, Berne, Peter Lang, 1988.
- INSTITUT UNIVERSITAIRE DE FORMATION DES MAITRES DE L'ACADEMIE DE CRÉTEIL (2005), La démarche scientifique en classe, http://st.creteil.iufm.fr/reperes/demarche_scientifique.htm
- INCHAUSPÉ, P., (1997). *Réaffirmer l'école*. Rapport du groupe de travail sur la réforme du curriculum. Gouvernement du Québec, Ministère de l'éducation.
- LAMOUREUX, Line. (2004). *Créer un scénario d'apprentissage en multidisciplinarité au secondaire*. 22^e colloque de l'AQUOPS 2004, Atelier 612.
- LAROSE, R. 1992. *Une didactique de la biologie pour une pédagogie indisciplinaire*. Revue des sciences de l'éducation relative à l'environnement, XVIII(2): 274-284.
- LEGENDRE, *Dictionnaire de l'Éducation*, Québec, p.1335
- LENOIR, Y., et Sauvé, L. (1998a). *Introduction-L'interdisciplinarité et la formation à l'enseignement primaire et secondaire: quelle interdisciplinarité pour quelle formation ?* Revue des sciences de l'éducation, vol. XXIV (1), 3-29.
- LENOIR, Y., et Sauvé, L. (1998b). *De l'interdisciplinarité scolaire à l'interdisciplinarité dans la formation à l'enseignement : Un état de la question*. Revue Française de Pédagogie, (124), 127-153.

LINETTE, S et Lépine M (2003) *Contextualisation et présentation du Programme de formation*. Commission scolaire des Samares

MARTEL, Christine. 1996. *La formation professionnelle au secondaire*, Actes du colloque sur l'orientation des jeunes vers les carrières scientifiques et techniques, Collège Bois de Boulogne.

MÉNARD Louise. 2002. *Vygotsky La construction sociale des savoirs*, Université Laval. <<http://www.protic.net/profs/menard/articles/vygotsky.cfm>>. Page consulté le 2 avril 2003
Ministère de l'Éducation du Québec (1986) «L'intégration des matières au primaire». 16-0000-13

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC (), Ministère de l'éducation du Québec, *Programme des programmes*.

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DU QUÉBEC (2001)
http://www.meq.gouv.qc.ca/lancement/prog_formation/faits_saillants.htm

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION DES LOISIRS ET DU SPORT (2005), *Programme de formation de l'école québécoise, secondaire 2^e cycle* (version février 2005).

NONNON, Pierre. 1990. *La Ronde*, Minds in Motions, Spring 1990, p.87

NONNON, Pierre. (1993) *Proposition d'un modèle de recherche développement technologique en éducation, regards sur la robotique pédagogique technologies nouvelles et éducation*. Publication de service de technologie de l'éducation de l'Université de Liège et de l'institut national de recherche pédagogique. Paris, pp. 147-154.

NONNON, Pierre et Langlois, Marthe (1990) *Une application de robotique pédagogique sur le thème "La ronde" où de jeunes étudiants sont initiés aux sciences et aux technologies*. Minds in motion, 6 pages.

PERNOUD 1999. *Apprendre à l'école à travers des projets : pourquoi ? comment ?*, <http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_1999/1999_17.html>

PERRNOUD 1999. *Construire des compétences, tout un programme !* Entrevue avec Philippe Perrenoud. Propos recueillis par Luce Brossard, *Vie pédagogique*, n° 112, septembre-octobre 1999, pp. 16-20 [1999_14]
<http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_1999/1999_14.html>

ROSS John A. 1998, *Integrating mathematics, science, and technology: effects on students*, Int. journal science education, 1998, vol.20 no9, 1119-1135

SÉNÉCHAL David. (2001) *Notice du cours PHQ-399*, Histoire de sciences. Université de Sherbrooke.

TARDIF J. (1992) *Pour un enseignement stratégique. L'apport de la psychologie cognitive*. Montréal :Logiques

TARDIF N.(1992) *L'interdisciplinarité: une voie d'avenir*. Actes de colloque. Sherbrooke, 1992.

UNESCO(1994a), *Planifier l'offre d'éducation scientifique dans l'enseignement secondaire*, p56.

UNESCO(1994b), *Planifier l'offre d'éducation scientifique dans l'enseignement secondaire*, page 3.

UNESCO(1994c), *Planifier l'offre d'éducation scientifique dans l'enseignement secondaire*, page 86.

VAN DER MAREN, j.-m. (1995) *Méthodes de recherché pour l'éducation*, les presse de l'université de montréal. 456p.

VON GLASERSFELD, Ernst (1998), *Introduction à un constructivisme radical*, Édition du Seuil, p.34.

VON GLASERSFELD, Ernst (1998b), *Introduction à un constructivisme radical*, Édition du Seuil, p.30.

VYGOTSKY Lev, (1931). *The development of thinking and concept formation in adolescence*, <http://www.marxists.org/archive/vygotsky/works/1931/adolescent/ch10.htm>

Annexes

Annexe 1 : Circuit électrique du contrôleur de moteur pour le manège

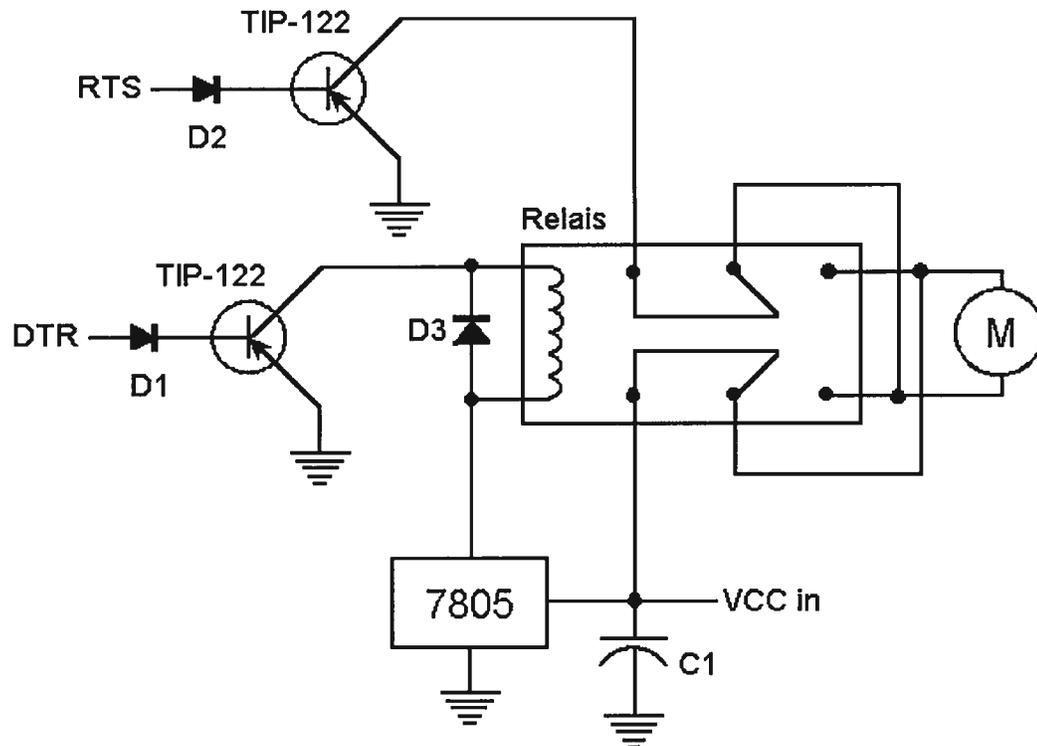
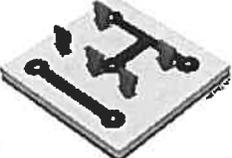
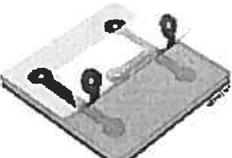
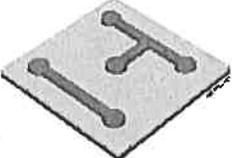
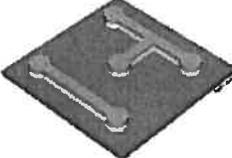


Figure 47: Circuit électrique du contrôleur de moteur pour le manège

D1,D2 et D3	Diodes
C1	Condensateur
7805	Régulateur de tension LM7805
TIP-122	Transistor (boîtier to-220)

Annexe 2 : Étapes de création d'un circuit imprimé

Débit	Découpez, à l'aide de la cisaille, la plaque Epoxy / cuivre aux dimensions du futur circuit imprimé.	
Préparation	Mettez le typon dans l'insoleuse en vérifiant bien son sens . Pour que l'insolation puisse s'effectuer, il faut retirer l'adhésif opaque qui protège la résine photosensible des rayons ultra-violet de la lumière ambiante. Une fois l'adhésif retiré, placez la plaque pré-sensibilisée dans l'insoleuse, coté résine sur le typon.	
Insolation	Fermez le capot protecteur de l'insoleuse et réglez la minuterie sur 2min30 . Les ultra-violets émis par les tubes de l'insoleuse vont modifier la structure de la résine photosensible aux endroits non protégés par le tracé du typon. Lorsque la minuterie s'arrête, ouvrez le capot protecteur de l'insoleuse et sortez la plaque pré-sensibilisée. Vous devez pouvoir observer le tracé des pistes imprimé sur la résine.	 
Révélation	Trempez la plaque pré-sensibilisée dans le bain révélateur en suivant bien les consignes de sécurité . Si le révélateur est récent ou très actif, l'opération risque d'être très courte ! Observez bien l'action du produit qui désagrège la résine modifiée par les ultra-violets, ne laissant que le tracé des futures pistes sur la couche de cuivre.	
Rinçage	Rincez abondamment la plaque pré-sensibilisée dans l'eau. Le révélateur est encore actif si vous ne l'enlevez pas totalement.	
Gravure	Placez la plaque pré-sensibilisée dans la graveuse en suivant bien les consignes de sécurité . Réglez la minuterie sur 20 min . Le perchlorure de fer décompose le cuivre qui n'est pas protégé par le tracé des pistes en résine.	
Rinçage	Rincez abondamment le circuit imprimé à l'eau. Le perchlorure est encore actif, toxique et salissant.	
Nettoyage	Nettoyez le circuit imprimé à l'aide d'un chiffon imbibé d'alcool jusqu'à faire disparaître la résine maintenant inutile.	

Source : http://www.rochambeau.org/techno/cours/fabci/mode_op.html

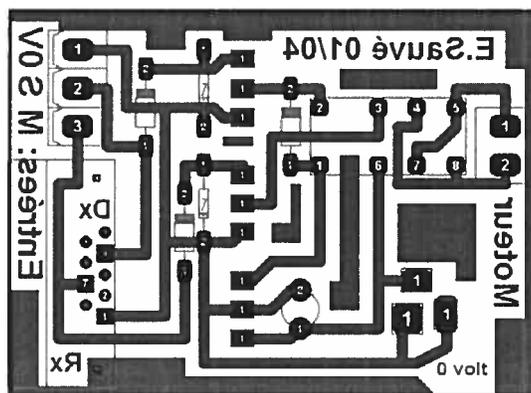
Annexe 3: Le typon du contrôleur de moteur

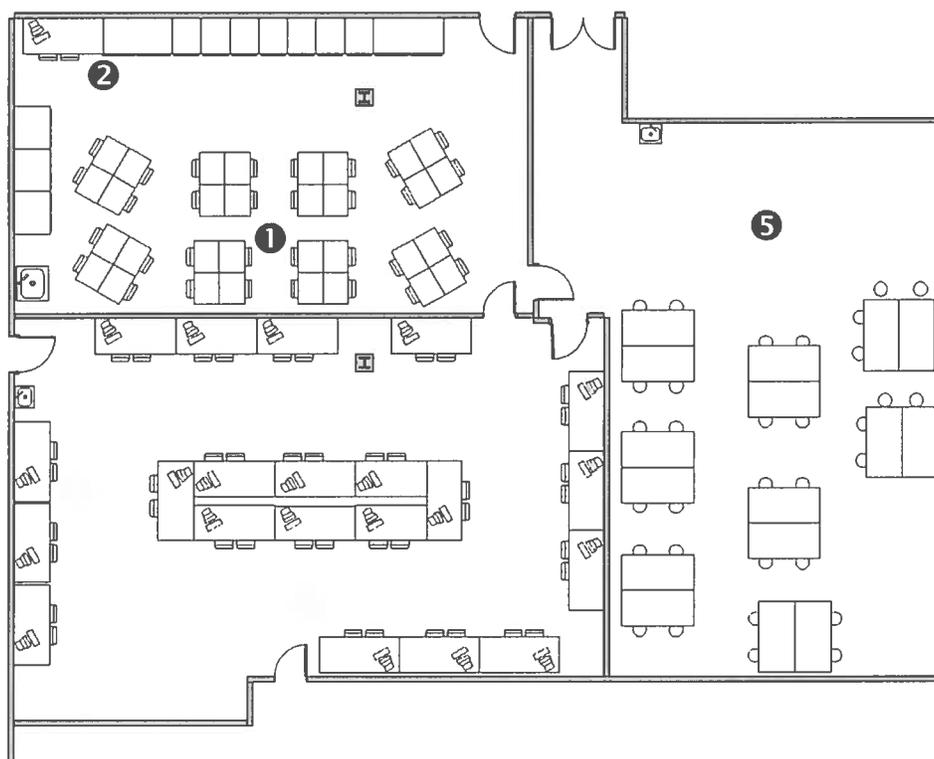
Figure 48 : Typon réalisé pour la fabrication du circuit imprimé du contrôleur de moteur

Annexe 4 : La programmation du manège en Visual Basic

Commande	Effet	
L'ordinateur envoie la commande marche <i>Mscomm1.RTSenable = true</i>	Ferme le circuit du canal RTS. Un courant électrique passe alors par ce canal (RTS =1)	Le transistor (2) autorise ou non le passage du courant à forte intensité dans le relais. Le moteur est en marche ou est à l'arrêt.
L'ordinateur envoie la commande arrêt <i>Mscomm1.RTSenable = false</i>	Ouvre le circuit du canal RTS. Aucun courant ne passe alors par ce canal (RTS = 0).	
L'ordinateur envoie la commande avance <i>Mscomm1.DTRenable = true</i>	Ferme le circuit du canal DTR. Un courant électrique passe alors par ce canal (DTR = 1).	Le relais commute et le moteur change de sens de rotation
L'ordinateur envoie la commande recule <i>Mscomm1.DTRenable = false</i>	Ouvre le circuit du canal DTR. Aucun courant ne passe alors par ce canal (DTR = 0).	

Table 5 : La programmation du manège en Visual Basic

Annexe 5: L'environnement technologique



1	Aire de travail multimédia. Salle de cours multifonction avec projecteur multimédia. Configuration variable de la classe.
2	Étagère avec bibliothèque et un poste de travail avec accès Internet
	Aire de travail informatique
	3 postes de travail avec accès Internet
5	Aire de travail technologique. Les machines outils ne sont pas représentées sur le schémas.

Figure 49 : L'environnement technologique mis en place à l'école secondaire Saint-Maxime

Annexe 6 : La programmation du capteur de température

	Action de l'ordinateur	État de la variable Port0 dans la mémoire de l'ordinateur	Action du microprocesseur	État de la mémoire du micro-processeur	État du capteur
1	L'ordinateur commande une lecture de port capteur (Port0) ainsi qu'une conversion analogique / numérique de la valeur en mémoire MSComm1.Output = "6" & vbCrLf attente 500				
2			Le processeur effectue une lecture de la valeur du port0. Il effectue une conversion analogique et place la valeur résultante dans sa mémoire	0 @ 255 (bits)	
3	L'ordinateur demande au microprocesseur de lui faire parvenir le contenu de sa mémoire MSComm1.Output = "4" & vbCrLf attente 500			0 @ 255	
4			Le processeur envoie le valeur en mémoire à l'ordinateur	0 @ 255	
5	L'ordinateur reçoit la valeur et la place dans une variable définie comme une chaîne de caractère (string) Port0=MSComm1.input & vbCrLf attente 500	0 @ 255 (une chaîne de caractère)			
6	L'ordinateur transforme la chaîne de caractère en nombre LbTemperature.caption = Asc(Port0)	0 @ 255 (un nombre)			
7	L'ordinateur applique l'équation de transformation sur Asc(Port0) $T_{celcius} = a * Asc(Port0) + b$	-100 @ + 150 (degré celcius)			

Table 6 : Étapes de la lecture du capteur en Visual Basic

Annexe 7 : Questionnaire pour l'évaluation d'un projet interdisciplinaire

Evaluation d'un projet interdisciplinaire

	4	3	2	1
Dimension 1	Oui	Plutôt oui	Plutôt non	non
Degré d'intégration disciplinaire des contenus				
Le thème mobilisateur du projet interdisciplinaire permet une rencontre pertinente entre au moins deux disciplines.				
Le projet propose une délimitation claire et précise des contenus qui sont traités.				
Le projet s'articule autour d'une situation-problème authentique, complexe, non disciplinaire et en lien avec la réalité.				
Le thème choisi permet de traiter plusieurs contenus qui sont au programme ou plan d'études.				
Moyenne des scores pour dimension 1				
	4	3	2	1
Dimension 2	Oui	Plutôt oui	Plutôt non	Non
Degré d'intégration dans la situation d'apprentissage				
Les apprenants sont invités à mobiliser leurs connaissances antérieures et à développer des compétences multiples.				
La situation d'apprentissage permet aux apprenants de proposer plusieurs solutions personnalisées au problème posé.				
Le projet encourage une démarche inductive basée sur la curiosité et la découverte.				
Les apprenants peuvent développer des raisonnements complexes et de haut niveau.				
La situation d'apprentissage présente un défi ou un obstacle cognitif adapté qui pousse les apprenants à aller plus loin.				
Le parcours d'apprentissage est personnalisé et individualisé.				
Moyenne des scores pour dimension 2				
	4	3	2	1
Dimension 3	Oui	Plutôt oui	Plutôt non	non
Degré d'intégration dans les objectifs pédagogiques				
Les intentions de l'équipe visent l'acquisition et le développement de compétences transversales et/ou professionnelles.				
Les compétences disciplinaires sont de haut niveau selon la taxonomie de Bloom (application, analyse et synthèse).				
Les apprenants doivent développer des compétences méthodologiques dans le domaine de l'organisation du travail et de la gestion du projet.				
Le projet permet d'acquérir des compétences sociales dans le travail en équipe.				
Les apprenants sont amenés à développer leurs compétences de communication et d'expression.				
Le savoir intégré lié au projet conduit à un nouvel état de connaissance : nouvelle conceptualisation, production originale ou innovante, changement de représentation, etc...				
Les objectifs pédagogiques visés par le projet sont transversaux par rapport au programme ou plan d'études.				
Moyenne des scores pour dimension 3				
	4	3	2	1
Dimension 4	Oui	Plutôt oui	Plutôt non	Non
Degré d'intégration dans l'évaluation des apprentissages				
La méthode d'évaluation permet de vérifier que l'apprenant a développé un savoir intégré				
L'évaluation s'appuie sur plusieurs méthodes et utilise différents instruments.				
L'évaluation mesure la progression et l'implication de chaque apprenant.				
Des remédiations sont prévues pour permettre à l'apprenant de progresser.				
La notation est basée sur une démarche d'évaluation critériée.				
Le projet prévoit une phase d'auto-évaluation.				
Moyenne des scores pour dimension 4				

Figure 50 : Questionnaire pour l'évaluation d'un projet interdisciplinaire (page 1)

	4	3	2	1
Dimension 5	Oui	Plutôt oui	Plutôt non	Non
Degré de collaboration au sein de l'équipe				
La planification et la préparation du projet se sont faites en équipe				
Tous les enseignants ont participé à la formulation de la situation-problème et des objectifs pédagogiques.				
Le projet prévoit des moments d'animation en duo ou plus.				
Les modalités et critères d'évaluation des apprentissages ont été définis en équipe.				
La répartition des tâches et responsabilités au sein de l'équipe est équilibrée et appropriée.				
L'équipe veille à tenir des positions cohérentes vis-à-vis des apprenants.				
Moyenne des scores pour dimension 5				

	4	3	2	1
Dimension 6	Oui	Plutôt oui	Plutôt non	Non
Degré de collaboration entre apprenants				
Les méthodes de travail accordent une grande place au travail en groupe pour les apprenants.				
L'approche fait une large place aux méthodes dites actives qui impliquent fortement les apprenants.				
Les apprenants peuvent développer leur autonomie et sens des responsabilités.				
Le projet équilibre de manière satisfaisante les moments de travail en groupes et de travail individuel.				
Les apprenants peuvent confronter leurs points de vue et représentations.				
Moyenne des scores pour dimension 6				

	4	3	2	1
Dimension 7	Oui	Plutôt oui	Plutôt non	Non
Degré d'interaction entre enseignants et apprenants				
Le projet réduit l'enseignement frontal et les exposés des enseignants.				
Les enseignants interviennent essentiellement pour guider et orienter le travail en groupe.				
Les enseignants fournissent régulièrement du feed-back sur le travail et la progression de chacun.				
Les enseignants veillent à valoriser le travail et les productions des apprenants.				
Les enseignants stimulent et alimentent la motivation des apprenants.				
Moyenne des scores pour dimension 7				

	4	3	2	1
Dimension 8	Oui	Plutôt oui	Plutôt non	non
Degré d'aménagement du cadre pédagogique				
Le temps mis à disposition pour réaliser le projet est suffisant compte tenu de son ampleur.				
L'organisation du projet prévoit des plages pour organiser des rencontres entre enseignants.				
Les aménagements d'horaires nécessaires à la réalisation du projet sont possibles.				
Des locaux adaptés sont accessibles.				
La conduite du projet permet de repenser le regroupement des élèves.				
Le projet dispose de moyens financiers et en ressources humaines adéquats.				
Moyenne des scores pour dimension 8				

Score dimension ₁ =	Score pour le niveau de l'organisation des savoirs, principe d'intégration
Score dimension ₂ =	
Score dimension ₃ =	
Score dimension ₄ =	
Score dimension ₅ =	Score pour le niveau de l'organisation du travail, principe de collaboration
Score dimension ₆ =	
Score dimension ₇ =	
Score dimension ₈ =	
Ind _D = [score organisation des savoirs] --- [score organisation du travail]	

Echelle des relations Interdisciplinaires



Figure 51 : Questionnaire pour l'évaluation d'un projet interdisciplinaire (page 2)

Annexe 8 : Questionnaire d'évaluation du projet de robotique

	Evaluation			
				
Richesse du projet pour les élèves				
- A motivé les élèves				
- A facilité l'appropriation et la synthèse des connaissances				
- A induit l'autonomie des élèves				
- A induit des travaux créatifs				
- A induit des productions de qualité				
- A induit un travail d'équipe des élèves				
- A induit de la communication entre les élèves				
- A eu une incidence positive sur le fonctionnement de la classe				
- A eu une incidence positive sur la relation professeur élève				
Qualité de la concertation pour l'équipe				
- A permis l'échange				
- A soudé l'équipe				
- A dynamisé l'équipe				
- A favorisé la mise en œuvre d'une aide personnalisée				
- A permis de construire des critères communs de déroulement et de suivi du projet				
- A permis de construire des critères communs d'évaluation				

D'après un document de Marie-Noëlle Cormenier : <http://www.ac-creteil.fr/pointdoc/peda/rechdoc/idd.html>
 Document réalisé à partir de l'annexe 4 du BO n°25 du 29/06/2000 relatif au PPCP (projet pluridisciplinaire à caractère professionnel)

Figure 52 : Questionnaire d'évaluation du projet de robotique

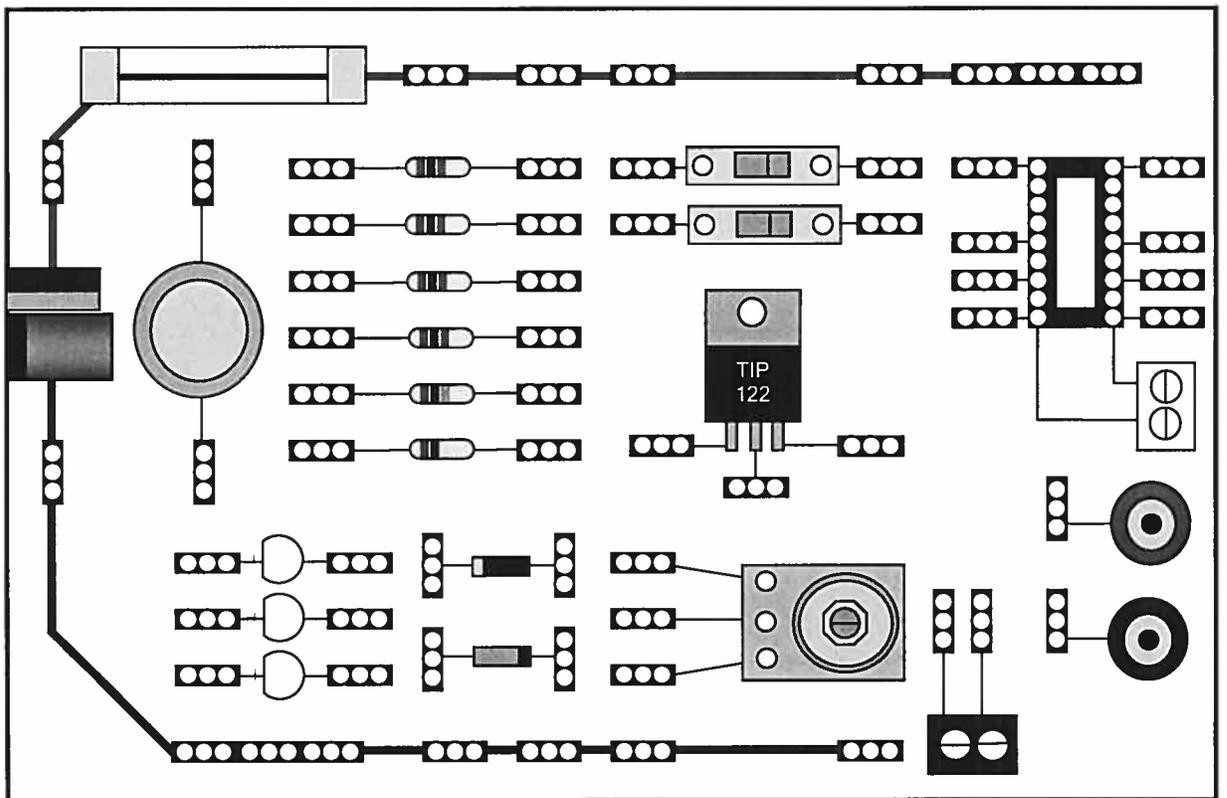
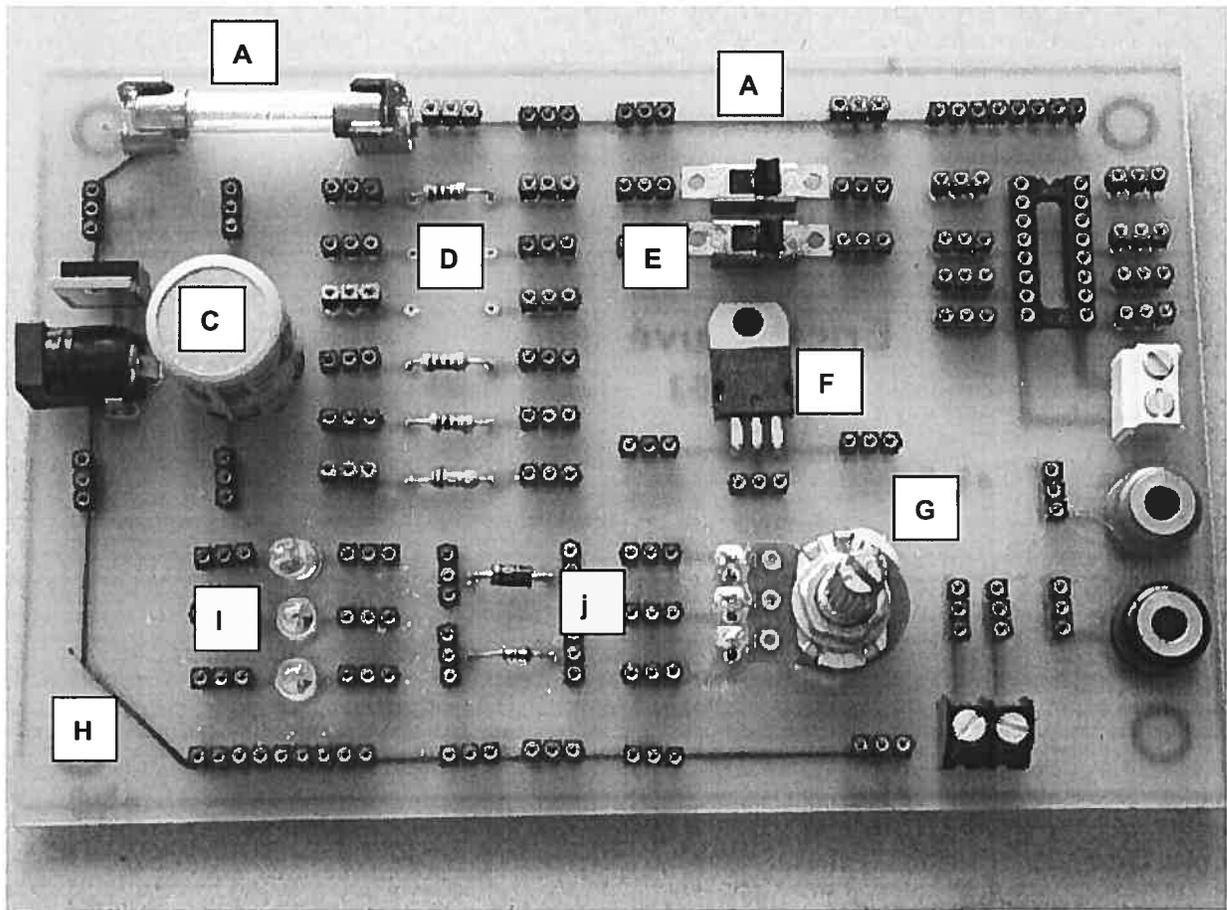
Annexe 9 : Exemples d'activités avec la plaquette d'expérimentations

Activité 1: Une DEL en boucle

Lorsqu'on allume un ordinateur, un baladeur ou un appareil stéréophonique, un petit voyant rouge s'allume. Ce petit voyant est sans doute une DEL. Il y en a partout dans le tableau de bord d'une auto, dans les postes de pilotage des avions, sur les robots et sur les jouets. On aperçoit également leur lumière rouge dans de nombreux autres endroits. Les DEL sont utiles parce qu'elles sont très résistantes, consomment peu d'électricité et durent très longtemps.

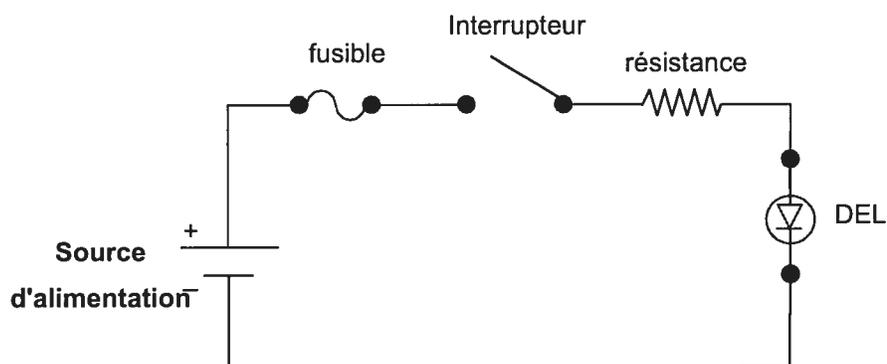
Avant toute chose, il serait bon de savoir comment utiliser la plaquette d'expérimentation. Les étapes qui suivent te permettront de réaliser, pas à pas, un circuit simple et de te familiariser avec l'utilisation de la plaque d'expérimentation ainsi qu'avec différents composants électroniques tels l'interrupteur, la diode électroluminescente et la résistance. En te référant à tes connaissances actuelles en électronique et en utilisant les pages suivantes de ton cahier, identifie les composants électroniques qui se retrouvent sur la plaquette d'expérimentation.

Lettre (voir page suivante)	Nom	Symbole	Fonction
	Fusible		
	Résistance		
	Diode Électroluminescente (DEL)		
	Interrupteur		
	Potentiomètre (résistance variable)		
	Source d'alimentation		
	La borne positive (+) de la source d'alimentation	(rouge)	
	La borne négative (-) de la source d'alimentation	(noir)	
	Condensateur		



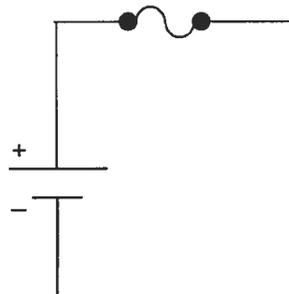
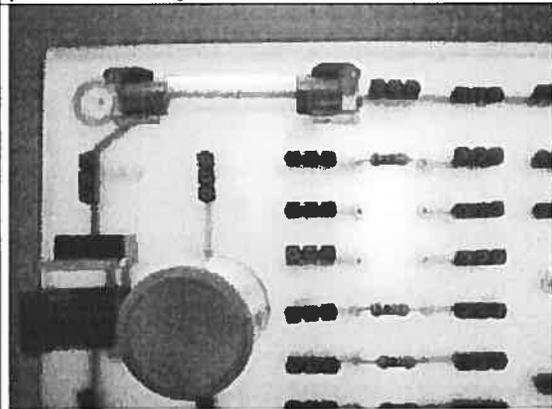
Réalisation du circuit

Lorsque tu réalises un circuit sur la plaquette d'essai tu dois te comporter comme un courant électrique, c'est-à-dire que tu dois commencer ton trajet à partir de la borne positive et parcourir le circuit jusqu'à la borne négative. Si ton circuit ne réalise pas une boucle, de la borne positive à la borne négative, il ne fonctionne pas.



Étape 1

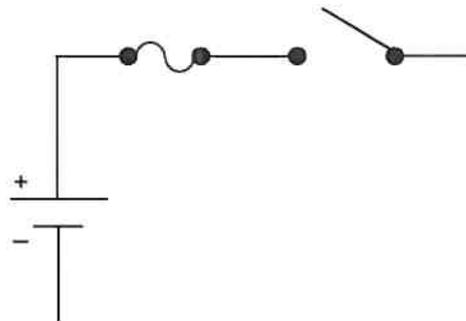
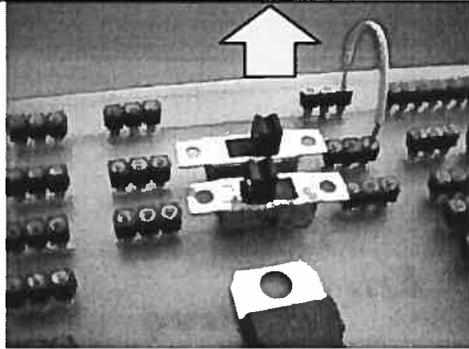
Pour réaliser ce circuit, tu dois premièrement relier la borne positive de l'alimentation au fusible. Tu remarqueras sur la plaquette que la borne d'alimentation positive est identifiée en rouge et que la borne négative est identifiée en noir. On identifie toujours les bornes d'une source d'alimentation de cette façon. Tu remarqueras également que la borne d'alimentation positive est déjà reliée au fusible. Tu n'as donc rien à faire pour l'instant.



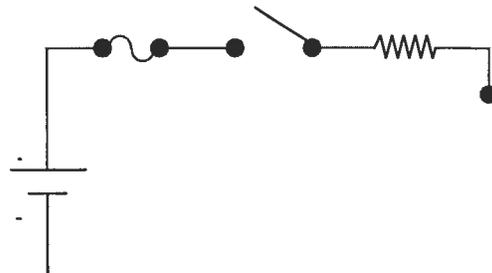
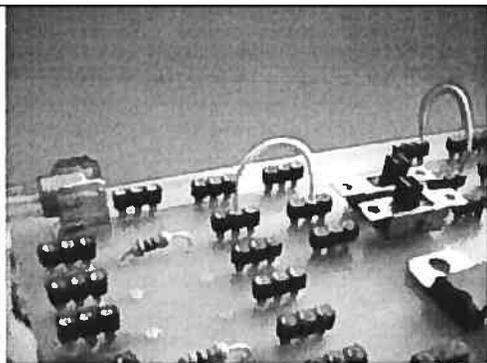
Sans rien faire, tu as donc complété la partie suivante du circuit

Étape 2

Tu dois relier le fusible à l'interrupteur.

**Étape 3**

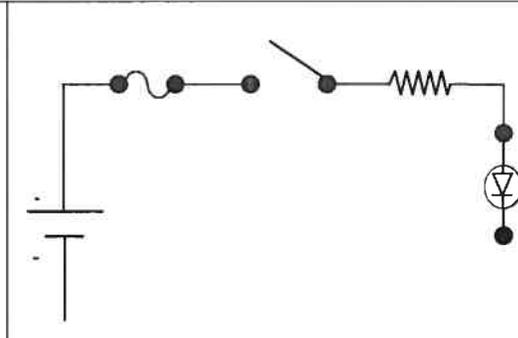
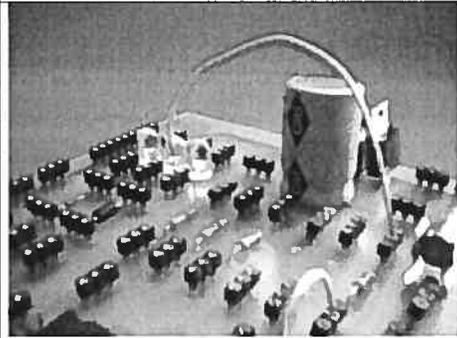
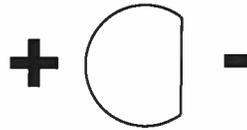
Tu dois relier l'interrupteur à la résistance de 100 Ω .



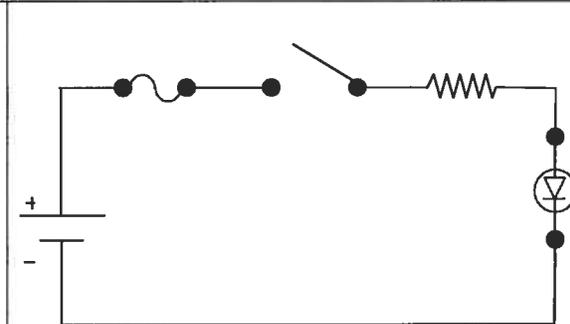
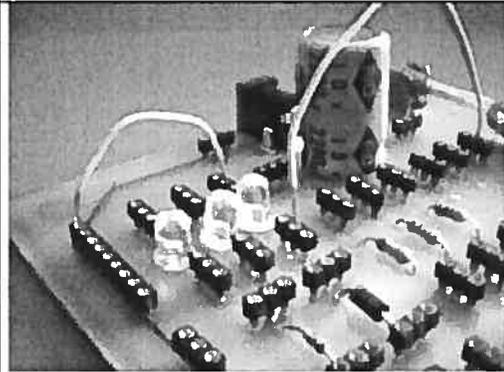
Étape 4

Maintenant, tu dois relier la résistance à la borne positive de la DEL.

Attention : La DEL est un élément polarisé. Les bornes + et - s'identifient comme suit :

**Étape 5**

Finalement, il ne te reste plus qu'à relier la DEL à la borne négative de la source d'alimentation pour fermer le circuit.



Maintenant, tu peux contrôler la DEL à l'aide de l'interrupteur.

Questions

1. Que s'est-il produit lorsque tu as fermé le circuit?

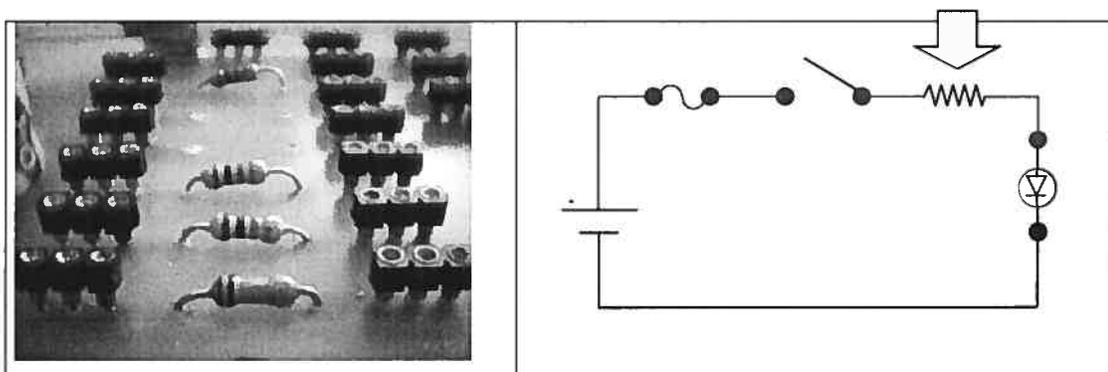
2. Si tu déconnectes l'un des fils du circuit, que se passe-t-il?

3. Pourquoi?

Activité 2 : La résistance

Maintenant, dans ton circuit simple, remplace la résistance de $100\ \Omega$ par une autre résistance de valeur plus élevée.

La valeur d'une résistance est « codée » par de petites bandes de couleur sur la résistance. Chacune de ces bandes correspond à un chiffre. Tu trouveras un peu plus loin des instructions sur la lecture de ce code de couleurs.



Note tes observations dans le tableau suivant :

Résistance utilisée	Observations
$100\ \Omega$ (BNB)	
$1\ 000\ \Omega$ ou $1\ k\Omega$ (BNR)	
$10\ 000\ \Omega$ ou $10\ k\Omega$ (BNO)	
$100\ 000\ \Omega$ ou $100\ k\Omega$ (BN)	

1. Selon toi à quoi sert la résistance?

--

2. Existe-t-il une relation entre l'intensité de la lumière et la valeur de la résistance?

--

3. Sachant que l'intensité de la lumière est proportionnelle à l'intensité du courant électrique circulant dans le circuit, énonce une relation entre la valeur de la résistance et la valeur du courant électrique.

--

4. La valeur d'une résistance se mesure en ohms. L'expression «ohm» provient du nom de George Ohm, un scientifique allemand qui a réalisé des expériences sur la résistance des matériaux il y a plus de 150 ans. Il a donné son nom à l'unité de mesure de la résistance, qui est l'ohm.

Dans le tableau d'observation, il est noté 1 000 Ω ou 1 k Ω pourquoi? Que veut dire le k?

--

La résistance

Symboles :

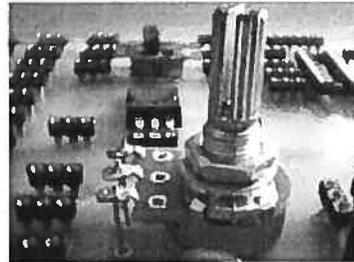
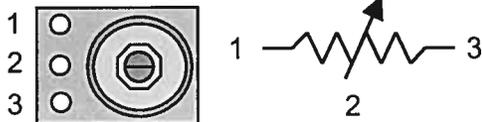


Unités : Ohms (Ω)

Lorsque cette activité est terminée, demande à ton enseignant d'apposer ses initiales ici	
---	--

Activité 3 : Le potentiomètre

Maintenant, dans ton circuit, remplace la résistance par le potentiomètre. Pour ce faire, utilise les broches 1 et 2 du potentiomètre tel qu'illustré :



1. Que se passe-t-il lorsque tu tournes l'axe du potentiomètre?

2. Selon toi à quoi sert le potentiomètre?

3. Où est-il fréquent de retrouver un potentiomètre dans la vie de tous les jours?

Le potentiomètre

Symbole :



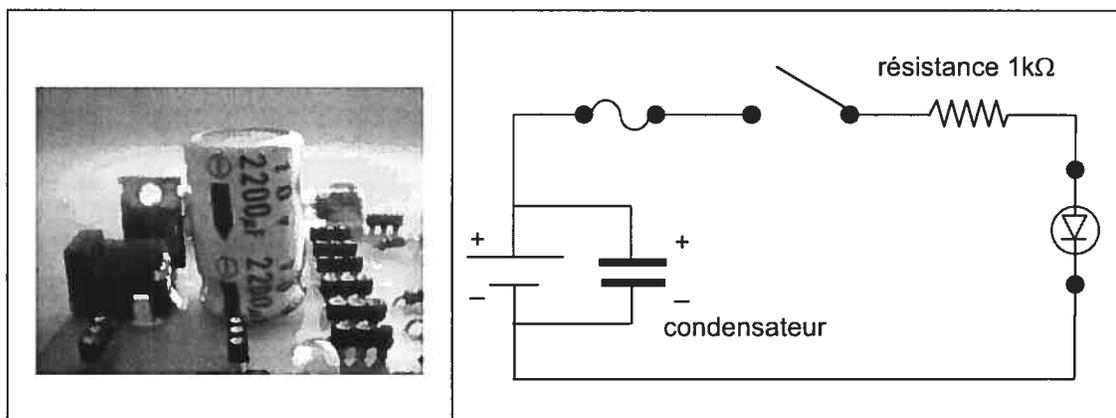
Unité : Ohm

Lorsque cette activité est terminée, demande à ton enseignant d'apposer ses initiales ici

Activité 4 : Le condensateur

Maintenant, refais un circuit simple à l'aide de la résistance de $1\text{k}\Omega$.

Ensuite branche le condensateur en parallèle avec la source d'alimentation.



ATTENTION : Le condensateur est un élément polarisé : Il faut connecter la borne négative du condensateur avec la borne négative de la source d'alimentation. Normalement, la borne négative du condensateur est clairement indiquée sur le composant à l'aide de flèches.

1. Lorsque ton condensateur est branché, attends environ 5 secondes et débranche la source d'alimentation. Que se passe-t-il?

2. Selon toi, à quoi sert le condensateur?

3. Maintenant, refais cette expérimentation à l'aide d'une résistance de $10\text{k}\Omega$ et $100\text{k}\Omega$. Qu'observes-tu?

4. Quelle est la valeur du condensateur que tu as utilisé?

Le condensateur

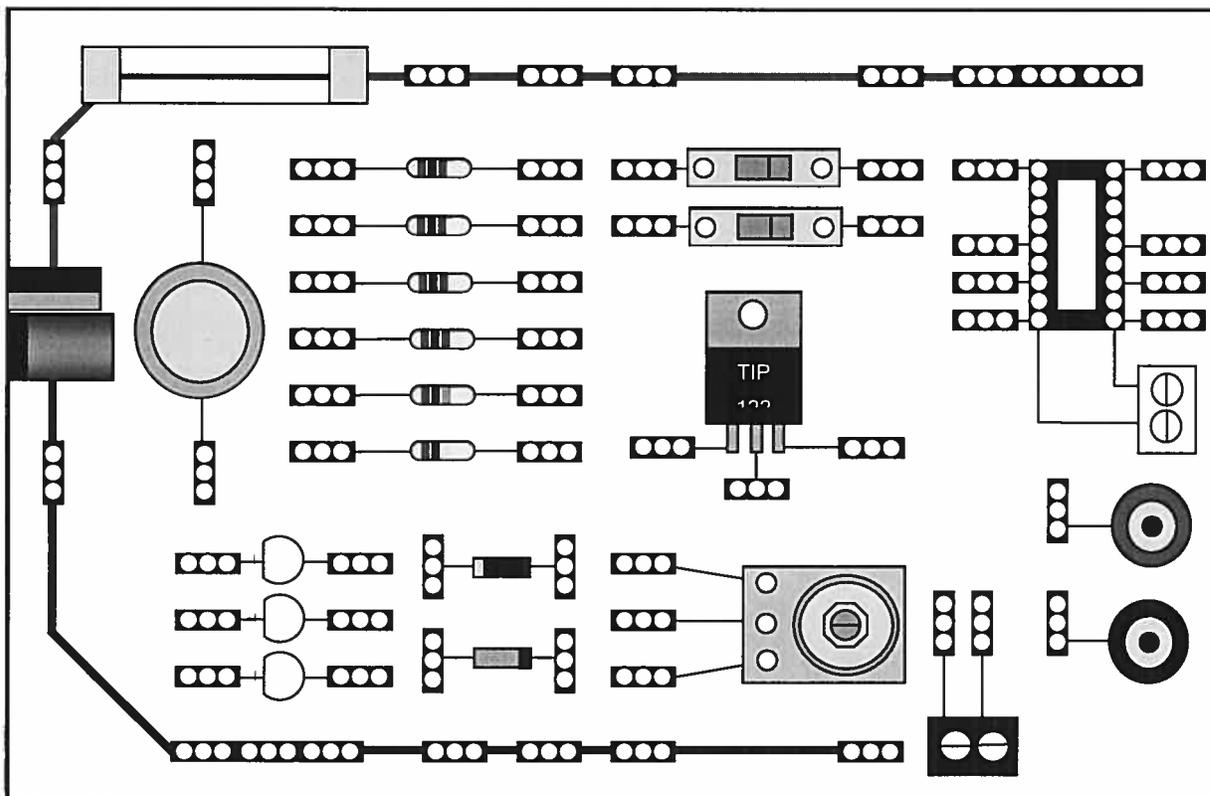
Symbole : 

Unité : Farad

Lorsque cette activité est terminée, demande à ton enseignant d'apposer ses initiales ici	
---	--

Activité 5: Les circuits série et parallèle

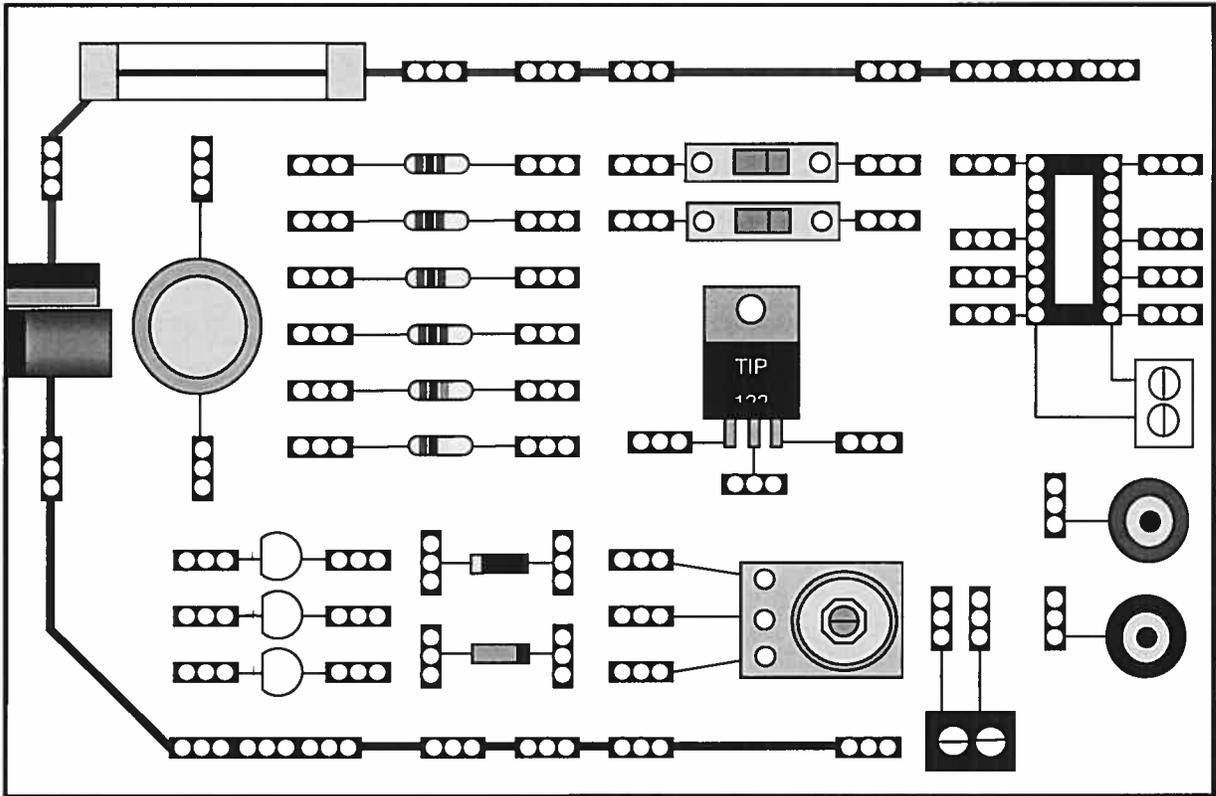
1. Sur le dessin de ta plaque d'expérimentation, dessine un circuit en **série** utilisant 3 DEL.



2. Réalise sur ta plaque d'expérimentation ton circuit série.
3. Que se passe t-il si tu débranches l'une des DEL?

4. Maintenant, réalise un circuit série avec deux DEL. Qu'observes-tu?

Sur le dessin de ta plaque d'expérimentation, dessine un circuit en **parallèle** utilisant 3 DEL.



5. Réalise sur ta plaque d'expérimentation ton circuit parallèle.

6. Que se passe-t-il si tu débranches l'une des DEL?

--

7. Maintenant, réalise un circuit série avec deux DEL. Qu'observes-tu?

--

Lorsque cette activité est terminée, demande à ton enseignant d'apposer ses initiales ici	
---	--

