

Université de Montréal

L'instrumentation virtuelle : un environnement
d'apprentissage en génie électrique

par
Isidore Lauzier

Département de didactique
Faculté des sciences de l'éducation

Thèse présentée à la faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de *Philosophiae Doctor* (Ph. D.)
en didactique

Mars 2006

© Isidore Lauzier, 2005

Cette thèse présentée par Isidore Lauzier intitulée

L'instrumentation virtuelle : un environnement d'apprentissage en génie électrique

a été évaluée par les personnes suivantes :

Président-rapporteur

France Caron

Membres du jury

Pierre Nonnon

Louise Poirier

Examineur externe

Pascal Leroux

Représentant du doyen de la FES

REMERCIEMENTS

Je tiens particulièrement à remercier Monsieur Pierre Nonnon, directeur de la présente recherche. Monsieur Nonnon m'a agréablement soutenu par ses idées créatives, sa ténacité et ses encouragements.

Je dois aussi beaucoup à un de mes anciens étudiants, Tennessee Carmel-Veilleux, maintenant en génie électrique à l'École de technologie supérieure. Ses compétences m'ont grandement aidé dans la fabrication de l'environnement de travail proposé.

La collaboration de Marius Caron, professeur au département des technologies du génie électrique du Collège de Maisonneuve, m'a été très précieuse pour la réalisation de l'expérimentation d'approche par projets décrite à l'annexe 3.

Au collège de Maisonneuve, plusieurs personnes m'ont appuyé, dont les responsables des services pédagogiques, à qui j'adresse mes remerciements.

Finalement, je veux témoigner toute ma reconnaissance à ma compagne, Marcelle Beaulieu, pour la révision de ce document et pour son soutien indéfectible durant toutes ces années de recherche.

RÉSUMÉ

Les résultats de cette recherche de développement s'adressent à des étudiants du secteur professionnel de l'ordre collégial en technologies du génie électrique.

Actuellement, l'installation et le montage d'une expérience de laboratoire occupent souvent la majeure partie du temps alloué aux étudiants et il est alors difficile de travailler efficacement sur l'analyse des résultats et de modifier certains paramètres pour valider une nouvelle hypothèse. L'enseignement se fait à un rythme fixe pour tous, sans égard aux intérêts, capacités et styles d'apprentissage de chacun et on constate un faible transfert des connaissances. Cet état de fait limite, selon nous, la motivation pour les études et diminue les facteurs de réussite.

Face à cette situation, nous avons conçu un environnement d'expérimentation ouvert, qui se présente comme un outil technologique et didactique, appartenant aux étudiants, et permettant le travail en dehors des laboratoires et des salles de classes. Il s'agit d'un équipement portable et peu coûteux, relié à un ordinateur personnel, qui permet de construire, d'expérimenter et de visualiser des phénomènes physiques de systèmes électroniques. Il utilise de façon intensive la représentation graphique et l'instrumentation virtuelle et il s'adapte bien à une pédagogie de projets.

Au lieu de recourir à l'ordinateur comme exerciceur ou pour effectuer des calculs, on s'en sert ici pour représenter et contrôler des phénomènes physiques. Cette approche, fondée spécialement sur la rapidité du passage à l'action, change le paradigme d'apprentissage : il rend les étudiants plus actifs en leur permettant d'appliquer sans délai ce qu'on leur enseigne. Ainsi, nous avons pu vérifier que la synthèse et l'analyse se combinent, car un étudiant peut modifier rapidement les paramètres d'une expérience, la refaire et comparer les résultats obtenus. En favorisant la formulation d'hypothèses par leur vérification immédiate, on permet aux étudiants de développer une démarche heuristique. Ils peuvent travailler à leur rythme et on brise ainsi la démarche traditionnelle où tous doivent apprendre en synchronie.

MOTS CLÉS

Instrumentation virtuelle, représentation graphique, comportement d'expert, fonction de transfert, cognitivisme, constructivisme, transfert des connaissances, pédagogie de projets.

SUMMARY

The results of this research/ development are directed toward professional-sector post-secondary students in electrical engineering technologies.

Currently, installation and preparation of a laboratory experiment take up the majority of the time allotted to students, and it is then difficult to work effectively on the analysis of results and modify parameters to test a new hypothesis. Instruction proceeds at a fixed rhythm for everyone, without regard for individual interests, abilities and learning styles, and we notice poor knowledge acquisition. This de facto situation limits, in our opinion, student motivation and diminishes the factors leading to success.

Given this situation, we have designed an experimental environment, a technological and instructional tool, belonging to the students and permitting work outside of laboratories and classrooms. It consists of a portable and inexpensive piece of equipment, linked to a personal computer, that permits building, testing and visualizing physical phenomena of electronic systems. It makes intensive use of graphic representation and virtual instrumentation and adapts well to a project-based pedagogical approach.

Instead of having recourse to the computer as a drillmaster or for doing calculations, we use this equipment to represent and control physical phenomena. This approach, based especially on a rapid move to practice, changes the learning paradigm: it makes the students more active by permitting them to apply without delay that which they've been taught. Thus we have seen that synthesis and analysis are combined, since the student can rapidly modify the parameters of an experiment, run it again, and compare the results obtained. By favoring the formulation of hypotheses through their immediate verification, we permit students to develop a heuristic methodology. They are able to work at their own rhythm and we thus break the traditional procedure that forces all students to learn in a synchronous manner.

KEY WORDS

Key words : virtual instrumentation, graphic representation, expert behaviour, transfer curve, cognitivism, constructivism, transfer of learning, project-based pedagogical approach.

RESUMEN

Los resultados de esta investigación-desarrollo atañen a estudiantes de la enseñanza profesional post-secundaria especializados en técnicas de genio eléctrico.

Actualmente, la instalación y el montaje de una experiencia de laboratorio toman la mayor parte del tiempo que se les imparte a los estudiantes para sus tareas, dejándoles poco tiempo para analizar los resultados y modificar algún que otro parámetro que les permitiera convalidar una nueva hipótesis. La enseñanza se hace al mismo ritmo para todos, cuales sean los intereses, las capacidades y el estilo de aprendizaje de cada uno. De hecho, esto limita la motivación hacia los estudios y reduce los factores de éxito.

Para contraer esta situación, hemos desarrollado un equipo de experimentación abierto, que se presenta como una herramienta tecnológica y didáctica, que les permite a los estudiantes de aprender y que les proporciona también una forma de trabajar fuera del aula de clase y del laboratorio. Consta de un equipo portátil, barato, vinculado a un ordenador personal que les deja elaborar, experimentar y observar fenómenos físicos. Este equipo recurre intensivamente a la representación gráfica y a la instrumentación virtual. Además se presta muy bien al enfoque por tareas.

El ordenador se vuelve así instrumento de representación y de control de fenómenos físicos en vez de simplemente generar ejercicios o efectuar cálculos. Este enfoque, fundado particularmente en la rapidez del paso a la acción, cambia el paradigma del aprendizaje: los estudiantes se hacen más activos ya que pueden aplicar inmediatamente lo que se les acaba de enseñar. También hemos podido comprobar la combinación del análisis con la síntesis, puesto que el estudiante puede cambiar al instante los parámetros de una experiencia, hacerla de nuevo y comparar los resultados. Este proceso de formulación de hipótesis, gracias a la posibilidad de verificarlas en el acto, lleva a los estudiantes en un acercamiento heurístico. Pueden trabajar a su ritmo y de este modo se acaba el enfoque tradicional con su necesaria sincronía del aprendizaje.

PALABRAS CLAVES

Instrumentación virtual, representación gráfica, comportamiento de experto, función de transferencia, cognoscitivismo, constructivismo, transferencia de conocimientos, enfoque por tareas.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	3
RÉSUMÉ.....	4
SUMMARY	6
RESUMEN	8
TABLE DES MATIÈRES.....	10
LISTE DES ILLUSTRATIONS	14
LISTE DES TABLEAUX.....	16
INTRODUCTION.....	17
INTRODUCTION.....	17
CHAPITRE I - LA PROBLÉMATIQUE	19
Persistance et réussite	20
Motivation et méthode de travail	20
Intégration des connaissances.....	21
Conclusion.....	24
CHAPITRE 2 - IDÉE DE RECHERCHE.....	25
Création d'un environnement d'expérimentation	26
Caractéristiques didactiques de l'environnement d'expérimentation	27
La représentation graphique	28
Conclusion.....	29
CHAPITRE 3 - MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE	30
Méthodologie de recherche.....	31
La recherche de développement	31
Choix du modèle de recherche-développement technologique de Nonnon.....	31
Mise en oeuvre.....	32
CHAPITRE 4 - CONSIDÉRATIONS PRATIQUES ET THÉORIQUES	35
Ordre et cours visés	36
Le contexte d'études	36
▪ Un contexte d'approche par compétences	37
▪ Quelques définitions de l'approche par compétences.....	37
▪ L'approche par compétences et le transfert des connaissances	38
Modèle d'action en réponse à la problématique	39
Différence entre un système réel et la simulation.....	42
La représentation graphique : un support à la compréhension	42

Démarche expérimentale	43
Conflit cognitif.....	44
La représentation multiple pour favoriser l'intégration des connaissances	47
Le cognitivisme et le transfert des connaissances.....	50
▪ Le cognitivisme et les nouvelles technologies.....	51
▪ Le constructivisme.....	51
L'approche par devis et tâches pour l'intégration des connaissances.....	52
▪ L'approche systémique	54
Conclusion	55
 CHAPITRE 5 - LE MODÈLE D'ACTION	 57
Environnement projeté.....	58
Fonctions de notre environnement.....	59
L'instrumentation virtuelle	60
Avantages par rapport à un système conventionnel.....	61
Différence avec l'EXAO	62
Mise en situation.....	63
Les phénomènes et les concepts à étudier	63
▪ Circuit additionneur.....	64
▪ Les fonctions de transfert.....	65
▪ Les fonctions de transfert et les liens mathématiques.....	68
▪ Le traitement de signal et les amplificateurs opérationnels	68
▪ Le théorème de superposition	70
▪ Le théorème de Thévenin	75
▪ Utilisation de l'amplificateur à décalage programmable	76
▪ Étude d'un signal de faible amplitude	76
▪ La modélisation physique d'un circuit.....	78
Conclusion	79
 CHAPITRE 6 - OPÉRATIONNALISATION DU MODÈLE D'ACTION ET MISE À L'ESSAI	 81
Démarche d'élaboration.....	82
Création d'un premier prototype.....	82
▪ Mise à l'essai du premier prototype.....	84
Création d'un deuxième prototype	84
▪ Mise à l'essai du deuxième prototype.....	87
▪ Conclusion de la mise à l'essai du deuxième prototype	91
Environnement complet d'expérimentation : produit final.....	93
▪ Caractéristiques principales	93
▪ Interface graphique	94
Applications pédagogiques.....	95
▪ Les fonctions de transfert.....	95
▪ Le théorème de superposition	96
▪ Le théorème de Thévenin	101
▪ La rectification avec des diodes.....	102
Conclusion	105

CHAPITRE 7 - DESCRIPTION TECHNIQUE DU PROTOTYPE DÉFINITIF	106
Description technique du prototype définitif	107
▪ Caractéristiques principales	107
▪ Description de l'interface graphique.....	107
▪ Fonctionnement de l'interface graphique	111
▪ Description et fonctionnement du circuit d'expérimentation	112
▪ L'acquisition de données et le traitement de signal	113
▪ Le générateur de fonctions unipolaires	115
▪ Le générateur de fonctions bipolaires.....	115
▪ Le générateur de fonctions bipolaires avec décalage.....	116
▪ L'amplificateur programmable	117
▪ Le port SPI et les signaux de sorties supplémentaires	120
▪ L'alimentation	121
▪ L'enregistrement sur disque	122
CHAPITRE 8 - SCÉNARIO D'INTÉGRATION PÉDAGOGIQUE	123
Élaboration d'une démarche pédagogique de type heuristique	124
▪ La compétence visée.....	124
▪ Tâche : Réaliser un système d'acquisition de température.....	125
Rappels théoriques.....	126
▪ Résolution d'un convertisseur	126
▪ Description du capteur de température	126
▪ Les amplificateurs opérationnels à alimentation unipolaire	127
▪ Les configurations possibles de circuits	127
Travail de l'étudiant.....	127
▪ Choix de la configuration du circuit	132
Calculs et mise en oeuvre	132
▪ Méthode classique de calcul	133
▪ Utilisation d'une démarche heuristique	133
Calcul du gain.....	135
Calcul du signal de décalage	135
Calcul de R_f et de R_g	135
Calcul de la tension de décalage.....	136
▪ Résultat pratique	138
▪ La recontextualisation.....	139
CONCLUSION	140
Qualités pédagogiques pour les étudiants	141
Qualités pédagogiques pour les professeurs	142
Avantages matériels.....	142
Améliorations possibles.....	142
▪ Rédaction de guides.....	142
▪ Amélioration des logiciels	143
▪ Amélioration du matériel.....	143
En résumé	145

BIBLIOGRAPHIE	146
ANNEXE 1	149
LE PROGRAMME DE L'INTERFACE GRAPHIQUE.....	149
Description du programme de l'interface graphique	150
▪ Initialisation du port de communication série.....	152
▪ Remise à zéro du port de communication série	152
▪ Transmission des commandes	153
▪ Réception des données du port série.....	158
▪ Traitement et affichage des données.....	161
ANNEXE 2.....	162
LE PROGRAMME DU SYSTÈME D'EXPÉRIMENTATION.....	162
ANNEXE 3.....	181
UNE EXPÉRIENCE D'APPROCHE PAR PROJETS POUR FAVORISER L'INTÉGRATION DES APPRENTISSAGES	181
Introduction.....	182
Pourquoi une pédagogie de projets.....	182
Les principes pédagogiques sur lesquels se fonde l'expérimentation.....	183
▪ L'approche par compétences et le transfert des connaissances	183
▪ Le cognitivisme et le comportement d'expert	183
▪ Le constructivisme.....	184
La mise en application d'une pédagogie de projets	185
▪ L'enseignement par projets.....	185
▪ L'enseignement par devis et tâches	185
Caractéristiques de la démarche	188
Avantages pour les étudiants	188
Avantages pour le professeur.....	189
Conclusion	190

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1.1 – Diviseur de tension et amplificateur inverseur à gain unitaire.	22
Figure 1.2 – Le gain de l’amplificateur inverseur n’est plus unitaire.	22
Figure 1.3 – Circuit équivalent de la figure 1.2.	23
Figure 1.4 – Deux représentations de la résistance de source.	23
Figure 2.1 – Schéma de fonctionnement de l’environnement projeté.....	27
Figure 3.1 - Modèle de recherche-développement inspiré de celui de Nonnon.....	34
Figure 4.1 – Premier exemple de situation conflictuelle.....	44
Figure 4.2 – Solution du premier exemple.....	45
Figure 4.3 – Second exemple de situation conflictuelle.....	45
Figure 4.4 – Solution du second exemple.....	46
Figure 4.5 – Circuit équivalent du second exemple lorsqu’on relie a à b.....	46
Figure 4.6 – Schéma de fonctionnement.....	47
Figure 4.7 – Courbes de la forme $y = mx + b$ avec $m = 1$ et $b = 0, 2,5$ et 5 volts.....	48
Figure 4.8 – Résultats du circuit précédent dans une application.....	48
Figure 4.9 – Courbes de la forme $y = - mx + b$ avec $m = 1$ et $b = 0, 2,5$ et 5 volts.....	49
Figure 4.10 – Résultats du circuit précédent dans une application.....	49
Figure 4.11 – Exemple de processus à analyser.....	55
Figure 5.1 – Schéma de fonctionnement du système projeté.....	58
Figure 5.3 – Diagramme de fonctionnement général d’un instrument virtuel.....	61
Figure 5.4 – Mise en situation.....	63
Figure 5.5 – Application avec un circuit additionneur.....	64
Figure 5.6 – Schéma électrique du circuit additionneur.....	65
Figure 5.7 – La courbe en noir représente la somme des deux autres.....	65
Figure 5.8 – Amplificateur à gain unitaire avec une rampe à l’entrée.....	66
Figure 5.9 – Fonction de transfert du circuit de la figure 5.7.....	66
Figure 5.10 – Amplificateur inverseur avec une rampe à l’entrée.....	67
Figure 5.11 – Fonction de transfert du circuit de la figure 5.10.....	67
Figure 5.12 – Amplificateur en mode inverseur avec un gain de deux.....	69
Figure 5.13 – Affichage prévu des signaux d’entrée et de sortie.....	69
Figure 5.14 – Amplificateur à alimentation unipolaire en mode inverseur.....	71
Figure 5.15 – Représentation avec l’interface graphique du prototype.....	71
Figure 5.16 – Fonction de transfert du circuit précédent.....	71
Figure 5.17 – Amplificateur rail à rail de gain -1 avec un signal de décalage.....	72
Figure 5.18 – Le signal de décalage est de 0,5 volt.....	73
Figure 5.19 – Fonction de transfert avec un décalage de un volt à la sortie.....	73
Figure 5.20 – Reproduction fidèle du signal d’entrée avec un signal de décalage de 1,25 volt.....	74
Figure 5.21 – Fonction de transfert avec un décalage de 2,5 volts à la sortie.....	74
Figure 5.22 – Le circuit 2 est indépendant de la source.....	75
Figure 5.23 – La courbe en rouge illustre le résultat d’un bon couplage.....	76
Figure 5.24 – Signal original.....	77
Figure 5.25 – Zoom informatique du signal de la figure précédente.....	77
Figure 5.26 – Schéma de principe de l’amplificateur programmable.....	78

Figure 5.27 – Zoom électronique du signal précédent avec un gain de dix	78
Figure 5.28 – Schéma simplifié d'un circuit d'acquisition	79
Figure 5.29 – Fonction de transfert du système d'acquisition projeté	79
Figure 6.1 – Premier prototype	83
Figure 6.2 – Affichage en temps réel de la charge d'un condensateur à travers une résistance	84
Figure 6.3 – Vue de dessus du prototype 2	86
Figure 6.4 – Vue de dessous du prototype 2	86
Figure 6.5 – Utilisation du prototype 2 avec des circuits externes.....	87
Figure 6.6 – Station météo télécommandée utilisant deux exemplaires du deuxième prototype.....	89
Figure 6.7 – Robot détecteur d'obstacles commandé par le deuxième prototype.....	89
Figure 6.8 – Robot de compétition utilisant deux prototypes	90
Figure 6.9 – Bloc d'alimentation développé au moyen du deuxième prototype.....	91
Figure 6.10 – Le système proposé avec un montage.....	93
Figure 6.11 – L'interface graphique du système.....	94
Figure 6.12 – Circuit d'amplification non inverseur à gain unitaire	95
Figure 6.13 – Les signaux d'entrée et de sortie se superposent	96
Figure 6.14 – Fonction de transfert d'un circuit d'amplification non inverseur à gain unitaire	96
Figure 6.15 – Amplificateur à alimentation unipolaire de gain -1 sans signal de décalage	97
Figure 6.16 – Représentation avec l'interface graphique du prototype	98
Figure 6.17 – Amplificateur à alimentation unipolaire de gain -1 avec un signal de décalage.....	99
Figure 6.18 – Le signal de décalage à la sortie est inférieur 2,5 volts	99
Figure 6.19 – Avec un décalage de 1,25 volt à l'entrée, le signal est reproduit complètement	100
Figure 6.20 – Fonction de transfert du circuit précédent	100
Figure 6.21 – Le circuit 2 est indépendant de la source.....	101
Figure 6.22 – La courbe en jaune montre le résultat d'un bon couplage	102
Figure 6.23 – Rectification à simple alternance avec une diode au silicium	102
Figure 6.24 – Résultat pratique du circuit de rectification à simple alternance	103
Figure 6.25 – Fonction de transfert du circuit de rectification à simple alternance	103
Figure 6.26 – Rectification d'un signal très faible	104
Figure 6.27 – Zoom avec l'amplificateur à décalage programmable.....	104
Figure 7.1 – Schéma de fonctionnement.....	107
Figure 7.2 – Interface graphique	108
Figure 7.3 – Sélection d'une section de l'écran avec deux potentiomètres virtuels.....	108
Figure 7.4 – Panneau de sélection des fonctions, des canaux et du port de communication	109
Figure 7.5 – Les commandes à partir du classeur	110
Figure 7.6 – Zoom informatique et menu d'aide	111
Figure 7.7 – Algorithme de l'interface de l'ordinateur	112
Figure 7.8 – Algorithme du programme du circuit d'expérimentation	113
Figure 7.9 – Schéma de fonctionnement du circuit d'acquisition de données	114
Figure 7.10 – Conversion d'un signal bipolaire en signal unipolaire	114
Figure 7.11 – Générateur de fonctions unipolaires	115
Figure 7.12 – Générateur de fonctions bipolaires	116
Figure 7.13 – Circuit de décalage du générateur de fonctions bipolaires	116
Figure 7.14 – Le graphique en jaune représente le signal décalé.....	117
Figure 7.15 – Schéma de fonctionnement de l'amplificateur programmable	118
Figure 7.16 – Zoom informatique sur un signal de faible intensité	118

Figure 7.17 – Utilisation de l’amplificateur à gain programmable	119
Figure 7.18 – Utilisation de l’amplificateur à gain programmable avec un zoom informatique	120
Figure 7.19 – Boutons de contrôle des sorties TTL	121
Figure 7.20 – Circuit d’alimentation de 5 et de 9 volts.....	121
Figure 7.21 – Conversion d’une tension de +9 volts en une tension de -9 volts.....	122
Figure 8.1 – Résultat recherché correspondant à la consigne	125
Figure 8.2 – Fonction de transfert du produit final	125
Figure 8.3 – Schéma de fonctionnement du circuit demandé	126
Figure 8.4 – La partie en gris représente la section à traiter	126
Figure 8.5 – Schéma de fonctionnement pour l’analyse des fonctions de transfert	127
Figure 8.6 – Configurations pour les quatre types de fonctions de transfert.....	128
Figure 8.7 – Résultats obtenus avec le système d’expérimentation	130
Figure 8.8 – Simulation avec un tableur	131
Figure 8.9 – Schéma du circuit de traitement du signal du LM35	132
Figure 8.10 – Processus itératif de recherche de la solution	134
Figure 8.11 – Circuit amplificateur sans le décalage	136
Figure 8.12 – La tension de décalage est de 0,204 volt	136
Figure 8.13 – Calcul de la tension de décalage.....	137
Figure 8.14 – Montage avec les valeurs normalisées.....	138
Figure 8.15 – Fonction de transfert obtenue	138
Figure 9.1 – Modifications matérielles futures	143
Figure 9.2 – Soustraction de deux signaux déphasés de 30 degrés.....	144
Figure a.1 – Face avant et face arrière du programme principal.....	150
Figure a.2 – Algorithme du programme de l’interface.....	150
Figure a.3 – Vue agrandie de la face arrière montrant la programmation.....	151
Figure a.4 – Initialisation du port série	152
Figure a.5 – Sous-vi de remise à zéro du tampon du port de communication	153
Figure a.6 - Transmission d’une donnée au port série codée en volts.....	154
Figure a.7 - Transmission d’une donnée au port série codée en entier	155
Figure a.8 – Contrôle des sorties TTL RC0, RC1 et RC2.....	156
Figure a.9 - Interprétation du choix des fonctions	158
Figure a.10 - Réception des données.....	159
Figure a.11 – Sous-vi de réception d’une donnée avec délai d’expiration.....	160
Figure a.12 – Traitement et affichage des données.....	161

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Étapes de réalisation du projet	186
Tableau 2 - Ensemble des tâches du projet et échéancier	187

INTRODUCTION

Les connaissances dans le domaine des nouvelles technologies exigent une adaptation perpétuelle. Les étudiants sont peu armés pour faire face à cette situation, ils ont de la difficulté à se concentrer, à transférer leurs connaissances et ils sont parfois peu motivés pour l'étude. Ainsi, il est impératif de proposer de nouvelles solutions pédagogiques pour augmenter l'intérêt pour les études et la réussite dans ce secteur. Heureusement, le développement des technologies reliées à l'information, leur universalité et la réduction de leurs coûts permettent de créer de nouveaux moyens efficaces d'aide à l'apprentissage.

La présente recherche tentera d'apporter une solution à ces problèmes en utilisant les nouvelles technologies de l'information tout en tenant compte des derniers développements du domaine des sciences cognitives. Dans cette recherche de développement, nous avons conçu un environnement stimulant pour la création et la vérification d'hypothèses. Cet environnement, qui se présente comme un outil technologique et didactique, que posséderont les étudiants, permettra de refaire rapidement une expérimentation avec de nouveaux paramètres et d'utiliser une démarche heuristique pour la création de modèles et la formulation d'hypothèses. Au lieu de recourir à l'ordinateur comme exercice ou pour effectuer des calculs, on s'en servira ici pour représenter et contrôler des phénomènes physiques.

En procurant aux étudiants un matériel portable, nous espérons rendre les études dans le domaine des technologies du génie électrique plus attrayantes, augmenter le transfert des connaissances, encourager le travail personnel et, par le fait même, améliorer le taux de réussite.

Nous verrons l'état de la situation et nous établirons notre hypothèse de recherche, soit la conception d'un environnement d'expérimentation ouvert contrôlé et assisté par ordinateur. Puisqu'il s'agit d'une recherche de développement, nous en analyserons les justifications en considérant les paradigmes et les modèles didactiques en lien avec notre idée de recherche. Nous définirons le modèle d'action en anticipant les caractéristiques de l'environnement projeté et son fonctionnement en milieu d'apprentissage réel. Nous décrirons ensuite

l'opérationnalisation de l'idée pour l'obtention d'un produit final. Enfin nous donnerons les spécifications techniques du produit définitif, c'est-à-dire ses caractéristiques et ses fonctions, et nous montrerons la conformité du système avec l'idée de départ à travers une démarche pédagogique heuristique.

CHAPITRE I - LA PROBLÉMATIQUE

PERSISTANCE ET RÉUSSITE

Il existe un problème important de persistance et un faible taux de réussite chez les étudiants en technologie du génie électrique au collégial. À titre d'exemple, les statistiques fournies par le secrétariat du collège de Maisonneuve sur les cohortes inscrites au département des technologies du génie électrique depuis 1995 montrent qu'il y a une moyenne de diplômés d'environ 30 % et que le plus grand nombre d'abandons et d'échecs se situe dans la première année. Les professeurs constatent que les étudiants font difficilement l'intégration et le transfert des connaissances acquises et qu'ils manquent de motivation pour l'étude en dehors des cours.

Les groupes d'étudiants sont de plus en plus hétérogènes. Une forte proportion d'entre eux n'a pas le français comme langue maternelle et on a aussi modifié le profil d'accueil en réduisant les exigences en mathématiques. À cela s'ajoute le fait que les étudiants sont de plus en plus sollicités, en dehors des cours, par des activités autres que celles concernant leurs études. Cette situation augmente sensiblement la complexité du travail pédagogique. Les professeurs ne peuvent plus consacrer un temps égal à chaque étudiant, ils doivent répartir leurs efforts différemment en fonction des préalables et des capacités de chacun. Cette nouvelle réalité demande l'utilisation de nouvelles stratégies. On doit mettre en œuvre une pédagogie incitant les étudiants à travailler de plus en plus par eux-mêmes et nous croyons qu'il est possible d'y arriver en utilisant efficacement les nouvelles technologies.

MOTIVATION ET MÉTHODE DE TRAVAIL

Nous avons remarqué que les étudiants prennent peu d'initiatives et qu'ils ne s'impliquent pas dans une démarche de résolution de problèmes. Ils ne font pas de recherche documentaire dans le but de régler un problème ou d'améliorer une solution proposée. Ils s'attendent à ce que tout fonctionne correctement dès le premier essai sans considérer que la recherche d'une solution fait partie de la démarche naturelle d'apprentissage.

Lorsqu'on les place dans une situation où ils ont à planifier une méthode d'acquisition et d'analyse de données pour résoudre un problème, on constate qu'ils ne font pas d'analyse préalable et qu'ils ne découpent pas un problème en plusieurs parties moins complexes. Ils ne réalisent pas d'organigramme du travail à exécuter et lorsqu'on leur fournit de l'aide pour le

faire, ils ne prennent pas en compte les interactions qu'entraîne le jumelage des différents blocs.

Dans l'approche pédagogique actuelle, l'étudiant ne recevrait pas assez d'encouragement pour expérimenter ou prendre des initiatives. Notre expérience montre qu'il est évalué trop fortement sur la conformité des résultats attendus et sur la démarche exigée par le professeur.

Quand la production d'un élève ne correspond pas à ce qu'en attend le professeur, l'élève sera très classiquement réputé avoir commis une erreur (Johsua et Dupin, 1999, p. 123).

Aux yeux des étudiants, si une expérience ne fonctionne pas correctement, c'est qu'elle a été mal planifiée, que l'équipement est défectueux ou le matériel inadéquat. C'est une réaction normale si on considère que pour obtenir une bonne évaluation ils doivent se conformer aux critères définis. Les étudiants ne sont pas encouragés à bâtir eux-mêmes leurs connaissances et par conséquent, ils peuvent difficilement en réaliser le transfert ou la mobilisation dans d'autres situations.

En outre, l'enseignement se fait presque universellement à un rythme fixe pour tous les étudiants d'une même classe et d'un même programme sans égards aux différents intérêts, aux différentes capacités et aux différents styles d'apprentissage de chacun. Les étudiants devraient avoir la possibilité d'approfondir et de maîtriser un sujet, c'est le but premier de l'apprentissage.

INTÉGRATION DES CONNAISSANCES

Traditionnellement dans l'enseignement des sciences et des technologies, les professeurs s'entendent pour dire que l'intégration des contenus se fait principalement dans des activités de laboratoire. Le laboratoire concrétise et renforce les idées théoriques. Notre expérience montre que dans les laboratoires, les étudiants ne sont pas nécessairement appelés à solutionner des problèmes, à adopter une approche d'expérimentation active et surtout à utiliser efficacement les nouvelles technologies de l'information.

Au collégial, les étudiants ont accès à du matériel d'expérimentation, mais cet équipement est confiné à des laboratoires et s'inscrit dans des séquences de travail linéaires et morcelées.

Actuellement la réalisation d'une expérience de laboratoire se fait dans un laps de temps fixe. Un étudiant doit traiter rapidement une quantité importante d'information et l'installation et le montage occupent souvent la majeure partie du temps alloué. Il est difficile alors de travailler efficacement sur les aspects les plus importants et les plus intéressants d'une expérimentation, c'est à dire l'analyse des résultats et la modification de certains paramètres pour tester une nouvelle hypothèse.

L'enseignement des technologies de l'électronique se fait principalement par l'étude des composants pris isolément en dehors d'un système et en suivant une procédure préétablie. Lorsque l'on regroupe différents éléments, on constate que les étudiants ne tiennent pas compte des effets produits par l'interaction des circuits entre eux, par exemple, l'effet de charge du circuit précédent sur le suivant. Si on leur demande de calculer la sortie des deux circuits de la figure 1.1, un pourcentage élevé de ceux-ci donneront la bonne réponse mais par contre si on relie ces deux circuits suivant la figure 1.2 on constate alors que les résultats sont nuls.

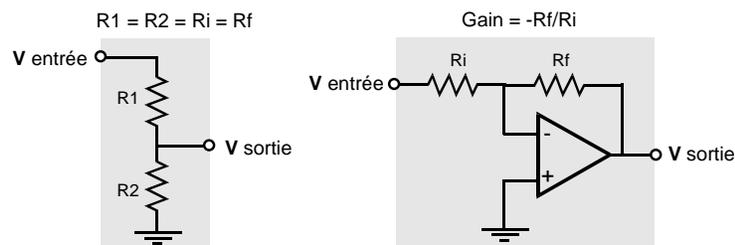


Figure 1.1 – Diviseur de tension et amplificateur inverseur à gain unitaire.

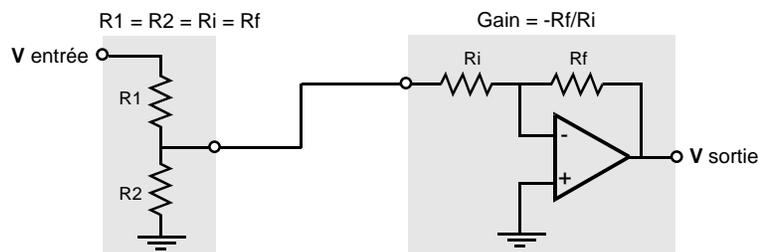


Figure 1.2 – Le gain de l'amplificateur inverseur n'est plus unitaire.

Les étudiants n'utilisent pas leurs connaissances relatives au théorème de Thévenin pour créer le circuit équivalent correspondant à cette nouvelle configuration. Le schéma de la figure 1.3 montre que la résistance équivalente modifie la boucle de contre-réaction et, par conséquent, le gain.

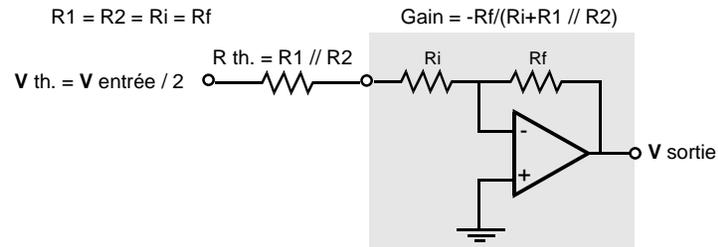


Figure 1.3 – Circuit équivalent de la figure 1.2.

On rencontre aussi un problème important lorsque l'on présente aux étudiants des circuits dont le principe est le même que ceux étudiés en classe ou en laboratoire mais dont la présentation est modifiée, les résultats obtenus alors sont très faibles. La situation est bien pire encore s'il s'agit d'un phénomène qui évolue dans le temps.

À titre d'exemple, le problème présenté à la figure 1.4 (a) ne pose pas de difficulté particulière. Par contre si on demande aux étudiants de tracer la fonction de transfert du même circuit en faisant varier la résistance de la source, figure 1.4 (b), ils n'arrivent pas à fournir la bonne réponse et cela même si les équations générales demeurent inchangées.

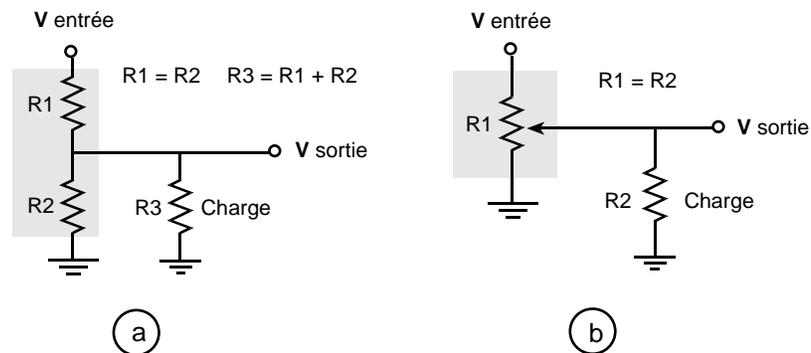


Figure 1.4 – Deux représentations de la résistance de source.

Les étudiants ne réalisent pas de représentations graphiques des phénomènes qu'ils ont à analyser et ils ne font pas d'approximation du résultat éventuel. Il semble qu'on ne leur donne pas suffisamment une vision globale de ce qu'ils doivent produire. On peut pourtant effectuer rapidement une bonne approximation de la sortie du circuit de la figure 1.4 (b) en utilisant seulement trois points, les extrêmes et un point milieu. On peut en déduire facilement que le résultat final sera une courbe et non une droite et valider ainsi un calcul théorique ou fournir une première piste de solution. Les étudiants ne développent pas naturellement d'hypothèses.

Ces difficultés des étudiants concernant l'intégration des principes appris durant leurs études se manifestent également dans d'autres situations que nous allons aborder plus loin en particulier dans le chapitre sur le modèle d'action.

CONCLUSION

Nous pouvons déduire de nos observations qu'il faut que les étudiants disposent d'outils permettant d'illustrer des phénomènes qui évoluent dans le temps. Nous faisons l'hypothèse que si une démarche de représentations graphiques est intégrée par les étudiants dès le début de leurs études dans le domaine de l'électrotechnique, elle sera transférée à des problèmes plus complexes au cours de leur formation.

Il faut créer des conditions pour que les étudiants s'engagent activement dans la construction de leur savoir et qu'ils puissent réinvestir l'information acquise en utilisant une démarche exploratoire ou une démarche expérimentale. Pour créer de la stimulation, ils doivent voir un défi dans la résolution d'un problème.

CHAPITRE 2 - IDÉE DE RECHERCHE

CRÉATION D'UN ENVIRONNEMENT D'EXPÉRIMENTATION

Dans le but de résoudre les problèmes décrits dans la problématique, nous créerons un environnement d'expérimentation souple et polyvalent (Figure 2.1), pour l'exploration et l'apprentissage autonomes de la technologie dans le secteur de l'électrotechnique. On tiendra compte, dans sa mise en œuvre, des recherches actuelles en didactique, que nous expliciterons dans les considérations théoriques au chapitre quatre.

Des études montrent que les bénéfices de l'ordinateur sont attribuables dans bien des cas à des changements de méthodes d'enseignement et en particulier à l'introduction de l'approche par projets (David Jane, 1997). Ceci rejoint les constats d'une analyse de Larose et al. (1999) sur l'utilisation des technologies de l'information dans l'enseignement. Ce qui importe, c'est qu'il y ait une relation directe entre le modèle pédagogique adopté par l'enseignant et le type d'intégration de ces technologies. Les enseignants qui adhèrent à un modèle pédagogique basé sur la construction active du savoir chez l'étudiant, toujours selon Larose et al., sont ceux qui favorisent des applications des technologies de l'information où dominent l'interactivité, l'autonomie de l'étudiant et les communications. Par contre, les enseignants qui épousent une pédagogie traditionnelle utilisent des technologies basées sur la mémorisation et la répétition de procédures. Il apparaît que l'intégration des technologies de la communication dans la pédagogie est une question subordonnée à la problématique de la transformation paradigmatique du modèle pédagogique.

Même si nous vivons dans une société hautement technologique, les moyens importants dont nous disposons aujourd'hui ne sont pas pleinement exploités dans l'enseignement. Souvent, on intègre une nouvelle technologie à l'enseignement pour automatiser des tâches plutôt que pour créer de nouvelles stratégies pédagogiques. On fait mieux les tâches que l'on faisait auparavant au lieu de les faire différemment.

D'après Resnick (1997), le défi majeur pour les enseignants et les concepteurs de matériel éducatif consiste à créer des outils et des environnements qui suscitent l'engagement des apprenants dans la construction, l'invention et l'expérimentation. Ce processus comporte principalement deux volets : les enseignants doivent créer des objets d'apprentissage et ces objets doivent permettre par la suite aux étudiants de créer eux-mêmes de nouveaux objets.

CARACTÉRISTIQUES DIDACTIQUES DE L'ENVIRONNEMENT D'EXPÉRIMENTATION

Il s'agit d'un équipement portable, relié à un ordinateur personnel, qui permettra aux étudiants de construire, d'expérimenter et de visualiser des phénomènes physiques de systèmes électroniques. Ils pourront commander automatiquement des variables d'entrée et observer en simultané, sous forme graphique, les effets de ces variables sur les signaux de sortie. Notre environnement sera dynamique et hautement interactif.

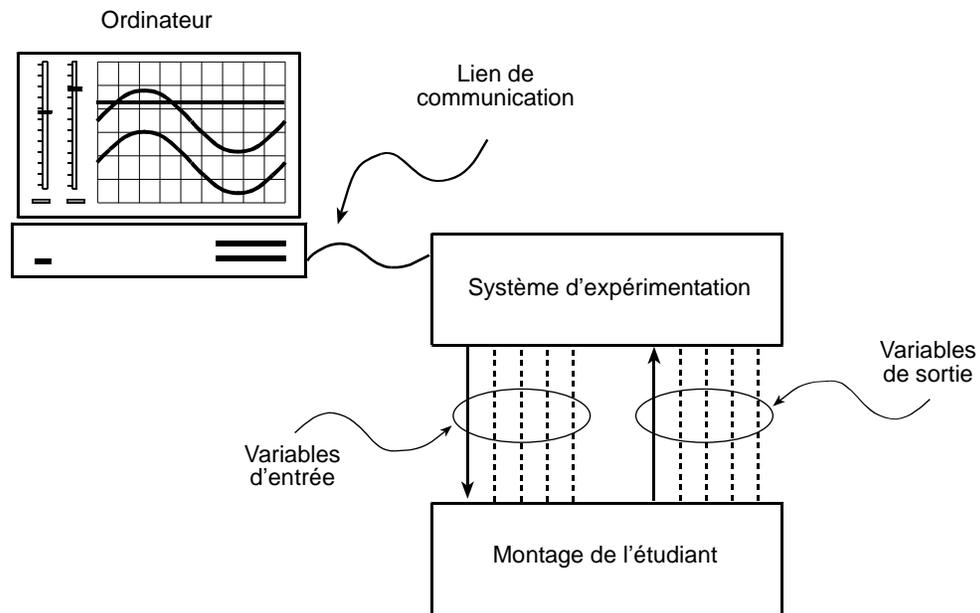


Figure 2.1 – Schéma de fonctionnement de l'environnement projeté

Notre environnement d'expérimentation sera aussi abordable qu'un manuel de référence. Au lieu de proposer des séries d'expériences pré-organisées, on offrira des situations d'expérimentation contextualisées et modifiables. La compréhension des principes fondamentaux d'un sujet dans son contexte le rend plus compréhensible et les recherches sur le cognitivisme montrent qu'une connaissance sera très vite oubliée si elle n'est pas structurée et placée dans la mémoire à long terme. D'après Bruner (2002), l'intégration d'une théorie et la compréhension d'idées et de principes généraux non seulement permettent la compréhension d'un phénomène, mais elles en favorisent la mémorisation et, éventuellement, le transfert à d'autres situations. Il possèdera les caractéristiques suivantes :

- **Il sera adapté aux profils des étudiants.**

L'étudiant pourra s'attarder sur certains points ou recommencer des étapes en fonction de ses connaissances, de ses intérêts ou de ses capacités, de façon à pouvoir maîtriser le sujet. La maîtrise d'un sujet, selon la théorie du cognitivisme (Tardif, 1997), permet de placer ses connaissances dans la mémoire à long terme et de favoriser le transfert des connaissances.

- **Il donnera une rétroaction immédiate.**

Une interface graphique lui donnera en temps réel les courbes des signaux commandés et celles des signaux résultant de son montage. Il pourra observer les interactions entre les variables et avoir une vision globale du système à analyser.

- **Il permettra le travail en dehors des cours.**

Chaque étudiant possèdera son propre système d'expérimentation qu'il reliera à son ordinateur personnel. Cela encouragera l'initiative et le travail en dehors des laboratoires et des salles des cours.

- **Il stimulera la formulation d'hypothèses.**

Cet environnement favorisera une démarche heuristique et aidera les étudiants à formuler des hypothèses pour la construction de structures conceptuelles. Le jumelage à un ordinateur permet une modification continue des paramètres d'expérimentation. En plus d'acquérir des informations sur le fonctionnement réel d'un circuit, l'étudiant pourra réaliser des modélisations.

LA REPRÉSENTATION GRAPHIQUE

Nous faisons l'hypothèse que l'utilisation intensive de la représentation graphique avec un ordinateur permettra aux étudiants d'intégrer plus rapidement des phénomènes physiques et d'en extraire les éléments de base. L'expérimentation en temps réel, avec un ordinateur, offre la possibilité d'automatiser la réalisation d'une expérience de façon à la reprendre rapidement. Ceci contribuera, à notre avis, à la compréhension d'un phénomène en permettant de conserver plusieurs hypothèses et plusieurs résultats d'expérimentations simultanément en mémoire pour les comparer.

CONCLUSION

On souhaite rendre les étudiants actifs en leur permettant de réaliser des expériences dont la qualité et la complexité seront élevées. On les encouragera à se responsabiliser en leur faisant utiliser un système qui leur appartient et qui leur permettra d'improviser et de dépasser les exigences minimales des cours. On espère ainsi leur faire développer une plus grande motivation pour progresser vers des apprentissages complexes, approfondir des éléments théoriques, intégrer leurs connaissances et en effectuer le transfert. Ce nouvel outil d'apprentissage devrait faciliter la compréhension du fonctionnement de systèmes complexes et favoriser l'apprentissage et la créativité.

CHAPITRE 3 - MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

La finalité de la présente recherche n'est pas d'obtenir des connaissances formelles sur les mécanismes d'apprentissage ni d'étudier de manière systématique la relation entre l'enseignant et l'apprenant mais nous voulons plutôt créer un environnement d'apprentissage qui permette aux étudiants de s'investir efficacement et avec intérêt dans l'étude et l'application de la technologie afin d'éviter le morcellement de leurs connaissances et augmenter leur réussite scolaire. Pour réaliser cet objectif, nous privilégierons le modèle de recherche-développement.

LA RECHERCHE DE DÉVELOPPEMENT

Nonnon (1990) propose deux situations typiques de recherche de développement qu'il qualifie de modèle de recherche-développement technologique :

Dans le premier cas, le chercheur part des résultats de la recherche expérimentale ou appliquée qui lui sont fournis comme un problème à résoudre, la recherche-développement consistant à s'insérer dans ce processus pour fournir une solution. Dans le second cas, il ne s'agira pas d'établir un contexte théorique afin d'en déduire une question et une hypothèse de recherche à priori; il suffira de partir d'une idée de développement, la confrontation théorique se faisant à posteriori; dans le but de confronter cette idée de manière à la préciser, à l'éclairer, afin de l'améliorer, la modifier ou la rejeter (p. 151, 152).

Pour Van Der Maren (1995), dans le type de méthode de recherche qui nous concerne, il s'agit de développement d'objets. On modélise un objet qui répondrait aux besoins d'une population cible ou bien on procède à l'analyse des besoins que l'on souhaite opérationnaliser. On conceptualise ensuite l'objet et on procède à une démarche de mise en œuvre.

CHOIX DU MODÈLE DE RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE DE NONNON

Dans notre cas, c'est une idée de développement technologique qui est apparue tout d'abord face à divers problèmes pédagogiques à résoudre et l'élaboration de cette idée nous a conduit

à développer un premier prototype et d'en faire la mise à l'essai. Cette première étape nous a amené à choisir le modèle de recherche de la seconde démarche du modèle de recherche-développement technologique de Nonnon, cité plus haut.

Les grandes étapes du modèle de Nonnon sont les suivantes :

- On débute avec une idée à explorer.
- On confronte cette idée aux théories pour l'appuyer, la rejeter ou l'enrichir.
- On procède à la conception d'un modèle d'action qui opérationnalise l'idée.
- On crée un prototype.
- On réalise les tests.
- On fait une mise à l'essai empirique.
- On réalise une mise à l'essai systématique pour industrialiser le prototype si l'on envisage la production à grande échelle.

L'analyse de l'atteinte des buts poursuivis par cette recherche se fera en cours de réalisation de l'environnement d'expérimentation et principalement a posteriori. Toujours d'après Nonnon, dans une recherche de développement, on part d'une idée qui apparaît intéressante à explorer que l'on confronte ensuite aux théories existantes à travers des considérations susceptibles de l'appuyer, de la rejeter ou de l'enrichir. Il considère cette étape prospective et théorique comme étant très importante car elle permet de vérifier la valeur d'originalité de l'idée. On procède à la conception d'un modèle d'action qui, à travers les choix techniques et les décisions que doit prendre le chercheur, précise et opérationnalise l'idée. On réalise ensuite un prototype, qui sera la version concrète, voire matérielle, du modèle. Le premier test du prototype est en fait une mise à l'essai fonctionnelle, faite en laboratoire, et destinée à vérifier l'adéquation formelle entre le modèle et le prototype en permettant de le réviser au besoin.

MISE EN OEUVRE

À partir des éléments mentionnés dans la problématique, on fait l'hypothèse qu'en construisant un environnement réel et virtuel couplé à un ordinateur pour le contrôle et la

représentation de phénomènes technologiques, on créera une situation pédagogique qui permettra d'améliorer la qualité de l'apprentissage.

Comme tous les étudiants posséderont leur propre système d'expérimentation, chacun pourra alors travailler à différents endroits, à différents moments et sur des objets différents. Cet environnement leur permettra de recommencer des expérimentations en y introduisant des variantes paramétriques pour valider des résultats et de créer eux-mêmes des expériences.

Pour réaliser cette recherche, nous nous sommes aussi inspiré de l'approche systémique (De Rosnay, 1975) et des concepts qui sous-tendent la conception d'un système (Truxal, 1972) en ingénierie. Nous avons élaboré un modèle (Figure 3.1) basé sur celui de Nonnon (1990) qui servira à la conception d'un premier prototype que l'on mettra à l'essai de façon dynamique avec des étudiants dans le but de l'optimiser. Nous identifierons ensuite les éléments descripteurs du mode d'opération en les comparant entre eux afin d'effectuer des choix et de déterminer les principales caractéristiques à attribuer au système final.

Nous validerons chacun des prototypes avec des étudiants et des professeurs experts en technologie du génie électrique en procédant suivant le modèle de la boucle fermée en tenant compte de l'évolution de l'ensemble des variables. Ces variables seront étudiées dans leur ensemble plutôt que séparément, puisqu'il sera pratiquement impossible de les séparer de leur contexte sans les altérer. La simulation étant impossible à réaliser, dans notre cas, elle sera remplacée par une mise à l'essai dynamique.

En suivant la même procédure, nous passerons à la mise en œuvre d'un nouveau prototype jusqu'à la création d'un système définitif optimisé en fonction des effets obtenus au fur et à mesure des mises en application. Nous nous assurerons qu'il correspondra bien aux objectifs de départ et à l'application des approches pédagogiques choisies.

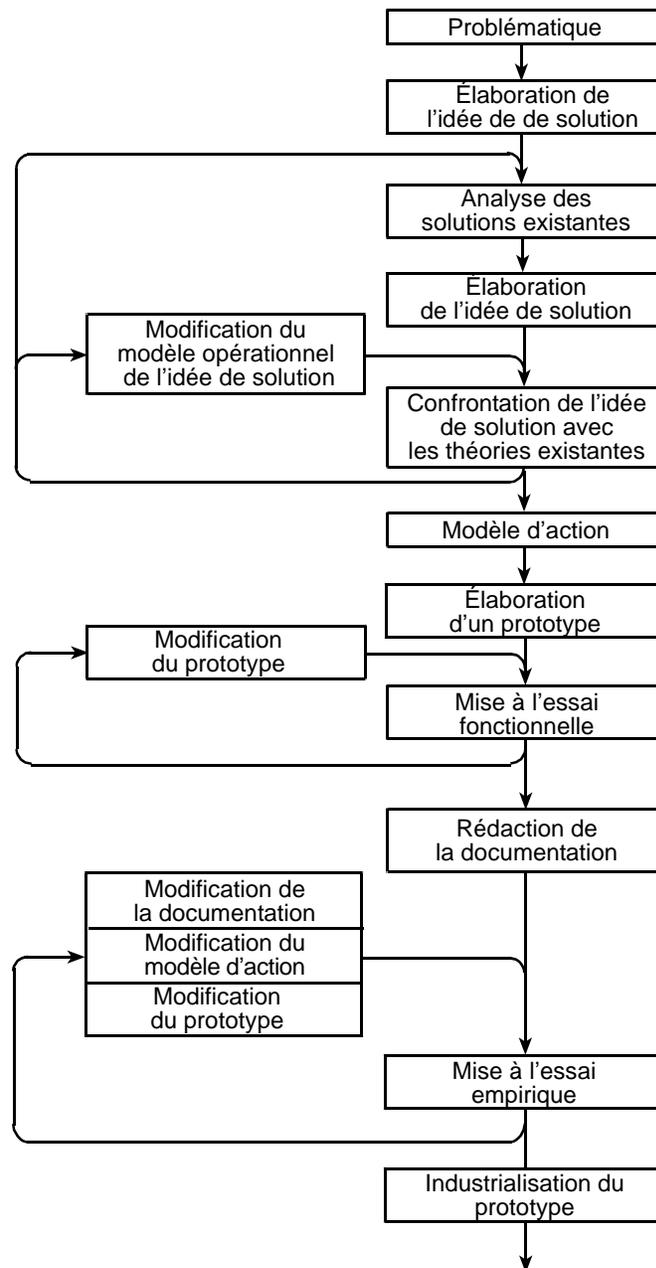


Figure 3.1 - Modèle de recherche-développement inspiré de celui de Nonnon

CHAPITRE 4 - CONSIDÉRATIONS PRATIQUES ET THÉORIQUES

ORDRE ET COURS VISÉS

Notre recherche vise les étudiants du secteur professionnel de l'ordre collégial, plus spécifiquement ceux des technologies du génie électrique, de niveau élémentaire et intermédiaire. Nous voulons aussi attacher une importance particulière aux cours d'électronique analogique, domaine dans lequel il existe très peu de matériel d'apprentissage utilisable en dehors des salles de laboratoires. Nous visons spécifiquement les cours suivants : ordinateur outil 243-143, technologie de l'électricité 243-133, réaliser un système de commandes 243-153, circuits 243-163, systèmes ordinés 243-314-92, électronique analogique 243-374-92 et interfaces, commandes et périphériques 243-605-92.

LE CONTEXTE D'ÉTUDES

Précédemment, nous avons souligné tout particulièrement, que les groupes d'étudiants étaient peu homogènes, que ces mêmes étudiants travaillaient peu en dehors des cours et qu'ils avaient de la difficulté à développer des hypothèses et à intégrer leurs connaissances. Pour ces raisons, nous allons développer un système d'expérimentation informatisé.

Il y a trois éléments importants dans l'enseignement : la quantité de matière à couvrir, le degré de maîtrise à atteindre et le temps alloué. Par exemple, si l'on veut que tous les étudiants obtiennent un même degré de maîtrise dans un sujet, ou si l'on veut couvrir la même quantité de matière pour tous, on devra consacrer à chacun une quantité de temps différente. Des étudiants possédant des préalables, des intérêts, des capacités et des styles d'apprentissage divers sont forcés d'apprendre à un même rythme. La réalisation d'une expérience de laboratoire, en particulier, se fait dans un laps de temps déterminé. Les étudiants doivent traiter rapidement une quantité importante de données et, l'installation et le montage occupent souvent la majeure partie du temps alloué. Il est difficile alors de travailler efficacement sur les aspects les plus importants et les plus intéressants d'une expérimentation, c'est-à-dire l'analyse des résultats et la modification de certains paramètres pour valider une nouvelle hypothèse.

L'enseignement est morcelé, c'est à dire qu'à chaque séance de théorie correspond une séance de laboratoire. Les contraintes d'horaire font souvent qu'une séance de laboratoire a lieu à un intervalle éloigné de celle de la théorie.

Il faut également tenir compte, dans le secteur de l'enseignement professionnel, que les étudiants sont fortement orientés vers l'action. Ils attachent une importance primordiale à la réalisation d'expériences pour l'intégration de la théorie. Il faudrait donner aux étudiants de ce secteur la possibilité de pratiquer leurs activités de laboratoire en dehors des salles de cours comme peuvent le faire les étudiants d'informatique, par exemple, qui disposent à la maison d'un ordinateur pour augmenter leur temps de pratique.

Nous allons maintenant examiner les principes pédagogiques qui nous ont guidé dans la création d'un environnement d'expérimentation qui tiendra compte de l'environnement scolaire et du contexte technologique dans lequel évoluent les étudiants.

▪ UN CONTEXTE D'APPROCHE PAR COMPÉTENCES

Depuis les dix dernières années, au secteur collégial, chaque changement de programme se fait suivant l'approche par compétences. Cette approche a été mise au point dans le but d'améliorer la qualité générale des apprentissages et, en particulier, le transfert des connaissances et des savoir-faire. Elle permet de passer de ce qui est prescrit par le professeur à ce que l'élève a acquis, en mettant l'accent non plus sur l'enseignement mais plutôt sur l'apprentissage et l'intégration des savoirs. Cependant, la relative nouveauté de cette approche et le fait qu'on ait souvent modifié sa définition rendent difficile sa traduction en une méthode applicable immédiatement et facilement par les enseignants. Comme on considère qu'une compétence serait le résultat de l'intégration d'un apprentissage que l'on peut évaluer, elle entraîne une complication supplémentaire car la façon d'évaluer doit s'adapter à cette nouvelle réalité.

▪ QUELQUES DÉFINITIONS DE L'APPROCHE PAR COMPÉTENCES

Nous allons regarder quelques définitions de l'approche par compétences afin de mieux situer le contexte dans lequel évoluent les étudiants pour la réalisation de notre environnement d'expérimentation.

Perrenoud (1997), considère que l'approche par compétence ne rejette ni les contenus, ni les disciplines, mais qu'elle met l'accent sur leur mise en œuvre et que les compétences sont intéressantes parce qu'elles permettent de faire face à des familles de situations.

Pour Désilet (1994), la compétence est un état de la personne et non pas une action ou un comportement. Ce serait essentiellement une structure de connaissances conceptuelles et

méthodologiques, qui rend la personne capable, non seulement de résoudre des problèmes techniques inhérents à ses fonctions de travail, mais également d'interagir avec des clients, des collègues et des supérieurs hiérarchiques ainsi que de s'adapter à l'évolution de son secteur professionnel.

Lasnier (2000, p 32) dans un guide d'application de l'approche par compétences dans lequel il met en relation l'ensemble des théories pédagogiques les plus utilisées actuellement en donne la définition suivante :

Une compétence est un savoir-agir complexe résultant de l'intégration, de la mobilisation et de l'agencement d'un ensemble de capacités et d'habiletés (pouvant être d'ordre cognitif, affectif, psychomoteur ou social) et de connaissances (connaissances déclaratives) utilisées efficacement, dans des situations ayant un caractère commun.

▪ **L'APPROCHE PAR COMPÉTENCES ET LE TRANSFERT DES CONNAISSANCES**

Lasnier souscrit à la notion de compétences transversales comme le propose le ministère de l'Éducation, mais cette notion ne fait pas l'unanimité chez les chercheurs en pédagogie. D'après Rey (1996), la notion de compétences transversales n'existerait pas, il faudrait plutôt lui substituer la notion d'intention transversale qui fait que, par exemple, on apprendrait plus facilement une langue lorsqu'on en possède déjà d'autres. Ce qui se produirait, c'est qu'au lieu d'assimiler entre eux des éléments comparables de deux langues acquises pour les transférer ensuite à une autre en utilisant des procédures éprouvées, on ferait plutôt appel aux compétences déjà maîtrisées dans la langue acquise. Rey (1996, p. 90) affirme que,

[...] tout semble indiquer que l'expert n'est pas celui qui sait généraliser une structure, mais plutôt celui qui dispose d'un grand nombre de procédures spécifiques. L'expert serait caractérisé, non pas par un pouvoir de généralisation mais plutôt par un pouvoir de particularisation et le transfert réussi relèverait plus du second que du premier.

Cette constatation nous amène à penser que le sujet adopterait un comportement d'expert lorsqu'il fait ressortir les éléments particuliers d'une situation pour résoudre un problème nouveau. Comme l'explique Tardif (1999, p. 31),

[...] le transfert est plutôt un processus de particularisation qu'un processus de généralisation. Les recherches effectuées sur l'expertise en vue de déterminer les caractéristiques cognitives de personnes expertes comparativement à des personnes novices démontrent que, dans leur domaine d'expertise, les experts réalisent de très nombreux transferts et que ces derniers sont très judicieux notamment parce qu'ils prennent appui sur les données les plus importantes dans la résolution d'un problème ou dans la réalisation d'une activité.

En conclusion, une compétence serait le résultat de l'intégration d'un apprentissage que l'on peut mettre en œuvre et évaluer. Cette approche commande une pédagogie active et nous en déduisons qu'il est extrêmement important que l'étudiant expérimente lui-même. Notre intention étant de produire un outil d'expérimentation, on fera en sorte qu'il permette la réalisation de quelque chose de tangible pour la mobilisation et le transfert des connaissances chez l'étudiant.

MODÈLE D'ACTION EN RÉPONSE À LA PROBLÉMATIQUE

En nous référant à la problématique de départ concernant la motivation des étudiants pour les études, la grande hétérogénéité des groupes et le manque de liens qu'ils établissent entre les divers enseignements qu'ils reçoivent, nous nous proposons de créer, comme nous l'avons mentionné au chapitre deux, un environnement de développement à la fois réel et virtuel.

La difficulté principale d'une expérimentation réside dans le traitement des données et leur compréhension. En utilisant un ordinateur et un couplé à un système d'expérimentation, on peut automatiser un processus de mesure, conserver un historique de l'expérimentation, répéter une expérience en changeant des paramètres, comparer plusieurs situations entre elles et tester très rapidement un prototype. Cet aspect est primordial pour la motivation et l'encouragement au travail personnel puisqu'il permet aux étudiants de découvrir par eux-mêmes de nouvelles solutions et d'être actifs dans leur apprentissage.

Notre environnement sera hautement interactif et il utilisera de façon intensive l'affichage graphique. Il existe plusieurs degrés d'interactivité, on peut avoir un système faiblement interactif ou fortement interactif. Nous allons nous centrer ici sur un système fortement interactif. Toute activité de l'étudiant sera analysable graphiquement au fur et à mesure de

son déroulement de façon à pouvoir en constater immédiatement les effets. Notre environnement sera portable pour l'utilisation en dehors des laboratoires. Les étudiants pourront conserver leur expérimentation afin de pouvoir modifier et refaire des tests de leurs montages.

L'étudiant pourra expérimenter par simulation et vérifier ensuite son hypothèse ou ses calculs dans un environnement réel. On travaillera à la fois en virtuel et en réel. Ceci permettra de relier la théorie à la pratique pour le transfert des connaissances. Ce lien est très difficile à établir sans l'utilisation d'un ordinateur. Le meilleur exemple que l'on puisse donner de cette situation est celui des premiers ordinateurs avec cartes perforées. Il fallait attendre au moins une journée dans le meilleur des cas avant de savoir si son programme fonctionnait correctement. La moindre erreur obligeait à recommencer le processus. Si dans certains cas, cela obligeait à une plus grande réflexion sur son travail avant de le soumettre, en revanche c'était une façon très démotivante de fonctionner et qui ne laissait aucune place au principe de l'essai et erreur. En faisant alterner continuellement la théorie, la simulation et l'expérimentation réelle, nous croyons pouvoir augmenter la motivation car l'étudiant pourra obtenir rapidement une vérification de son hypothèse. On encouragerait aussi de cette façon une démarche d'essai et erreur.

On permettra à un étudiant de confronter les résultats de ses calculs à des représentations physiques réelles obtenues par l'utilisation de notre environnement. Cela permettra de créer des situations entraînant des conflits cognitifs en illustrant une réponse valide qui contredise les calculs et les hypothèses des étudiants.

Les étudiants pourront aussi obtenir des représentations multiples d'un phénomène à analyser en créant eux-mêmes différentes versions d'une même expérience. Une interface graphique leur donnera en temps réel les courbes des signaux commandés et celles des signaux résultants de leur montage. Ils pourront observer les interactions entre les variables et avoir une vision globale du système à analyser. Au lieu de proposer des séries d'expériences préalablement organisées, on offrira des situations d'expérimentation contextualisées et modifiables.

Cet environnement aidera les étudiants à formuler des hypothèses pour la construction de structures conceptuelles. Le jumelage à un ordinateur permet une modification continue

des paramètres d'expérimentation. En favorisant la formulation d'hypothèses et la création de modèles par leur vérification immédiate, on permettra aux étudiants de développer leur intuition et une démarche heuristique. Selon Bruner (2002), la démarche heuristique est une méthode non rigoureuse de solution d'un problème par rapport à la méthode analytique qui consiste à suivre rigoureusement un algorithme. Dans bien des cas, il n'y a pas d'algorithme disponible tandis que l'on peut toujours faire appel à une démarche heuristique et cette dernière suscite souvent rapidement la découverte d'une solution. En faisant appel aux capacités cognitives des étudiants pour la résolution d'un problème on contribuera à augmenter leur motivation et à développer leurs compétences.

Toujours d'après Bruner (2002), l'intégration d'une théorie et la compréhension d'idées et de principes généraux non seulement permettent la compréhension d'un phénomène mais elles permettent aussi de mémoriser et d'intégrer les connaissances et dans une approche par compétences, d'en faire éventuellement le transfert dans d'autres situations. Perrenoud (1995) mentionne que l'intégration des apprentissages consiste d'une part, à la construction progressive d'un tout cohérent à partir de connaissances, d'habiletés et d'attitudes diverses, et d'autre part, à la mise en application et à l'utilisation des nouveaux acquis dans différentes situations.

Nous transposerons dans un système pédagogique certaines caractéristiques qui rendent les jeux vidéo attrayants. Selon GEE (2003), les jeux à l'ordinateur font appel à un ensemble de concepts dont voici les plus appropriés pour nous :

- Encourager l'apprentissage actif.
- Stimuler la pratique en permettant de faire des expériences entraînant des découvertes.
- Encourager l'expérimentation en donnant la possibilité de créer et de vérifier des hypothèses et d'en recréer et d'en revérifier de nouvelles à partir des premières.
- Fournir des situations contextualisées et significatives.
- Donner du support pour le transfert des apprentissages dans des situations ultérieures plus complexes.

Nous nous appuyerons sur les dernières avancées dans le domaine de la pédagogie et de la didactique comme le constructivisme, le cognitivisme, la pédagogie de projets et l'approche

systemique. Nous allons tout spécialement mettre à profit la capacité des ordinateurs de réaliser des affichages graphiques et de contrôler des procédés. Nous utiliserons la technologie de deux manières : comme outil d'apprentissage, en concevant un environnement informatisé d'expérimentation et comme objet d'apprentissage, en permettant à nos étudiants d'explorer et d'expérimenter des systèmes technologiques.

DIFFÉRENCE ENTRE UN SYSTÈME RÉEL ET LA SIMULATION

Un système matériel possède des caractéristiques propres qui ne sont jamais entièrement conformes aux valeurs théoriques et qui sont très difficiles à reproduire. Un expert connaît déjà tout ce processus, c'est pourquoi il peut faire appel à des simulations avancées pour obtenir des réponses à des problèmes complexes. L'expert sait de quoi il s'agit, il peut donc se servir d'un programme de simulation en toute connaissance de cause. Ce n'est pas le cas pour un novice qui ne saura pas différencier un résultat aberrant d'une approximation valable d'un phénomène.

Un système réel informatisé comme celui que nous allons créer se distingue d'une simulation par le fait qu'on réalise des expérimentations matérielles dans des conditions réelles en tenant compte des facteurs physiques qui interviennent tout en utilisant les capacités de calcul, d'analyse et de représentations graphiques des ordinateurs. Ainsi, par rapport à une simulation, on augmente la validité des résultats d'une expérience.

L'expérimentation d'un système réel avec un ordinateur rend possible l'association de la synthèse et de l'analyse, deux notions traditionnellement considérées comme opposées. Elle suscite la réflexion sur des résultats, car s'il existe un doute sur la validité de ceux-ci dans l'esprit de l'étudiant, il peut, en quelques secondes, refaire une nouvelle lecture des données et comparer les résultats. Cette possibilité offerte par la technologie devrait améliorer le processus d'acquisition des savoirs et de faire émerger les compétences.

LA REPRÉSENTATION GRAPHIQUE : UN SUPPORT À LA COMPRÉHENSION

Nous utilisons de plus en plus les ordinateurs pour leur capacité graphique. Ils rendent possibles la visualisation de phénomènes physiques de manière interactive et dynamique à un niveau de plus en plus élevé. En 1966, Hamming, (Rheingold, 1991), mentionnait déjà que la fonction d'un ordinateur n'était pas d'afficher des nombres mais de représenter des phénomènes physiques, de les contrôler, de formuler des hypothèses, de les vérifier et de

simuler ou de créer des environnements. Ce sont ses capacités graphiques qui en font un outil révolutionnaire pour l'enseignement et l'apprentissage. On n'a qu'à penser à la métaphore du bureau virtuel avec Windows, à celle du grand livre avec Excel, aux systèmes de conception assistée par ordinateur, etc. D'après Smith et al., (Rheingold, 1991), la représentation graphique diminue la charge cognitive en représentant des phénomènes difficiles à décrire dans une forme conventionnelle.

Pour Robinett, (Rheingold, 1991), le processus d'apprentissage requiert des exemples concrets et des modèles graphiques descriptifs, interactifs et efficaces et ces modèles sont réalisables par ordinateur. Si des enfants de douze ans maîtrisent immédiatement et instinctivement le principe de fonctionnement d'un jeu vidéo, c'est qu'il y a quelque chose de saisissant et d'accrocheur dans la représentation graphique sur écran.

D'après Rheingold (1991), l'affichage d'un phénomène et son illustration agissent sur le cerveau comme de la mémoire supplémentaire, fournissant ainsi un support pour la mémoire à court terme. La représentation graphique libérerait cette mémoire pour permettre de mieux se concentrer sur l'analyse d'un phénomène et l'appréhension des résultats d'une expérimentation. Elle faciliterait la compréhension de phénomènes physiques difficiles à décrire autrement et elle aiderait à en extraire rapidement les éléments de base.

DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

Selon Turkle (1997), des études effectuées par des anthropologues et des sociologues des sciences montrent que ce qu'on appelle habituellement la démarche scientifique n'existerait pas. L'expérimentation se ferait par essais et erreurs et c'est lors de la présentation des résultats que l'on réorganise le tout afin que ce soit compréhensible et reproductible par d'autres. On élimine toutes les pistes qui n'ont pas donné de résultats et on tente de montrer que tout s'est fait suivant une démarche rigoureuse afin d'en tirer le plus de gloire possible. La démarche scientifique serait en réalité une suite d'essais, d'erreurs et de réussites.

Dans cet ordre d'idée, il est important de demander aux étudiants de faire leurs propres essais, de tirer leurs propres conclusions et de les comparer ensuite. On augmente ainsi leur motivation et leur sens critique car comment être motivé pour l'expérimentation s'il n'y a rien à découvrir. Il est bien entendu beaucoup plus facile d'implanter cette démarche si le matériel d'expérimentation est prévu dans cette optique. On ne peut demander à des élèves du

secondaire et des étudiants de cégep de mettre eux-mêmes en place tout un système d'expérimentation. C'est ici que la robotique pédagogique peut être d'être d'un grand recours en fournissant des outils d'expérimentation élaborés qui facilitent la démarche exploratoire et encouragent à y recourir.

CONFLIT COGNITIF

Un conflit cognitif est une situation de déséquilibre de connaissances qui incite les étudiants à réaliser de nouvelles expérimentations afin de la corriger (Tardif, 1997). Pour en montrer l'intérêt en lien avec la démarche expérimentale, nous allons présenter deux situations types qui suscitent un questionnement important chez les étudiants et dont nous voulons simplifier la mise en œuvre et l'analyse à l'aide du système projeté. La figure 4.1 fait voir un premier exemple. Les deux circuits présentés sont très différents mais les étudiants les considèrent de prime abord de façon à peu près identique. Si on leur demande de trouver la fonction de sortie de chacun d'eux, ils n'arrivent pas à effectuer correctement les calculs. Lorsqu'ils voient la solution, figure 4.2, ils considèrent le problème comme une énigme qu'ils se sentent obligés de résoudre.

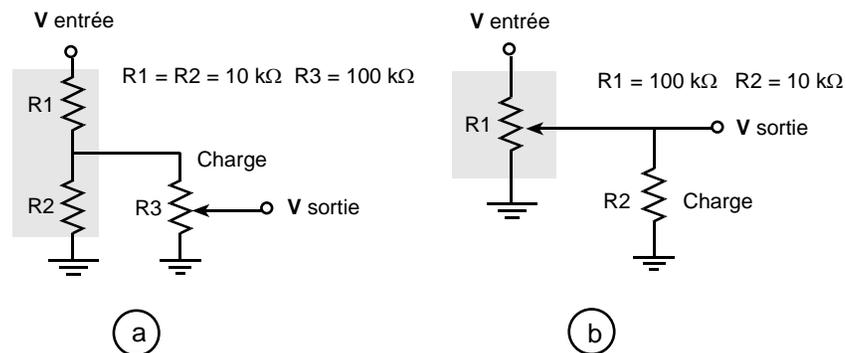


Figure 4.1 – Premier exemple de conflit cognitif

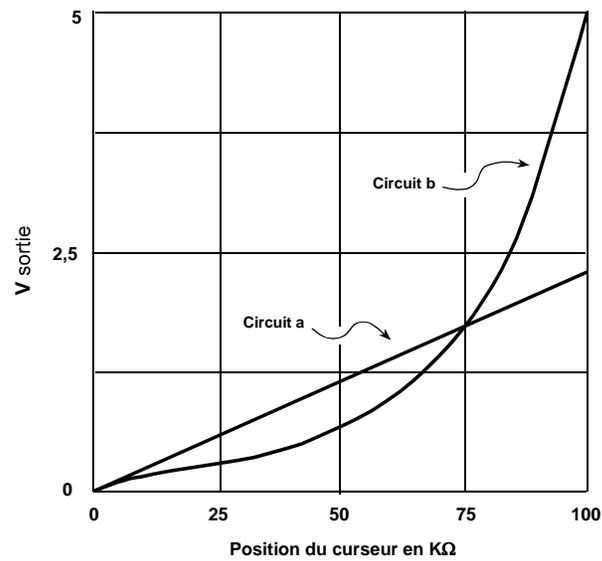


Figure 4.2 – Solution du premier exemple

À notre avis, nous sommes ici face à une situation d'un grand intérêt puisque les étudiants sont confrontés à un problème dont la résolution au départ fait pourtant appel à leurs connaissances. Or, à partir du graphe de la solution, ils sont capables d'appliquer les règles et les théorèmes qu'on leur a enseignés.

La figure 4.3 expose un second exemple de conflit cognitif. Lorsque les étudiants calculent la sortie de chacun des circuits a et b pris séparément, ils fournissent majoritairement les bonnes réponses tandis que, si on relie les deux circuits, les résultats sont à peu près nuls. Les étudiants ne font aucunement appel au théorème de Thévenin qu'ils ont pourtant appris et déjà appliqué dans des expériences conventionnelles de laboratoire.

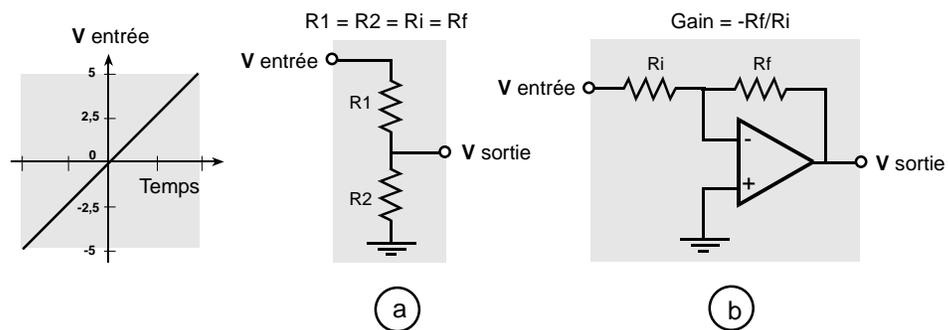


Figure 4.3 – Second exemple de conflit cognitif

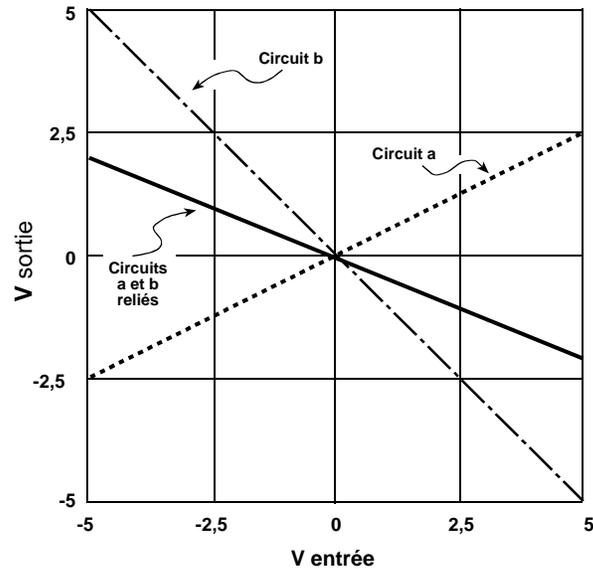


Figure 4.4 – Solution du second exemple

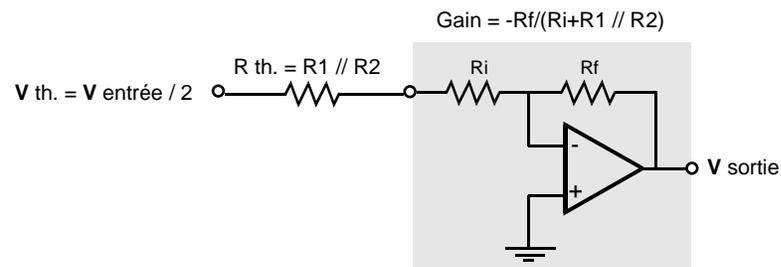


Figure 4.5 – Circuit équivalent du second exemple lorsqu'on relie a à b

Par contre, si on leur montre les graphes de sortie de chacun des circuits, ils se rendent compte qu'ils doivent procéder à une analyse profonde du problème et qu'ils ont les connaissances pour le faire. Ils font alors appel à leurs connaissances antérieures et ils arrivent par eux-mêmes à déterminer la nécessité de trouver un circuit équivalent (fig. 4.5) pour obtenir ensuite le résultat exact.

Dans ces deux exemples nous faisons face à une situation très particulière de faible intégration des connaissances puisque les problèmes sont d'une relative simplicité mais nous constatons que si les étudiants sont confrontés à un résultat contraire à ce qui leur semblait

évident, ils s'engagent aussitôt dans une démarche heuristique efficace de résolution du problème.

Sans l'effet de surprise d'une situation contradictoire, les étudiants ont peu de raisons de soupçonner qu'il y a quelque chose de remarquable dans leur façon de penser (Goldenberg , Perkins, 1995) et la représentation graphique des résultats, en particulier, nous semble particulièrement appropriée pour créer un conflit cognitif et entraîner une démarche productive. Elle permet d'apprendre de ses erreurs (Astolfi, 1997).

LA REPRÉSENTATION MULTIPLE POUR FAVORISER L'INTÉGRATION DES CONNAISSANCES

Dans une expérimentation assistée par ordinateur, on peut obtenir une grande quantité de courbes. Cette façon de fonctionner était impensable auparavant car elle exigeait un temps de travail irréaliste. Maintenant on peut explorer toute la richesse de cette façon de travailler car non seulement on obtient rapidement une multitude de courbes, mais elles peuvent être comparées automatiquement entre elles. Cette démarche donne une vision très riche d'une situation et elle contribue à l'intégration des connaissances. C'est une démarche qui contribuerait à développer un comportement d'expert, dont nous parlerons plus loin dans le cognitivisme, et par conséquent, amènerait le transfert des connaissances. Pour cela, nous allons nous inspirer de Goldenberg (Perkins, 1995) en ce qui a trait aux représentations multiples d'un phénomène à l'aide d'un ordinateur pour visualiser des opérations et des équations mathématiques qui autrement ne peuvent être représentées que de façon abstraite. Nous nous servons également des observations de Papert (1993) sur l'importance du sens comme facteur de motivation dans l'apprentissage des mathématiques.

Notre environnement permettra de faire varier des paramètres d'entrée dans le but d'obtenir des familles de courbes pour la représentation physique en temps réel des caractéristiques d'un circuit. Les étudiants pourront observer et intégrer les notions de mathématiques vues de façon théorique.

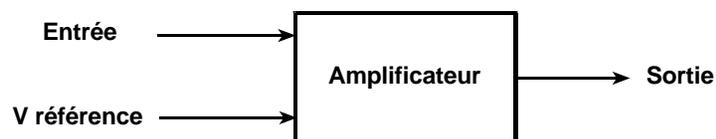


Figure 4.6 – Schéma de fonctionnement

La figure 4.6 montre le schéma de fonctionnement d'un circuit d'amplification utilisé dans le traitement de signal. Nous allons étudier un premier cas dont la fonction de transfert est une droite de type $y = mx + b$. La fonction de transfert est obtenue au moyen d'un signal d'entrée en forme de rampe et d'un signal de référence que l'on fait varier pour produire les différentes courbes de sortie qui caractérisent le circuit. m représente le gain de l'amplificateur et b , la référence. Les manufacturiers utilisent systématiquement ces familles de courbes pour décrire les caractéristiques techniques de leurs circuits.

À la figure 4.7, on voit trois courbes différentes de sortie produites par deux signaux d'entrée. Ce sont des droites de pentes positives qui indiquent que le gain est positif et égal à un. On peut observer également que la référence agit sur le déplacement des courbes dans le sens positif. Ces représentations illustrent la notion de pente et d'intersection représentée par une droite.

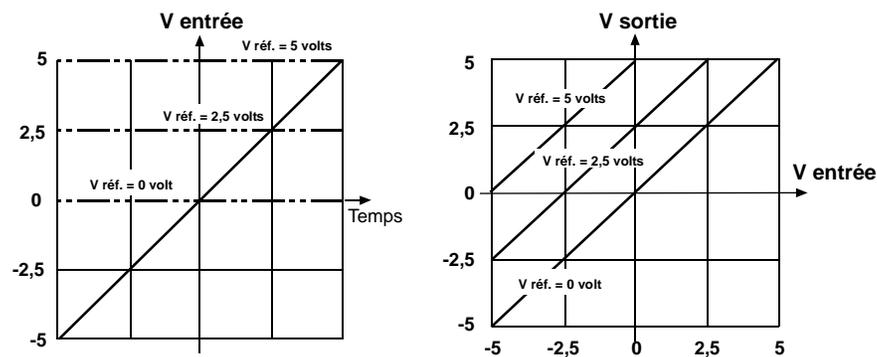


Figure 4.7 – Courbes de la forme $y = mx + b$ avec $m = 1$ et $b = 0, 2,5$ et 5 volts

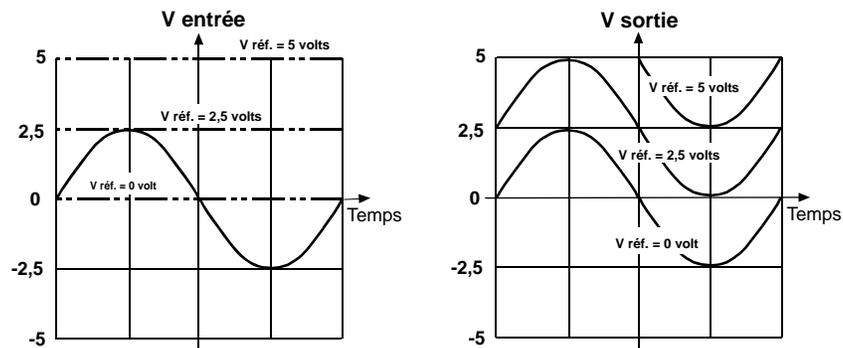


Figure 4.8 – Résultats du circuit précédent dans une application

La figure 4.8 présente le même circuit, mais cette fois le signal d'entrée n'est plus une rampe mais une sinusoïde. On observe que lorsque la tension de référence est de 0 volt, le signal d'entrée est reproduit intégralement et conserve sa forme bipolaire, tandis que lorsque la tension de référence est de 2,5 volts, le signal d'entrée est reproduit aussi intégralement, mais le résultat est unipolaire et positif et, si la tension de référence est de cinq volts, on dépasse les caractéristiques du circuit et le signal ne peut être reproduit en entier.

Les figures 4.9 et 4.10 reprennent les principes précédents, mais les droites de sortie sont de la forme $y = -mx + b$, ce qui indique un gain négatif. On voit que, par rapport à l'exemple précédent, le sens du signal de sortie est inversé et que la référence joue exactement le même rôle.

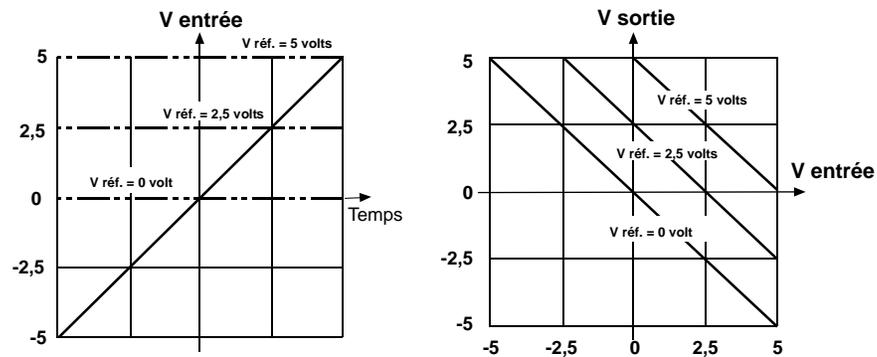


Figure 4.9 – Courbes de la forme $y = -mx + b$ avec $m = 1$ et $b = 0, 2,5$ et 5 volts

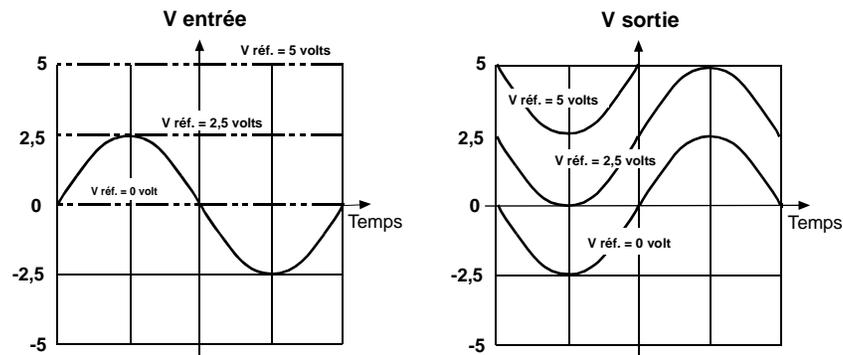


Figure 4.10 – Résultats du circuit précédent dans une application

Ces illustrations donnent à l'étudiant l'occasion de faire un lien entre ses connaissances mathématiques et une application technologique. Elles illustrent l'intérêt de la représentation

multiple dans l'étude de l'électronique. D'autres configurations pourront être mises en œuvre par les étudiants eux-mêmes.

LE COGNITIVISME ET LE TRANSFERT DES CONNAISSANCES

Dans le but de répondre efficacement à la problématique et en particulier pour augmenter les liens entre les divers apprentissages des étudiants et créer un transfert des connaissances, notre environnement fera appel à l'approche constructiviste.

Dans le cognitivisme, on catégorise les connaissances en trois niveaux : 1 - les connaissances déclaratives : les faits, les règles, les lois et les principes; 2 - les connaissances procédurales : les étapes pour réaliser une action; 3 - les connaissances conditionnelles : le quand et le pourquoi d'une action. Ces dernières, les connaissances conditionnelles, sont rarement mobilisées dans le contexte actuel d'apprentissage et d'après nous, le système d'expérimentation que nous nous proposons de développer permettrait de combler cette lacune en mobilisant dans l'action cet aspect des connaissances.

Au sujet des connaissances conditionnelles, d'après Tardif (1997), c'est à partir des situations proposées par l'enseignant et du matériel qu'il présente que l'élève procède à la construction des connaissances et des règles qui vont induire par la suite ses comportements et ses réponses dans des situations similaires. Dans ce cadre, comme dans celui de toute connaissance d'ailleurs, on ne doit présenter que des activités complètes en elles-mêmes car le savoir ne se construit que très difficilement à partir de pièces isolées. L'étudiant doit avoir l'occasion d'analyser et non simplement de réaliser une expérience afin de placer ses connaissances dans sa mémoire à long terme.

Tardif (1998) souligne que le transfert se produit lorsque des connaissances acquises antérieurement influencent la façon dont de nouvelles connaissances sont acquises. Le transfert a lieu lorsque l'on connaît très bien son sujet, voire, lorsque l'on en est un expert.

Pour devenir un expert, il faudrait avoir travaillé longuement sur un sujet et avoir effectué un grand nombre d'expérimentations. C'est ce que nous souhaitons obtenir des étudiants en leur proposant un environnement informatisé portable et leur appartenant.

▪ LE COGNITIVISME ET LES NOUVELLES TECHNOLOGIES

Les nouvelles technologies de l'information favorisent la multiplication des analyses possibles d'un phénomène en permettant la reproduction ou la modification rapide d'une expérience. Elles offrent aussi aux étudiants la possibilité de travailler à leur rythme et suivant leur propre initiative. Ainsi, en vertu des principes cognitivistes, ils deviendront des experts.

Selon Tardif (1999) l'organisation des connaissances rend possible la simultanéité alors que son absence condamne les élèves à la séquentialité et Nonnon (1990) élabore cette notion de simultanéité avec *la lunette cognitive*. Cet outil permet de visualiser en même temps un phénomène et l'étude d'une expérimentation.

En associant les capacités graphiques et la puissance de calcul de l'ordinateur à un matériel de contrôle et d'acquisition de données, on peut étudier un phénomène physique en changeant facilement les paramètres d'une expérimentation de façon à obtenir des analyses et des points de vue différents d'un même phénomène. Lorsqu'un étudiant constate qu'un résultat ne correspond pas à celui auquel il s'attendait, ou s'il doute de sa validité, il peut modifier alors des paramètres et recommencer l'expérience. Il utilise alternativement la synthèse et l'analyse. Cette démarche concerne la compréhension et non la réalisation d'une expérience qui consisterait simplement à se conformer aux exigences du programme.

▪ LE CONSTRUCTIVISME

On recourt tous à cette approche lorsqu'on doit résoudre un problème. Dans le constructivisme, ce sont les étudiants qui apprennent et qui construisent leur propre système de compréhension. Ils doivent expérimenter, appliquer leurs connaissances et faire de nombreuses manipulations afin de découvrir eux-mêmes l'importance d'une bonne structuration de leurs propres connaissances.

Perrenoud (1995, p. 20) affirme que

L'intégration des apprentissages consiste d'une part, à la construction progressive d'un tout cohérent à partir de connaissances, d'habiletés et d'attitudes diverses, et d'autre part, à la mise en application et à l'utilisation des nouveaux acquis dans différentes situations.

Selon Pitt (2000), l'acquisition de connaissances ne se résume pas à un processus linéaire de découvertes d'éléments de vérité résultant d'une seule expérience et que l'on conserverait ensuite. Il s'agirait plutôt d'un processus continu d'analyse et de rétroaction. Ce que l'on sait à un moment donné, résulte de l'analyse raffinée de démarches antérieures et de la mise en doute autant des buts visés que des résultats obtenus. Plus nous acquérons de connaissances, plus nous devons sélectionner parmi ce que nous savons déjà et plus nous devons en considérer les effets sur ce que nous croyons savoir. Pourtant, selon Pitt, cette démarche ne va pas toujours de soi : elle survient lorsque les expériences donnent des résultats qui entrent en contradiction avec les modèles que nous avons construits. Nous réorganisons alors ce que nous croyons connaître, nous réévaluons la qualité de nos objectifs et le mode de validation utilisé et nous remettons en cause la structure de notre système de valeurs. Pour éviter de faire des erreurs, nous devons apprendre de nos erreurs, en remettant continuellement à jour nos connaissances et en éliminant les résultats erronés et les hypothèses incorrectes.

Avec l'environnement proposé, nous voulons stimuler cette démarche constructiviste nécessaire à l'apprentissage. Un haut degré élevé d'interactivité et de grandes possibilités d'affichage graphique fourniront à l'étudiant des éléments majeurs pour détecter et corriger rapidement ses erreurs. La réduction du temps d'analyse nécessaire à la détection et à la correction des erreurs diminue l'anxiété et la frustration et rend la démarche d'apprentissage beaucoup plus productive (Carroll, 1998).

L'APPROCHE PAR DEVIS ET TÂCHES POUR L'INTÉGRATION DES CONNAISSANCES

Dans le cadre de cette recherche et en parallèle avec celle-ci, nous avons poursuivi une démarche de développement d'une approche par projets, laquelle doit être vue comme faisant partie intégrante de ce travail : elle nous a donné des informations importantes pour concevoir notre modèle d'action et nos mises à l'essai. Elle nous a permis, en particulier, de définir de façon plus précise une application de pédagogie de projets que nous avons appelé *Approche par devis et tâches*. Les conditions et résultats de cette expérimentation, effectuée avec la collaboration d'un collègue, apparaissent en annexe sous le titre : *Une expérience d'approche par projets pour favoriser l'intégration des apprentissages*.

Nous considérons, d'après notre expérience, que les avantages du recours aux ordinateurs sont beaucoup plus importants lorsqu'ils sont jumelés à des systèmes d'expérimentation et de réalisation de projets. Dans une pédagogie de projets, on place l'étudiant dans une situation

motivante pour la réussite et le travail personnel. Les étudiants peuvent ainsi travailler à leur rythme et avoir le sentiment qu'ils peuvent faire des choses très complexes en fonction de leur motivation et du temps alloué. On brise ainsi la démarche traditionnelle où tous les étudiants doivent apprendre en synchronie.

Dans le cognitivisme, on parle d'organisation systématique des connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles. Comme ces dernières sont plus difficilement applicables dans le contexte actuel d'apprentissage, d'après nous, une pédagogie de projets contribuerait à combler cette lacune. La réalisation d'un projet amènera l'étudiant à développer une démarche d'expert en approfondissant un sujet de façon contextualisée. Selon Tardif (1999), il est très important d'avoir un apprentissage de connaissances contextualisées pour la transférabilité. Nous avons remarqué qu'il est capital pour les étudiants d'expérimenter eux-mêmes et que lorsque les principes fondamentaux sont bien ancrés, ils possèdent une plus grande autonomie.

Rappelons que les groupes d'étudiants sont de plus en plus hétérogènes et qu'avec une approche par projets, on crée une situation où l'hétérogénéité d'une classe n'est plus un obstacle ou une limite aux standards d'un cours.

Dans une pédagogie de projets, le professeur est surtout un conseiller, c'est l'étudiant qui fait la démarche d'acquisition des connaissances, en se rendant compte de l'utilité de son apprentissage et en étant actif. La réalisation d'un projet évite le découpage des objets et des savoirs; elle permet une approche globale et une démarche d'intégration des connaissances qui amène les étudiants à en faire le transfert en se comportant en expert.

D'autre part, les étudiants attachent une très grande importance au fait de monter eux-mêmes des expériences et de pouvoir conserver leur propre système d'expérimentation. Cela leur donne la possibilité de répéter une expérience ou d'en réaliser de nouvelles. Ils acquièrent de cette façon plus d'habileté, une meilleure confiance en eux et ils développent une plus grande motivation pour progresser vers des connaissances complexes. La récompense vient alors directement du sentiment de compréhension et de celui de l'obtention d'un résultat tangible, et à un niveau plus avancé, ils pourront travailler efficacement dans l'abstrait. Bref, on leur confie la responsabilité de leur apprentissage.

▪ L'APPROCHE SYSTÉMIQUE

D'après De Rosnay (1975), l'intérêt de l'approche systémique réside dans la prise de conscience du monde. Une prise de conscience globale et universelle qui nous permettrait de voir la pédagogie sous un angle différent par rapport à la vision classique que nous en avons. L'auteur du *Macroscope* veut nous faire réfléchir non pas tellement sur la relation maître-élève mais plutôt sur une nouvelle perception de la pédagogie où le problème de l'utilité des connaissances doit être posé globalement.

Morin (1999, p. 100) cite Blaise Pascal à ce sujet :

Toutes choses étant causées et causantes, aidées et aidantes, médiates et immédiates, et toutes s'entretenant par un lien naturel et insensible qui lie les plus éloignées et les plus différentes, je tiens impossible de connaître les parties sans connaître le tout, non plus que de connaître le tout sans connaître particulièrement les parties.

Dans notre champ de spécialité, nous voudrions mettre en relief deux points majeurs soulevés par Joël De Rosnay :

- Éviter l'approche linéaire et séquentielle. Revenir en arrière plusieurs fois mais à des niveaux différents.
- Placer une loi dans son contexte et dans d'autres contextes.

Nous appliquerons l'approche systémique dans notre recherche en concevant un environnement d'apprentissage qui assiste l'étudiant dans son appréhension dans l'ensemble d'un système technologique complexe. Par exemple, dans cet environnement, l'étudiant produira une chaîne complète d'acquisition de données (Figure 4.11) comme élément intégrateur d'apprentissage. Il pourra plus facilement ensuite analyser un problème de façon exhaustive et en saisir globalement toute la complexité. Le système d'expérimentation que nous allons développer devra permettre l'investigation, la manipulation, l'erreur, le retour en arrière et la correction. Notons ici que nous utilisons la technologie comme outil pour faciliter l'apprentissage et comme objet de l'apprentissage.

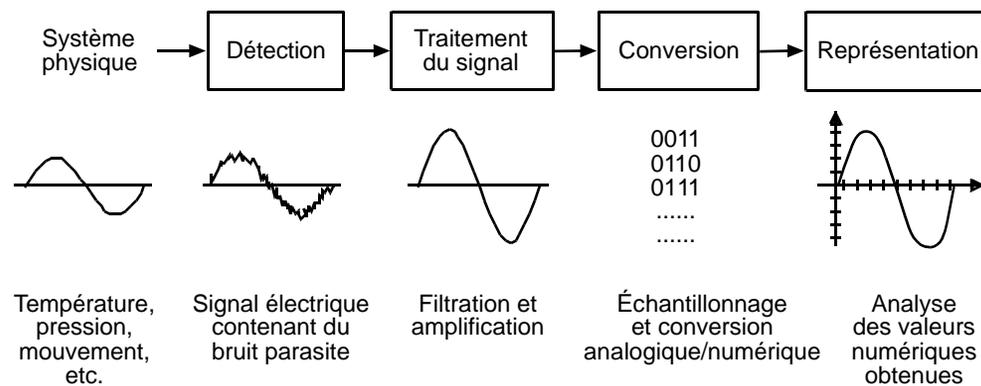


Figure 4.11 – Exemple de processus à analyser

L'élaboration d'une chaîne d'acquisition complète mais simplifiée, permettra de réaliser un travail correspondant à la réalité. Il s'agit d'organiser les savoirs de façon à leur donner du sens. En réalisant un système complet, on apprend à l'étudiant à reconnaître l'importance du découpage en fonction d'un problème complexe pour sa résolution; on lui fait acquérir ainsi une démarche que l'on peut qualifier de démarche d'expert. C'est cette démarche, par exemple, que les informaticiens utilisent pour écrire un programme complexe lorsqu'ils le découpent en sous-programmes et en modules.

Analyser et réaliser un processus d'acquisition de données implique la résolution d'un problème complexe identique à ce qu'on retrouve dans l'industrie lorsqu'on fait appel à des experts. Certains étudiants peuvent trouver des solutions qui ne sont que partiellement adéquates mais qui peuvent avoir beaucoup de sens et qui peuvent être très riches en information. En outre, le fait de réaliser le travail lui-même procure à l'étudiant un sentiment de sécurité et de confiance en soi qui l'encourage à la résolution d'autres problèmes par la suite. Papert (1981) définit ce type d'apprentissage par le terme *syntonie*, c'est-à-dire que les connaissances ne doivent pas être dissociées de la vie réelle, elles doivent avoir du sens. Il faut construire soi-même son propre système et l'environnement d'apprentissage que nous proposons permettra de le faire et de valider des hypothèses rapidement.

CONCLUSION

Le but de l'intégration de l'ordinateur dans l'enseignement n'est pas seulement de montrer comment s'en servir mais aussi de l'utiliser pour faciliter l'acquisition de connaissances fondamentales, de principes, etc. Il s'agit d'un moyen d'appréhender le réel et il faut veiller à

ce que les étudiants développent avant tout leur esprit d'initiative pour la recherche, leur créativité et leur goût pour les sciences et la technologie et qu'ils apprennent à réfléchir seuls et en équipe. Ce sont des objectifs que nous considérons beaucoup plus difficiles à atteindre et bien plus importants que ceux d'en faire simplement des spécialistes de systèmes fermés informatisés.

L'utilisation de l'ordinateur sans projet pédagogique clairement défini peut amener les étudiants à exécuter des programmes sans réfléchir et à travailler dans l'isolement. Il devient extrêmement important, si on veut profiter des avantages que peut apporter l'ordinateur en pédagogie, d'en planifier l'utilisation de façon à pouvoir augmenter la coopération et la communication entre les étudiants. De cette façon, il existerait une certaine réinvention de la réalité et la discussion qui s'ensuivrait jouerait le même rôle que le fait d'enseigner à d'autres un sujet que l'on connaît.

La démarche que nous proposons tient compte du rythme d'apprentissage personnel de chaque étudiant. Elle prend la forme d'un dialogue avec l'ordinateur, l'étudiant peut s'attarder sur certains points ou recommencer certaines étapes en fonction de ses connaissances, de ses intérêts ou de ses capacités de façon à pouvoir maîtriser le sujet. Le travail porterait sur la compréhension et non simplement sur la réalisation d'une expérience afin de se conformer aux exigences des programmes.

Nous faisons l'hypothèse, qu'en maîtrisant des concepts théoriques, qu'en acquérant des compétences dans un domaine spécifique relativement complexe et qu'en développant une démarche d'expert dans ce domaine, l'étudiant serait en mesure de transférer ses capacités de maîtrise de concepts théoriques et d'acquisition de compétences dans d'autres situations. Il développerait ainsi une démarche d'expert pour résoudre des problèmes.

CHAPITRE 5 - LE MODÈLE D'ACTION

ENVIRONNEMENT PROJETÉ

Notre environnement se présentera comme un laboratoire portatif où les instruments (oscilloscope, voltmètre, générateurs de fonction, etc.) seront virtuels, figure 5.1. C'est sur l'écran de l'ordinateur que s'afficheront les données et que se donneront les commandes. On travaillera sur des circuits réels : il ne s'agira pas d'une simulation. Ce système se présentera comme une console de jeux que l'étudiant branchera sur n'importe quel ordinateur, disposant ainsi d'un laboratoire d'électronique personnel avec lequel il pourra concevoir, construire et mettre à l'essai des circuits électroniques. Cet instrument lui permettra de prolonger ses activités d'apprentissage de l'électronique en dehors des heures formelles de cours et de laboratoire, comme il le fait pour ses cours ne comportant pas de laboratoires.

Ordinateur pour la commande et le contrôle des variables d'entrée et l'affichage des variables d'entrée et de sortie

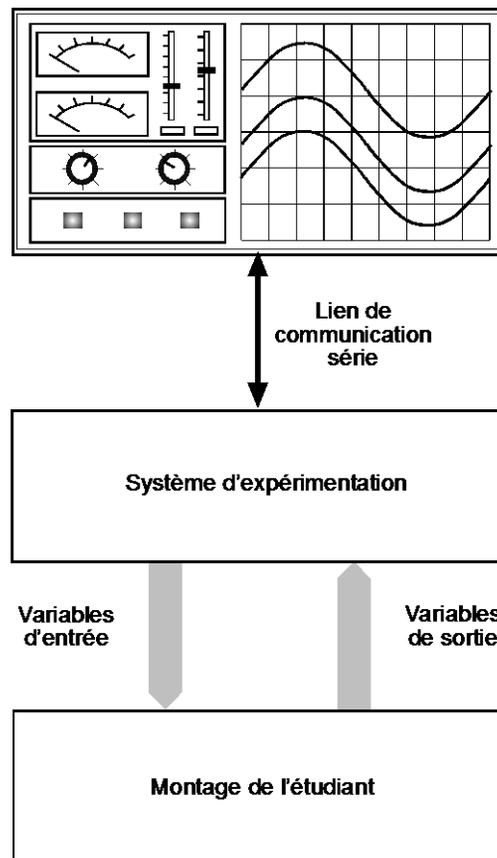


Figure 5.1 – Schéma de fonctionnement du système projeté

FONCTIONS DE NOTRE ENVIRONNEMENT

Une interface graphique, donnera en permanence, en temps réel, les valeurs des signaux commandés et des signaux résultants sous forme de courbes et sous forme numérique de façon à permettre une vision globale. Ici les ordinateurs, que les étudiants possèdent déjà, serviront à visualiser, contrôler et analyser des phénomènes physiques et des systèmes réels qu'ils devront construire. Ils pourront également imprimer les résultats obtenus. La figure 5.2 montre les fonctions de notre environnement. On commandera les variables directement à l'écran avec la souris.

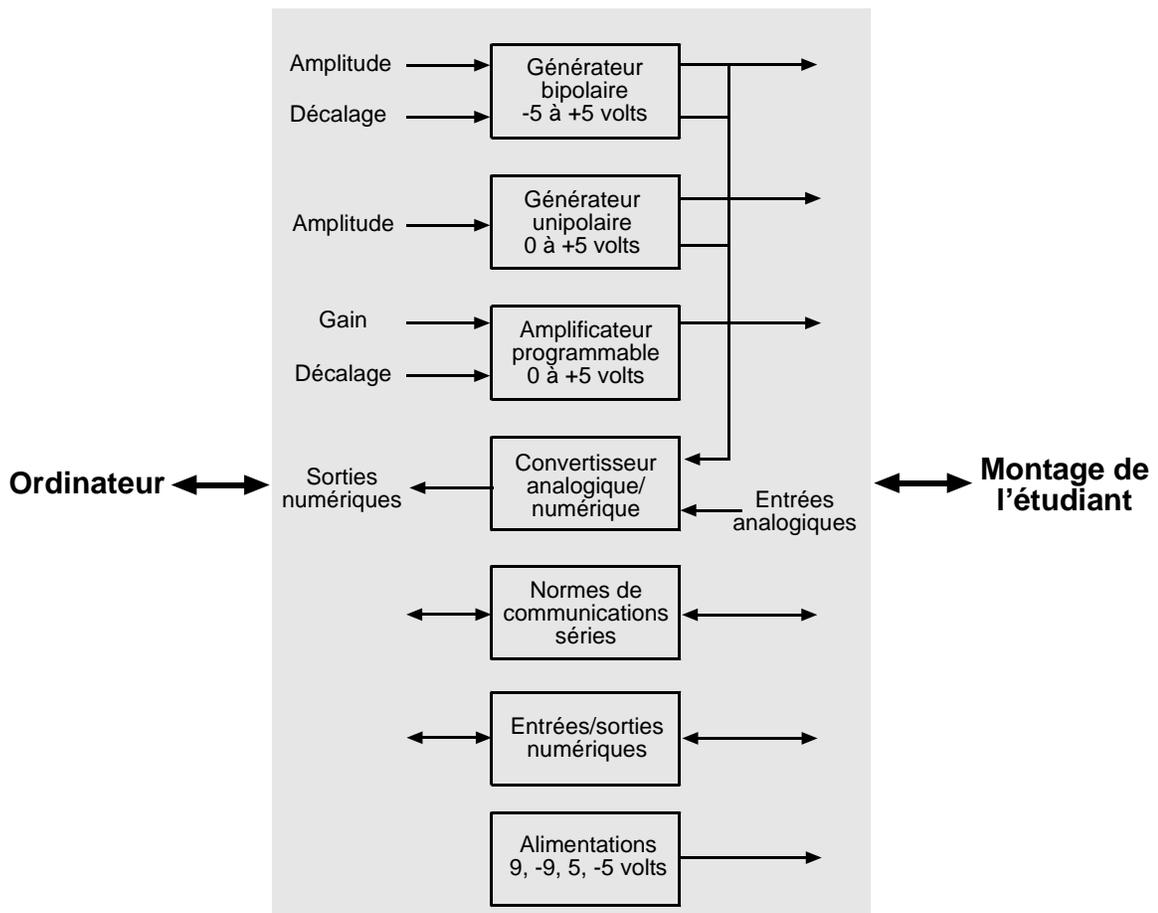


Fig. 5.2 – Fonctions du système projeté

L'originalité de cet environnement sera d'être entièrement programmable, compact et d'offrir des situations d'expérimentation contextualisées et modifiables. Cet outil comprendra des

générateurs de fonctions, un amplificateur programmable et des circuits de conversion de signaux analogiques en signaux numériques pour un affichage en mode graphique. L'étudiant pourra commander directement, à partir de l'interface graphique, différentes formes de signaux en amplitude, les décaler et visualiser en temps réel les valeurs des commandes transmises et les signaux résultants. On pourra programmer des rampes, en variant l'amplitude du signal de sortie d'un générateur, pour afficher automatiquement la fonction de transfert du circuit à l'étude.

Une innovation technologique supplémentaire importante du point de vue pédagogique consistera à développer un amplificateur à décalage programmable pour analyser des signaux de faibles amplitudes et modéliser physiquement des circuits. On pourra, par exemple, modéliser un circuit d'amplification et de traitement de signal. Cet ajout à notre système sera important dans l'analyse préliminaire du développement d'un circuit et pour la formulation d'hypothèses.

L'INSTRUMENTATION VIRTUELLE

Tout récemment est apparue une nouvelle façon d'utiliser les capacités graphiques de l'ordinateur : l'instrumentation virtuelle. L'instrumentation virtuelle utilise intensivement la représentation graphique. Au lieu d'instruments de mesure, on utilise un ordinateur pour modifier et contrôler les paramètres d'une expérimentation, en traiter les données et en afficher les résultats. Cet aspect apporte une souplesse de fonctionnement considérable, un niveau d'automatisation plus élevé qu'avec des instruments conventionnels et ce, à des coûts moindres. L'instrumentation virtuelle se distingue d'une simulation par le fait qu'en utilisant des ordinateurs et des logiciels d'analyses élaborés, on réalise des expériences dans des conditions matérielles réelles.

On peut subdiviser un instrument virtuel en quatre parties : un ordinateur personnel, un logiciel spécifique, une interface de communication normalisée et un équipement matériel pour l'acquisition de données ou le contrôle d'appareils.

On procède de la façon suivante :

1. On transforme les variables physiques d'un système en signaux électriques que l'on amplifie et filtre avant de les convertir en données numériques pour le traitement et l'analyse avec un

ordinateur. Pour le contrôle, on procède de façon inverse en transformant en signaux électriques les données en provenance de l'ordinateur.

2. On utilise un lien de communication matériel et un logiciel standardisé pour recevoir ou transmettre les données.
3. On filtre et analyse les données pour en extraire l'information pertinente et pour enregistrer les résultats au besoin.
4. Les données recueillies et analysées sont présentées de façon graphique et numérique. La présentation est modifiable à l'aide de boutons à l'écran pour effectuer à la fois l'acquisition des données et le contrôle du système physique.

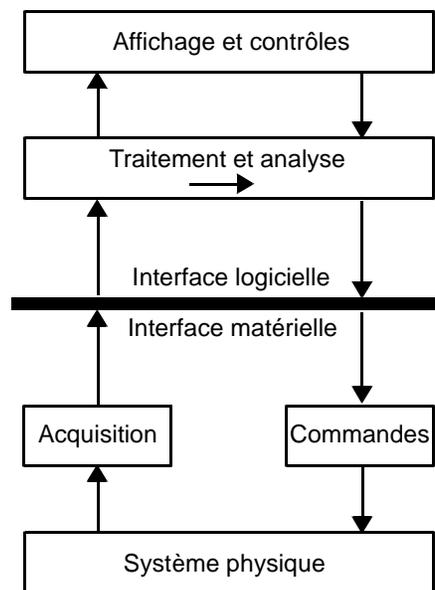


Figure 5.3 – Diagramme de fonctionnement général d'un instrument virtuel.

AVANTAGES PAR RAPPORT À UN SYSTÈME CONVENTIONNEL

1. Une représentation graphique élaborée et un affichage simple et facile à manipuler.
2. Une transparence complète avec le matériel. La communication avec le matériel est standardisée.

3. Une souplesse de manipulation et une forte capacité d'analyse des éléments du système physique.
4. Une grande polyvalence à un coût très bas.
5. Une très grande modularité.
6. Une intégration naturelle au travail en réseau et à distance.

L'instrumentation virtuelle va bien au-delà de l'utilisation d'une interface graphique, elle constitue un changement radical dans la conception des systèmes de mesure et de contrôle, puisqu'on peut créer et modifier des instruments en fonction d'une situation et surtout, profiter de toute la capacité des ordinateurs pour fournir des représentations diversifiées et multiples de phénomènes physiques.

Parce qu'on pourra hiérarchiser la structure de programmation d'un instrument virtuel sous forme modulaire, l'étudiant pourra analyser rapidement un système complet et saisir les interactions des différents composants électroniques reliés entre eux. Contrairement à ce qu'ils font avec un système traditionnel, les étudiants pourront effectuer des simulations, des acquisitions de données en classe, des analyses de données ultérieures et préparer des expériences et les réaliser en dehors de la salle de cours. On pourra arrêter des expériences en cours et les poursuivre à un autre moment en fonction des besoins et on pourra mener plusieurs expériences différentes concurremment. Les outils technologiques deviennent de plus en plus complexes et de plus en plus performants et il est important d'exploiter leur complexité et leur performance.

DIFFÉRENCE AVEC L'EXAO

Il ne s'agit pas ici de sciences expérimentales mais plutôt de l'étude et de la maîtrise de la technologie. Par rapport à l'EXAO (expérimentation assistée par ordinateur), qui sert surtout d'outil pour l'investigation scientifique (Nonnon, 1990), notre système d'instrumentation virtuelle sera l'objet même d'apprentissage. En EXAO, on analyse le comportement d'un phénomène physique en temps réel tandis qu'en instrumentation virtuelle, on fait varier les paramètres d'un circuit ou d'un système pour en étudier le comportement et les caractéristiques également en temps réel.

Parce que les étudiants pourront obtenir de cette façon des résultats efficaces rapidement, ils auront un sentiment plus grand de compréhension et d'appropriation des outils technologiques.

MISE EN SITUATION

En tenant compte des considérations théoriques développées précédemment, on présentera d'abord globalement le processus à analyser et ensuite, on procèdera à sa mise en œuvre (Figure 5.4). Cette présentation servira à donner du sens aux connaissances que l'étudiant doit acquérir afin de pouvoir les intégrer et créer des liens avec la réalité.

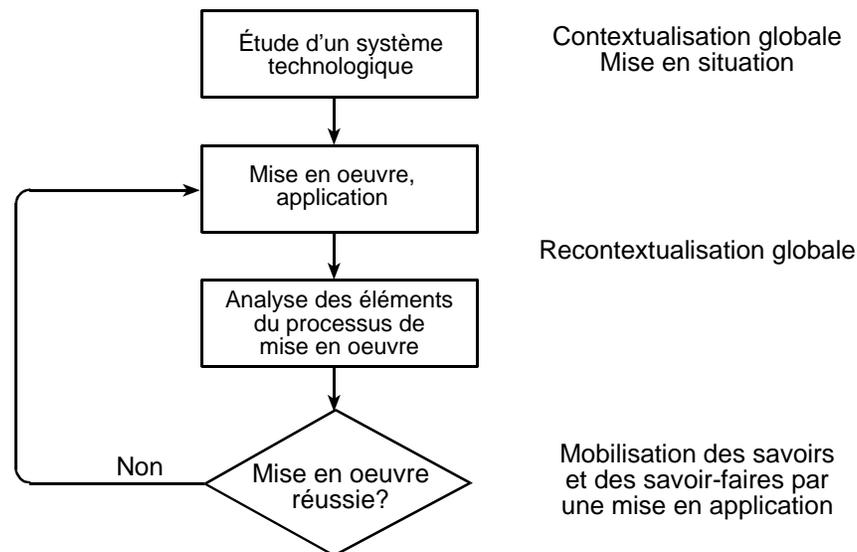


Figure 5.4 – Mise en situation

On créera des expériences dont la mise au point sera faite par les étudiants. L'étudiant devra alors ajuster les paramètres pour obtenir des données facilement analysables et cohérentes. Pour intégrer ses connaissances, il pourra répéter l'expérimentation en y ajoutant des nouveaux éléments à chaque fois.

LES PHÉNOMÈNES ET LES CONCEPTS À ÉTUDIER

Compte tenu des difficultés qu'éprouvent les étudiants à réinvestir leurs connaissances, nous allons nous concentrer sur l'appropriation des connaissances des principes fondamentaux de l'électronique. Nous allons en illustrer quelques-uns : l'amplification, les fonctions de

transfert, le théorème de superposition, le théorème de Thévenin la rectification et le traitement de signal. Nous illustrerons aussi les caractéristiques pédagogiques du système que nous voulons développer en présentant quelques situations d'expérimentation. Toutes ces expériences seront réalisées avec des circuits réels. Les résultats pourront être comparés à des simulations réalisées avec un tableur.

▪ CIRCUIT ADDITIONNEUR

La figure 5.5 montre une application que nous pourrions réaliser avec notre environnement. C'est un circuit additionneur que devra réaliser un étudiant et le système d'expérimentation permettra de transmettre au circuit deux variables d'entrée, que l'on peut voir sur les figures 5.5 et 5.6. L'étudiant contrôlera l'amplitude des variables de générateurs de fonctions, directement à l'écran de l'ordinateur, en modifiant la position de curseurs avec la souris. On affichera en même temps ces signaux et la sortie du circuit (Figure 5.7). La courbe en noir représente la somme des deux variables d'entrée. La première est apparaît en jaune et la deuxième en rouge. On aura une visualisation instantanée d'une application mathématique difficile à intégrer par les étudiants débutants. En variant l'amplitude et la forme d'onde des variables d'entrée, on pourra également tester les limites du circuit.

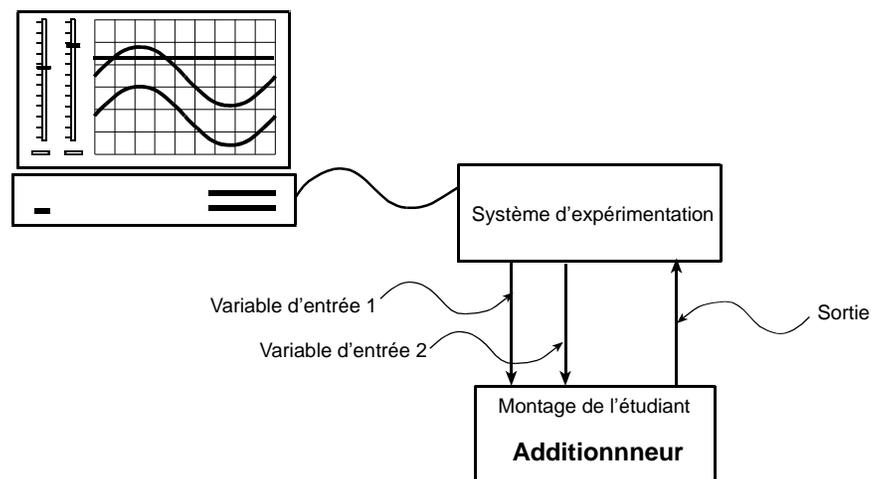


Figure 5.5 – Application avec un circuit additionneur

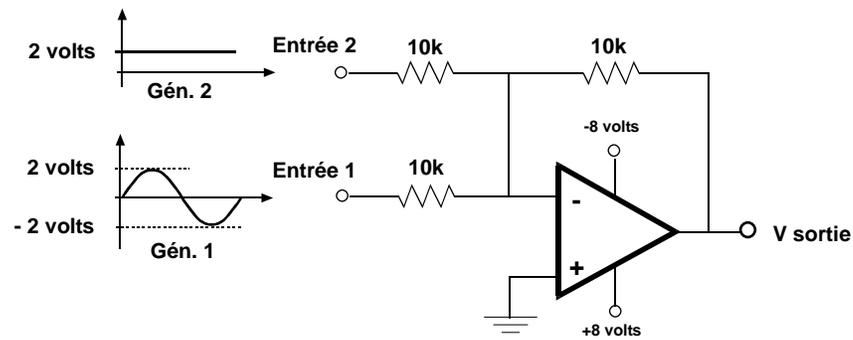


Figure 5.6 – Schéma électrique du circuit additionneur

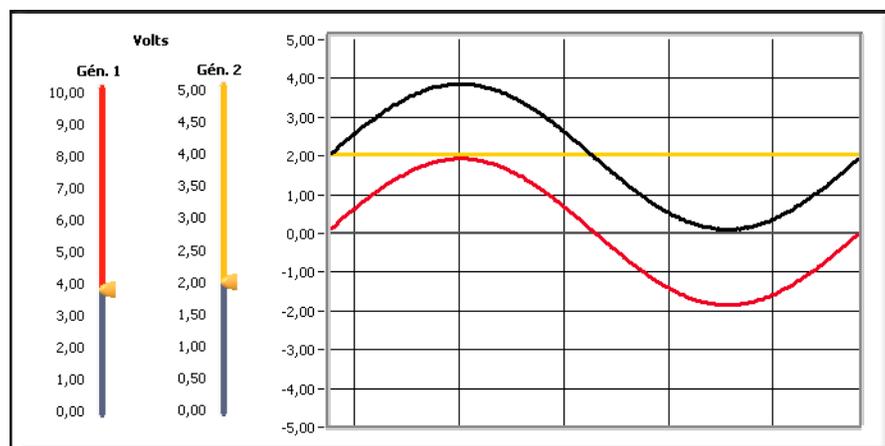


Figure 5.7 – La courbe en noir représente la somme des deux autres

▪ LES FONCTIONS DE TRANSFERT

Dans l'analyse de tout système, un des éléments les plus importants est l'analyse de la fonction de transfert. On représente cette fonction graphiquement dans le but de visualiser dans son ensemble le comportement final d'un circuit. Dans une expérimentation traditionnelle avec des étudiants débutants, on leur demande de tracer la courbe de sortie en fonction de l'entrée que l'on fait varier point par point linéairement d'une valeur minimale à une valeur maximale. On peut également le faire automatiquement avec des instruments de laboratoire. Au plan pédagogique, notre outil sera plus performant que les appareils de laboratoire courants, puisqu'il permettra en plus d'analyser automatiquement la fonction de transfert et de conserver les graphiques des résultats.

Notre système générera automatiquement un signal linéaire de -5 volts à $+5$ volts que l'on utilisera à l'entrée des circuits à analyser. Cette rampe, figure 5.8, permettra de représenter

immédiatement et automatiquement la fonction de transfert d'un circuit. On transmettra la rampe point par point et le résultat à la sortie de chacun des points sera immédiatement lu et enregistré pour l'affichage du résultat. De cette façon, on obtiendra une synchronisation parfaite entre le signal d'entrée et le signal de sortie. Cette technique servira pour chacune des différentes fonctions de ce système.

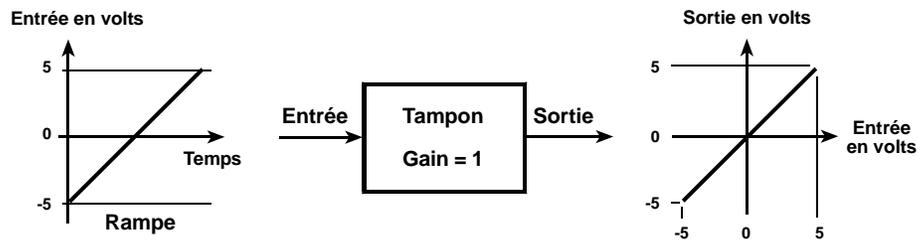


Figure 5.8 – Amplificateur à gain unitaire avec une rampe à l'entrée

Une droite parfaite (Figure 5.9) atteste de la bonne qualité du circuit puisqu'il qu'il reproduit fidèlement le signal d'entrée. Le fait que cette sortie soit de même amplitude que la rampe, avec une pente identique à celle-ci, montre que le gain est unitaire et positif.

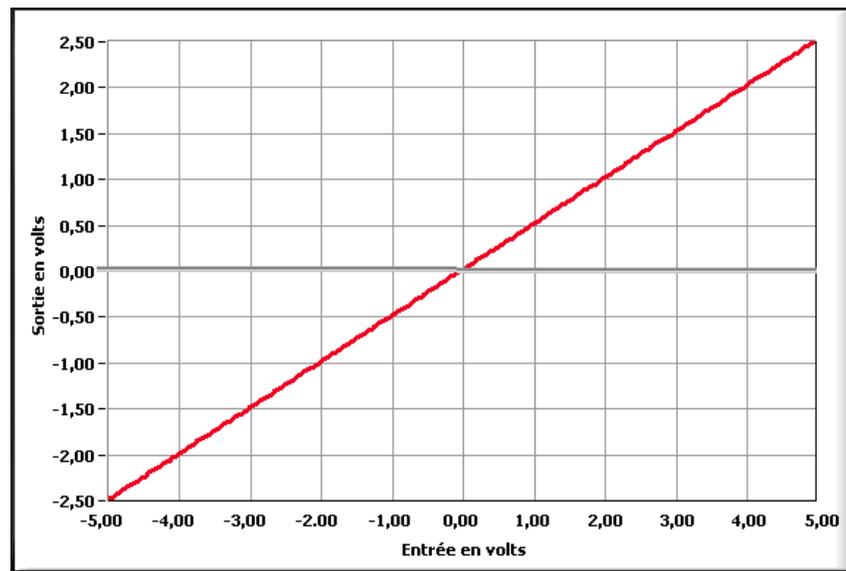


Figure 5.9 – Fonction de transfert du circuit de la figure 5.7

Le schéma de la figure 5.10 expose un deuxième exemple d'étude des fonctions de transfert. On a un amplificateur inverseur dont le gain est de deux et le résultat obtenu avec notre système est illustré à la figure 5.11. Lorsque l'on analyse la fonction de transfert de ce circuit,

on peut facilement observer que le signal de sortie atteint une valeur positive maximale de +5 volts sur l'axe des ordonnées lorsque la valeur du signal d'entrée est $-2,5$ volts sur l'axe des abscisses et une sortie négative minimale de -5 volts lorsque l'entrée est $+2,5$ volts. La pente du signal de sortie est négative ce qui indique bien un gain égal à -2 et le fait que la droite soit parfaite montre que le circuit réalise l'amplification fidèlement, c'est-à-dire sans distorsion du signal.

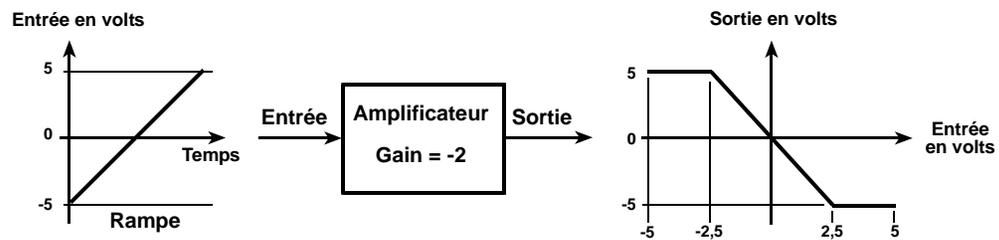


Figure 5.10 – Amplificateur inverseur avec une rampe à l'entrée

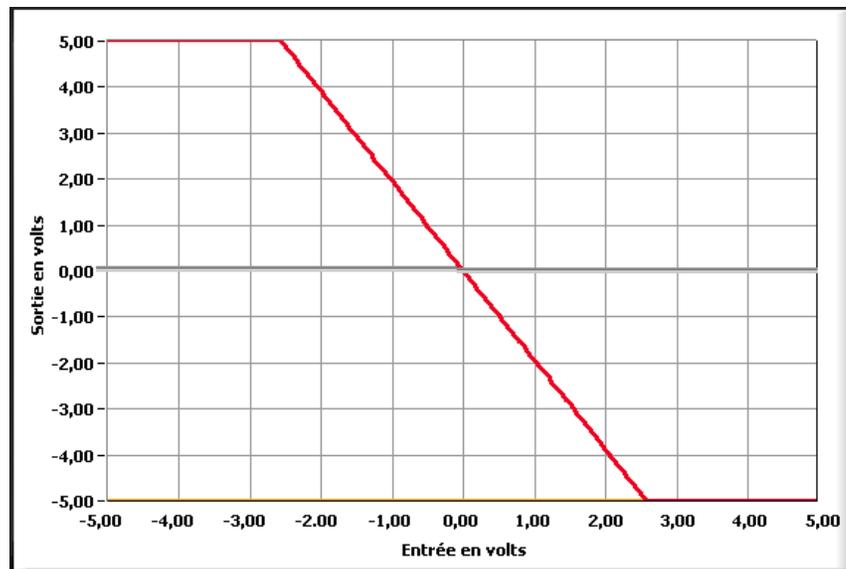


Figure 5.11 – Fonction de transfert du circuit de la figure 5.10

▪ LES FONCTIONS DE TRANSFERT ET LES LIENS MATHÉMATIQUES

Les fonctions de transfert permettent d'intégrer des notions fondamentales de mathématiques. La courbe de la figure 5.9 représente une droite de la forme $y = mx + b$, où $m = 1$ et b est égal à zéro et celle de la figure 5.11 est une droite de la forme $y = -mx + b$, où $m = 2$ et b est égal à zéro. Ces illustrations donnent à l'étudiant l'occasion de faire un lien entre ses connaissances mathématiques et une application technologique.

Nous proposerons ensuite aux étudiants de concevoir un circuit à partir d'une fonction et nous appliquerons ainsi directement la notion de recontextualisation comme nous l'avons décrite dans le chapitre sur les considérations théoriques.

La fonction de transfert et les mesures pourront être enregistrées en mémoire d'un ordinateur pour être traitées ultérieurement avec un tableur, comparées à d'autres mesures ou encore, imprimées ou placées directement dans un rapport.

▪ LE TRAITEMENT DE SIGNAL ET LES AMPLIFICATEURS OPÉRATIONNELS

En électronique, on utilise des amplificateurs opérationnels de façon universelle. Ils servent entre autres à modifier et à amplifier des signaux. Ce sont des circuits dotés de caractéristiques complexes décrites principalement par des graphiques dans des fiches techniques fournies par les manufacturiers. L'environnement que nous proposons sera particulièrement pertinent puisqu'il produira les principaux graphiques d'analyse de ces circuits pour le bénéfice des étudiants.

Le montage de la figure 5.12 présente une application d'un amplificateur opérationnel à alimentation bipolaire relié en mode inverseur dans un circuit d'amplification dont le gain est de deux. Le signal de sortie est inversé et il est le double de celui de l'entrée.

Dans une expérience habituelle de laboratoire, il faut utiliser un bloc d'alimentation, un générateur de fonctions pour le signal d'entrée et un oscilloscope pour la lecture du signal d'entrée et du signal de sortie. Cet équipement, fixe, est coûteux. Aussi, lorsque le temps alloué à l'expérience est écoulé, il faut démonter le tout pour laisser la place à d'autres utilisateurs.

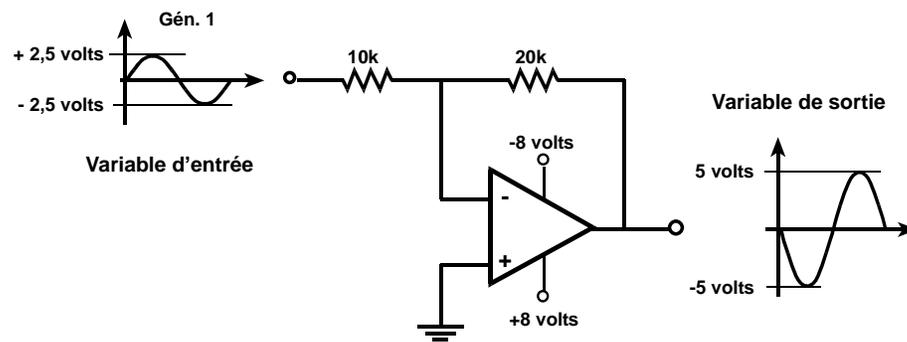


Figure 5.12 – Amplificateur en mode inverseur avec un gain de deux

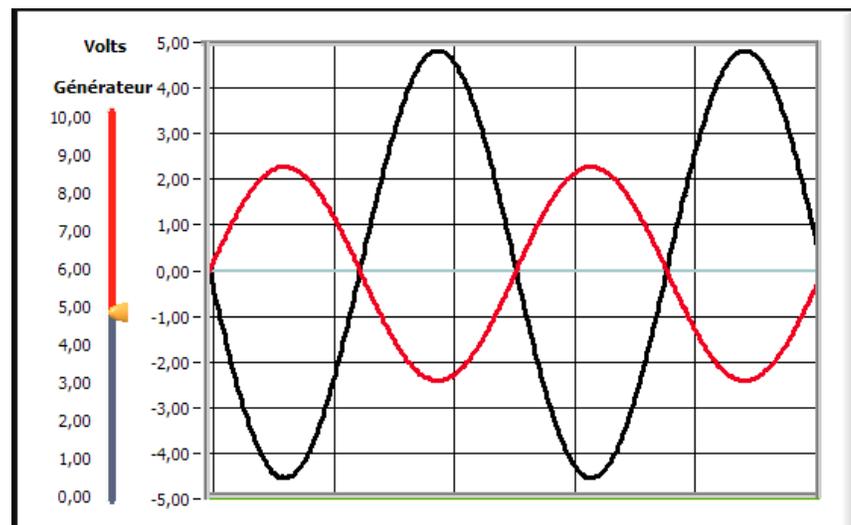


Figure 5.13 – Affichage prévu des signaux d'entrée et de sortie

Notre système possédera toutes les fonctions nécessaires à la réalisation de cet exercice. Toutes les mesures seront affichées au fur et à mesure du déroulement d'une expérimentation. Sur la figure 5.13, on peut voir le graphique du signal d'entrée et celui du signal de sortie que l'on souhaite obtenir. La courbe en rouge représente la variable d'entrée contrôlée par l'étudiant et celle en noir, le signal de sortie. On peut observer facilement l'inversion et l'amplification du signal. La fonction de transfert de ce circuit sera identique à celle que l'on observe à la figure 5.11.

▪ LE THÉORÈME DE SUPERPOSITION

La compréhension de certains théorèmes fondamentaux en électronique se fait difficilement si l'on n'analyse pas de différents points de vue des applications pertinentes. Nous voulons faire réaliser aux étudiants des applications avec un système illustrant dynamiquement l'importance de ces principes.

Entre autres, le théorème de superposition est d'une importance capitale pour le calcul et la réalisation de circuits. Nous espérons, avec l'exemple suivant, leur fournir un moyen d'intégrer l'importance de ce principe. La figure 5.14 montre le signal d'entrée et le signal de sortie dans le cas de l'étude d'un amplificateur opérationnel rail à rail à alimentation unipolaire monté de façon à obtenir un gain unitaire en mode inverseur. Comme ces amplificateurs n'ont qu'une alimentation positive, on ne peut pas avoir de tension de sortie négative. Il faut en tenir compte en utilisant des configurations conformes à cette restriction. Le théorème de superposition dit que le résultat final de ce circuit est la somme des sources utilisées à l'entrée.

$$V \text{ sortie} = -V \text{ gén. 1} + 2 V \text{ gén. 2}$$

La deuxième partie de l'équation représente le signal de l'entrée positive. Cette entrée est placée à zéro, la nouvelle équation est donc la suivante :

$$V \text{ sortie} = -V \text{ gén. 1}$$

Cette dernière équation indique que le signal de sortie sera l'inverse du signal d'entrée. Comme ce type de circuit ne peut fournir de sortie négative, la partie négative inversée seulement sera présente à la sortie.

La figure 5.15 montre avec l'interface graphique du prototype, le résultat attendu, du signal de sortie en fonction du signal d'entrée lorsqu'on place une valeur nulle à l'entrée positive. La courbe en jaune représente le niveau du signal de l'entrée positive, celle en rouge représente le signal d'entrée et celle en noir, le signal résultant. On constate, à la sortie, que la partie négative seulement du signal d'entrée est amplifiée et qu'elle est inversée. La partie positive est éliminée.

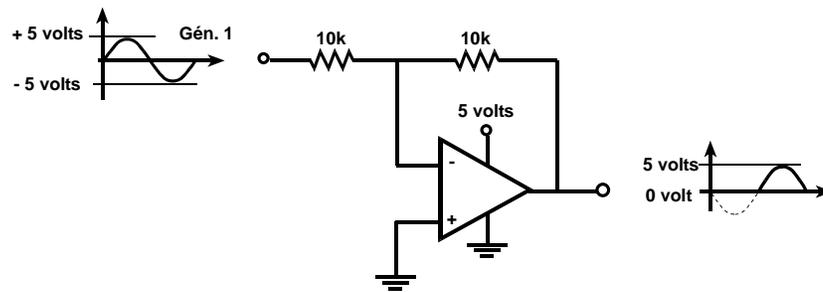


Figure 5.14 – Amplificateur à alimentation unipolaire en mode inverseur

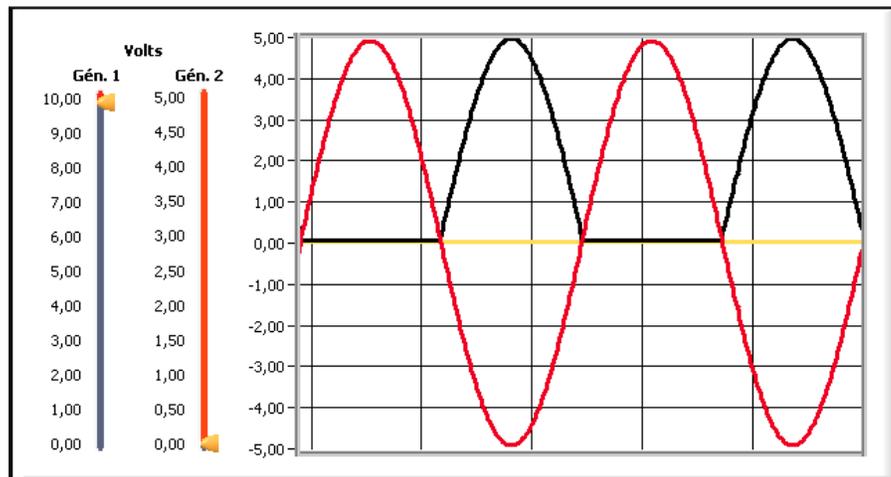


Figure 5.15 – Représentation avec l'interface graphique du prototype

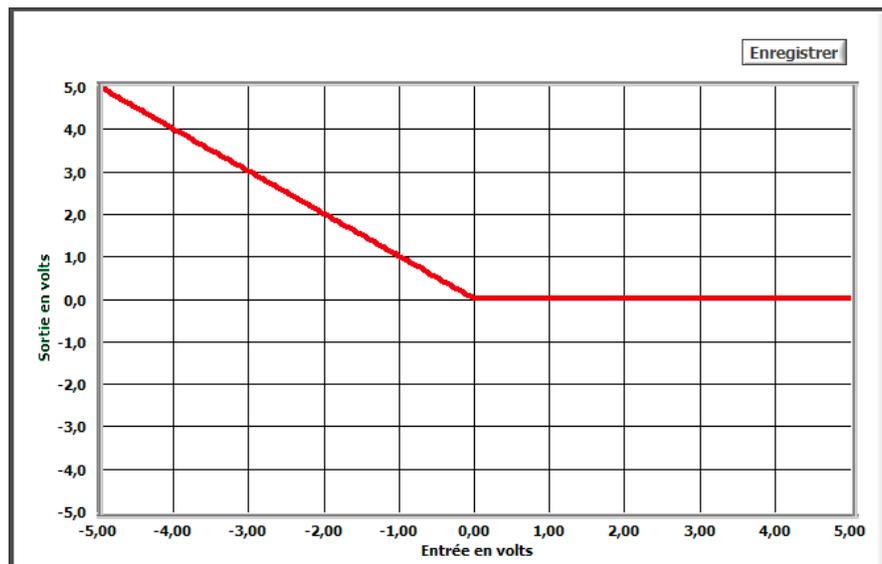


Figure 5.16 – Fonction de transfert du circuit précédent

La figure précédente montre la fonction de transfert du circuit de la figure 5.14. C'est une droite de la forme $y = -mx + b$, où le décalage représenté par b est égal à zéro. On constate également que le gain est négatif et unitaire.

Pour obtenir un signal de sortie reproduisant fidèlement le signal d'entrée, on ajoute un signal à l'entrée positive de l'amplificateur. En se reportant au théorème de superposition, on obtiendra comme résultat final la somme des sources utilisées à l'entrée. La figure 5.17 présente le nouveau circuit auquel on a ajouté un signal variable à l'entrée positive, laquelle a ici un gain de deux.

$$+V \text{ sortie} = -V \text{ gén. 1} + 2 V \text{ gén. 2}$$

Si la partie négative du signal d'entrée a une amplitude de +2,5 volts, il faut lui ajouter la moitié de cette valeur puisque le gain est de 2. La partie à ajouter est alors de 1,25 volt.

Lorsque le signal de l'entrée positive atteint la moitié de la valeur négative du signal de l'entrée négative, on obtient un signal non écrêté à la sortie : on peut amplifier un signal bipolaire sans perte avec un amplificateur à alimentation unipolaire. Ces nouveaux circuits sont très utilisés aujourd'hui avec les instruments portables alimentés par piles. Cette expérimentation s'effectuera très facilement au moyen de l'environnement proposé car tous les paramètres seront modifiables en temps réel à partir de l'écran d'un ordinateur. La figure 5.17 laisse voir la modification apportée au montage précédent et les figures 5.18 et 5.20 montrent le résultat obtenu lorsque l'on modifie le signal de décalage.

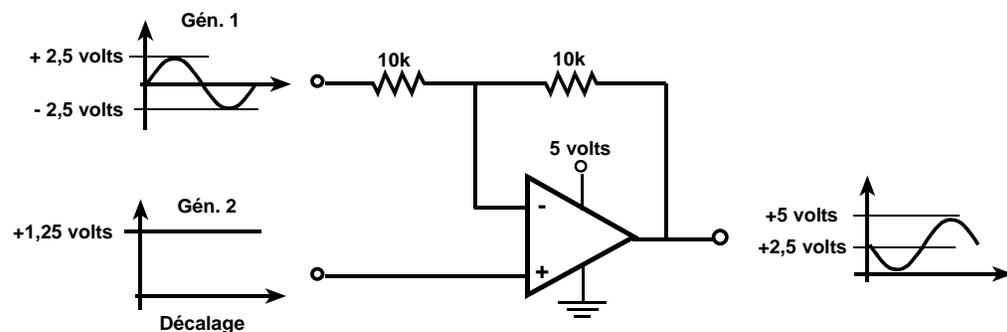


Figure 5.17 – Amplificateur rail à rail de gain -1 avec un signal de décalage

La courbe en jaune représente le niveau du signal de décalage utilisé, celle en rouge, le signal d'entrée et celle en noir, le signal de sortie. En modifiant le signal de décalage avec le curseur

du deuxième générateur de fonctions, on peut observer en continu le résultat obtenu. On constate que le signal de sortie est complet lorsque le signal de décalage correspond à la moitié de la partie négative du signal d'entrée produit par le premier générateur, ce qui montre de façon pratique le théorème de superposition. La représentation graphique illustre efficacement ce théorème.

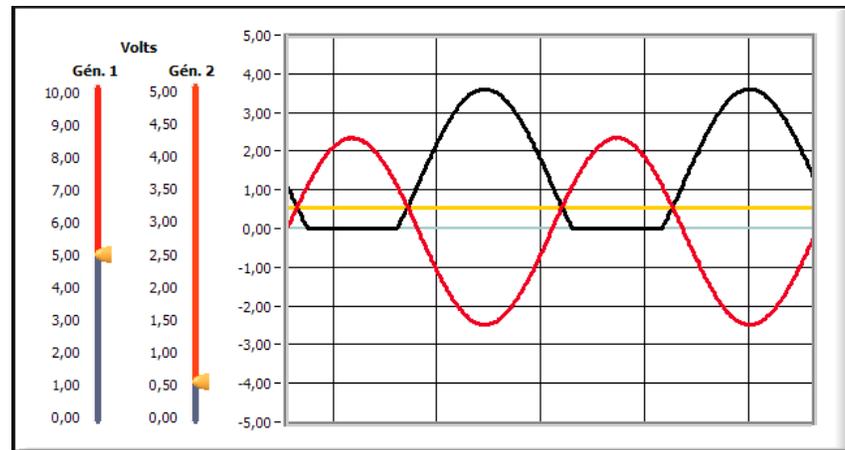


Figure 5.18 – Le signal de décalage est de 0,5 volt

On peut voir la fonction de transfert sur la figure ci-dessous. La droite est de la forme $y = -mx + b$ comme précédemment et le décalage représenté par b est égal à 1. Cette valeur correspond au signal de 0,5 volt appliqué à l'entrée de décalage, multiplié par le gain de deux de l'amplificateur, pour cette entrée.

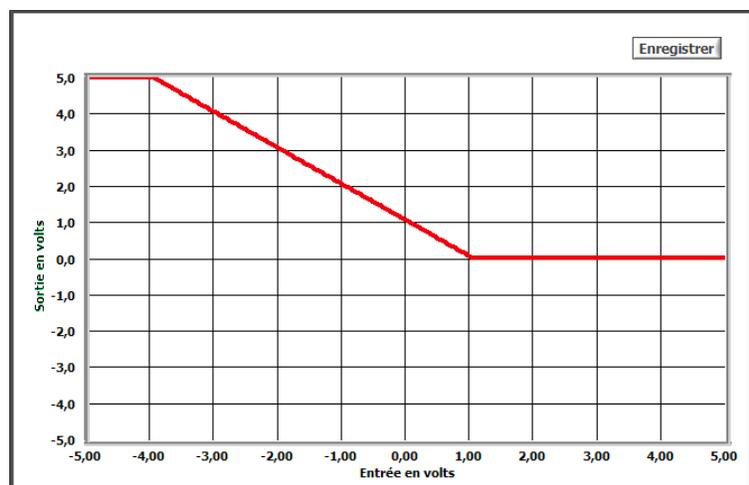


Figure 5.19 – Fonction de transfert avec un décalage de un volt à l'entrée

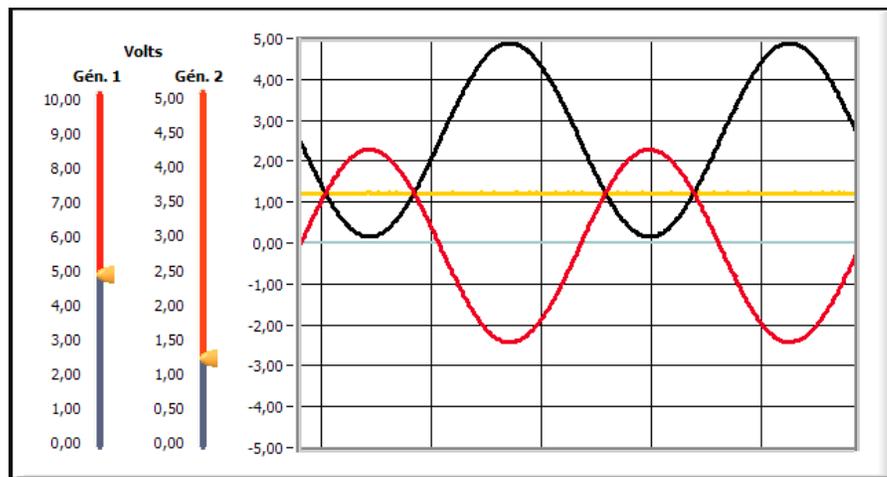


Figure 5.20 – Reproduction fidèle du signal d’entrée avec un signal de décalage de 1,25 volt

Lorsque le signal de décalage est égal à 1,25 volt à l’entrée, on a à la sortie un décalage de 2,5 volts dû au gain de deux. Comme le signal d’entrée varie de $-2,5$ à $+2,5$ volts avec un gain de un, la somme des deux entrées donnera un signal complet à la sortie variant de 0 à +5 volts. On peut voir la fonction de transfert, $y = -mx + b$, sur la figure ci-dessous, où le décalage représenté par b est égal à 2,5.

On a avec cette expérience une démonstration pratique du théorème de superposition.

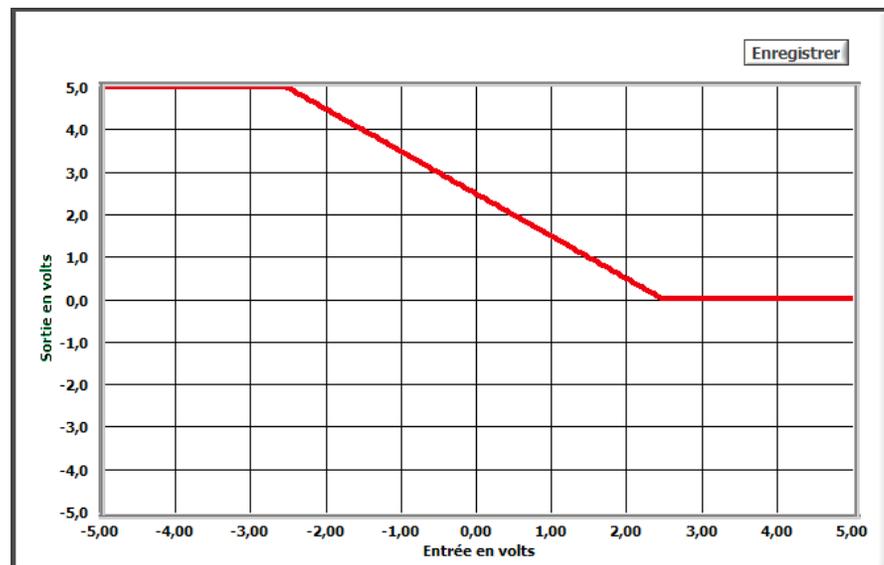


Figure 5.21 – Fonction de transfert avec un décalage de 2,5 volts à la sortie

▪ LE THÉORÈME DE THÉVENIN

Nous pourrions également illustrer d'autres théorèmes comme celui de Thévenin. Ce théorème, difficile à expliquer avec du matériel conventionnel, est d'une importance fondamentale en électronique. Par exemple, si l'on doit relier deux modules, on doit tenir compte du couplage des impédances. Même si séparément, chacun des étages d'un amplificateur fonctionne correctement, il faut tenir compte des effets d'un étage sur le suivant, situation que les étudiants appréhendent difficilement. Dans notre environnement, nous pourrions visualiser directement la fonction de transfert et constater sur-le-champ les effets d'un mauvais calcul ou d'un mauvais couplage.

Un exemple d'utilisation du matériel proposé apparaît à la figure 5.22. Le système permettra de faire varier automatiquement la tension de deux sources en temps réel. On peut voir directement les résultats à la figure 5.23. La courbe en rouge représente la fonction de transfert du circuit possédant un amplificateur de couplage (Figure 5.22, circuit 2). On a une fonction linéaire indiquant la bonne qualité du couplage. La courbe en noir représente la fonction de transfert du circuit couplé directement à la charge (Figure 5.22, circuit 1). Cette dernière n'est pas linéaire, elle indique que le couplage est incorrect. Nous pouvons ainsi montrer de façon très visuelle le théorème de Thévenin et, dans cet exemple, l'importance d'un bon couplage.

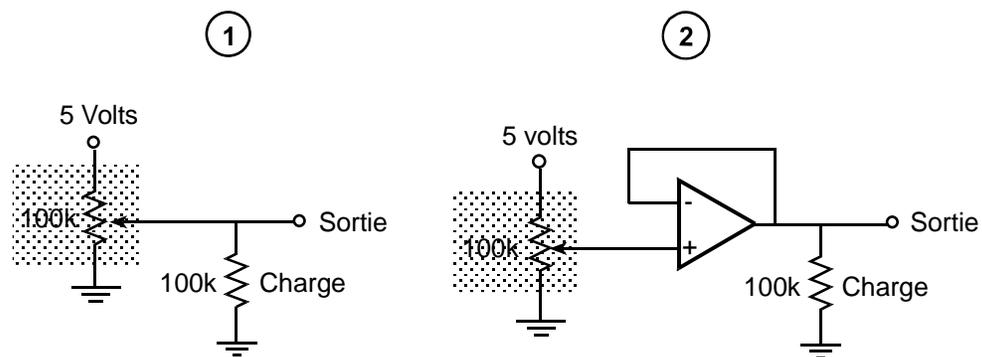


Figure 5.22 – Le circuit 2 est indépendant de la source



Figure 5.23 – La courbe en rouge illustre le résultat d'un bon couplage

- **UTILISATION DE L'AMPLIFICATEUR À DÉCALAGE PROGRAMMABLE**

Nous allons décrire l'amplificateur à décalage programmable en le comparant à un zoom informatique avant d'effectuer la modélisation d'un circuit.

- **ÉTUDE D'UN SIGNAL DE FAIBLE AMPLITUDE**

On encode un signal analogique en valeurs numériques au moyen d'un convertisseur analogique/numérique. Ce type de circuit possède une résolution fixe par échelon, peu importe l'amplitude du signal à convertir. Si l'on convertit un signal très faible, on aura très peu d'échelons pour le représenter et un zoom sur le graphique obtenu n'améliorera pas sa représentation puisque l'information recherchée n'est pas contenue dans le signal converti. La figure 5.25 illustre un zoom informatique du signal de la figure 5.24.

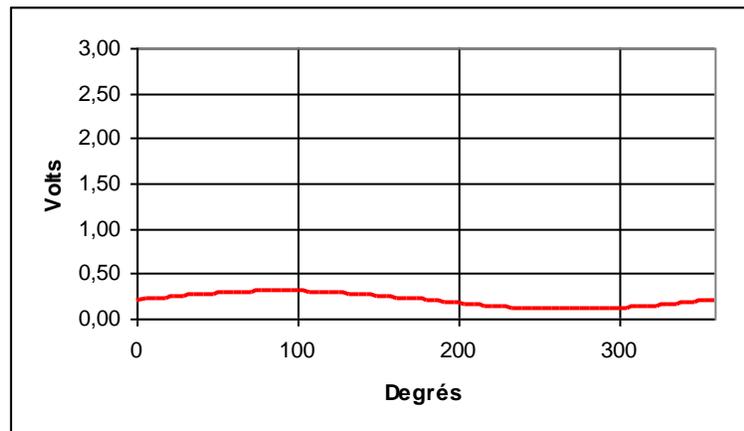


Figure 5.24 – Signal original

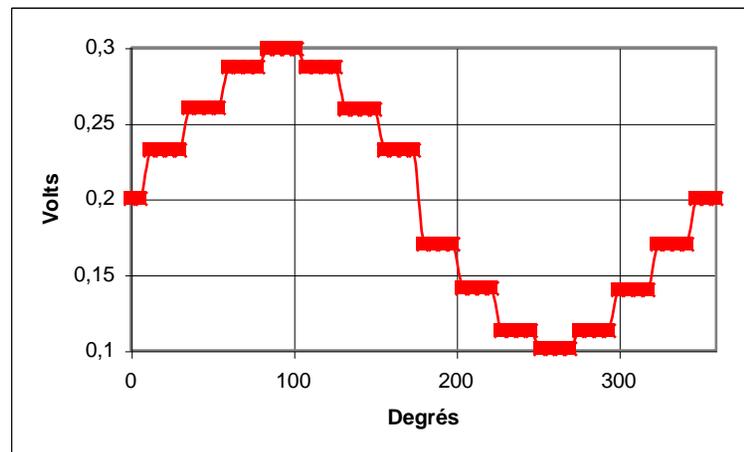


Figure 5.25 – Zoom informatique du signal de la figure précédente

Par contre, si on amplifie le signal avant de le convertir, on conservera le maximum d'échelons que possède le convertisseur. On doit d'abord enlever la composante continue du signal avant de l'amplifier. À la figure 5.27, on peut observer la très grande définition du signal résultant de l'utilisation d'un amplificateur à décalage programmable. On a soustrait la composante continue du signal original et on a amplifié le résultat par un gain de dix. En plus de fournir une précision élevée, ce circuit permet de réaliser une grande variété d'expériences car il offre la possibilité de voir et d'analyser des irrégularités infimes dans le comportement d'un circuit.

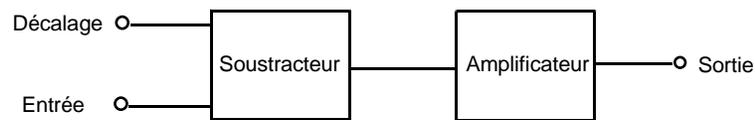


Figure 5.26 – Schéma de principe de l'amplificateur programmable

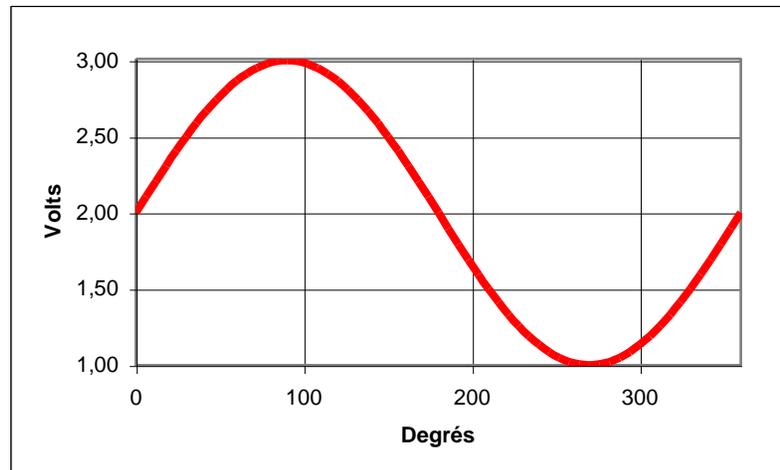


Figure 5.27 – Zoom électronique du signal précédent avec un gain de dix

▪ LA MODÉLISATION PHYSIQUE D'UN CIRCUIT

La figure 5.28 représente un système simplifié de traitement de signal. En utilisant un générateur de fonctions et l'amplificateur à décalage programmable pour simuler un capteur, on obtiendra un résultat identique à celui que l'on recherche. La figure 5.29 montre la fonction de transfert de ce circuit si le gain de l'amplificateur est de 50 et la plage choisie du capteur à analyser est 0,2 à 0,3 volt. Les échelles de chacun des axes s'ajusteront automatiquement en fonction des valeurs de la plage commandée.

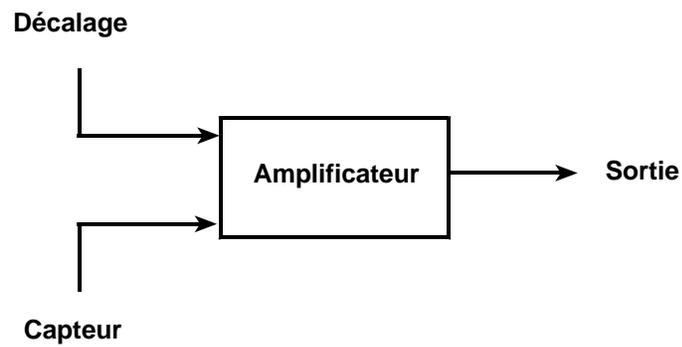


Figure 5.28 – Schéma simplifié d'un circuit d'acquisition

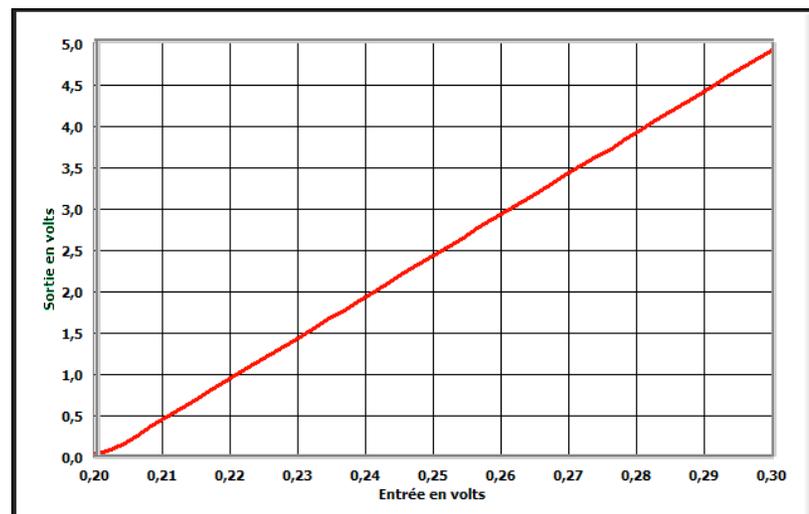


Figure 5.29 – Fonction de transfert du système d'acquisition projeté

CONCLUSION

Nous n'avons présenté ici que quelques exemples de phénomènes. Comme le système sera programmable, il sera générique et devra permettre de varier presque à l'infini des expérimentations ou d'analyser plusieurs aspects d'une même expérimentation. Dans le domaine de la technologie, ce système couplé à un ordinateur aura l'avantage d'utiliser un environnement déjà familier aux étudiants.

Parce que cet outil permettra d'obtenir immédiatement et en temps réel le résultat d'une expérience et la vérification rapide d'une hypothèse, il devrait en résulter un gain de motivation. C'est une des conditions qui font qu'il existe des mordus de la programmation, en particulier, chez les jeunes. Le goût pour la découverte est mis à profit et on valorise l'approche par essai et erreur. La rapidité de la mise en œuvre d'une expérience permettra à l'étudiant d'évoluer rapidement en créant des liens afin de mieux comprendre les phénomènes à étudier et de bâtir sa compétence.

Sur le plan pédagogique, une telle démarche apportera à l'étudiant les plaisirs de la découverte, la mobilisation de ses connaissances et une plus grande efficacité dans son travail. Comme le matériel proposé permettra de varier automatiquement en temps réel les variables et les paramètres d'entrée d'un circuit ou d'un prototype, on pourra obtenir une représentation et une analyse graphique des résultats d'une expérimentation. Toute activité de l'étudiant sera analysable graphiquement au fur et à mesure de son déroulement. Cette démarche amènera l'étudiant à explorer des pistes de solution et à formuler des hypothèses.

Les étudiants créeront eux-mêmes des expériences pour explorer des systèmes technologiques. Ils en feront la mise au point, ils pourront simuler, expérimenter et vérifier ensuite une hypothèse ou des calculs dans un environnement réel. Ce sera un outil de synthèse et de conception. Selon Dertouzos (1998), on apprend mieux en construisant quelque chose qu'en essayant de comprendre des éléments isolés. Cet outil de synthèse et de conception facilitera l'appréhension de la réalité.

CHAPITRE 6 - OPÉRATIONNALISATION DU MODÈLE D'ACTION ET MISE À L'ESSAI

DÉMARCHE D'ÉLABORATION

Notre recherche s'est déroulée en trois étapes au Collège de Maisonneuve. Nous avons d'abord créé un premier prototype que nous avons expérimenté auprès d'étudiants de première session. Cette première étape nous a conduit à développer un deuxième prototype pour des étudiants des quatre dernières sessions. Finalement, nous avons mis au point un troisième prototype destiné aux étudiants de deuxième, de troisième et de quatrième session. Même si le deuxième prototype a été industrialisé et est toujours largement utilisé avec beaucoup de succès, c'est la troisième version qui correspond aux objectifs de départ de notre recherche et c'est cette dernière que nous avons retenue comme environnement définitif.

Pour atteindre nos objectifs en tenant compte des considérations pratiques et théoriques déjà énoncées, nous avons créé dans cette recherche un environnement micro-informatique à la fois réel et virtuel pour l'apprentissage de la technologie dans l'enseignement collégial. On profite des capacités des ordinateurs d'effectuer en même temps des acquisitions de données, des contrôles sur l'environnement et des représentations graphiques en temps réel en utilisant intensivement la représentation graphique.

CRÉATION D'UN PREMIER PROTOTYPE

La première étape de notre démarche a consisté à réaliser un système simple ne comprenant qu'une partie des fonctions mentionnées dans le modèle d'action. Cette étape répondait à deux objectifs. Le premier objectif était de nous adapter à une transformation du programme collégial de technologies du génie électrique selon laquelle les étudiants de première session devaient utiliser l'approche systémique afin de connaître les principes de l'acquisition de données et deuxièmement, nous devions tester la faisabilité de notre idée de départ en mettant en œuvre une partie seulement des fonctions prévues.

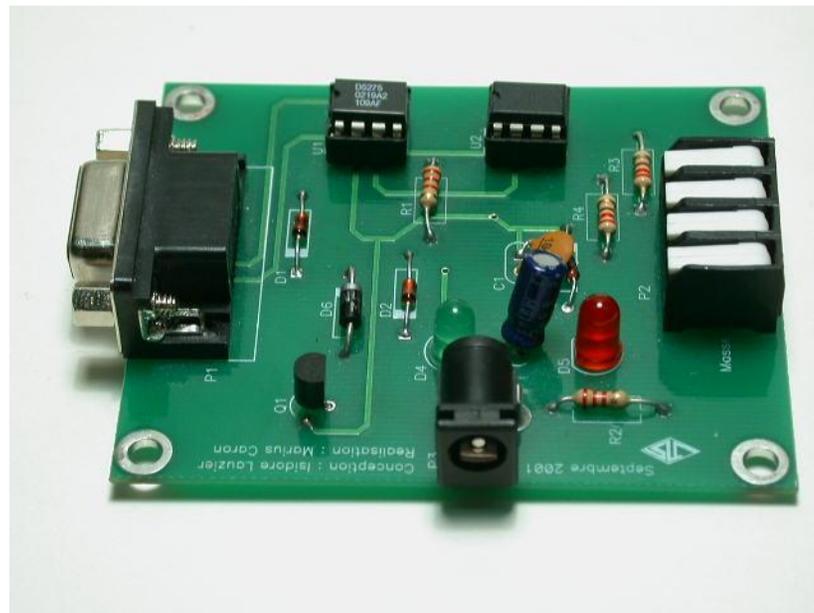


Figure 6.1 – Premier prototype

Les fonctions retenues concernaient seulement l'acquisition de données afin de répondre le plus rapidement et le plus efficacement possible aux objectifs du programme. Les systèmes informatiques d'acquisition de données du marché que nous avons testés étaient très coûteux et ils répondaient très mal aux exigences didactiques.

Nous avons alors conçu un premier prototype de système (Figure 6.1) qui utilisait directement le port série d'un ordinateur et qui disposait d'un connecteur permettant de le relier à des montages simples réalisés par les étudiants. Il possédait une série de fonctions préprogrammées permettant de réaliser des acquisitions de données et d'en faire un affichage graphique en temps réel (Figure 6.2). Ce matériel était très simple à utiliser et d'un coût suffisamment bas pour que chaque étudiant puisse posséder le sien. Les étudiants réalisaient eux-mêmes l'assemblage et la soudure des composants. Cette étape faisait également partie des objectifs de départ.

Ce système fonctionnait au moyen d'un bloc d'alimentation courant du même type que ceux des baladeurs et on pouvait, au besoin, l'alimenter directement par le lien de communication, ce qui permettait son utilisation dans une salle de cours non équipée de prises de courant.

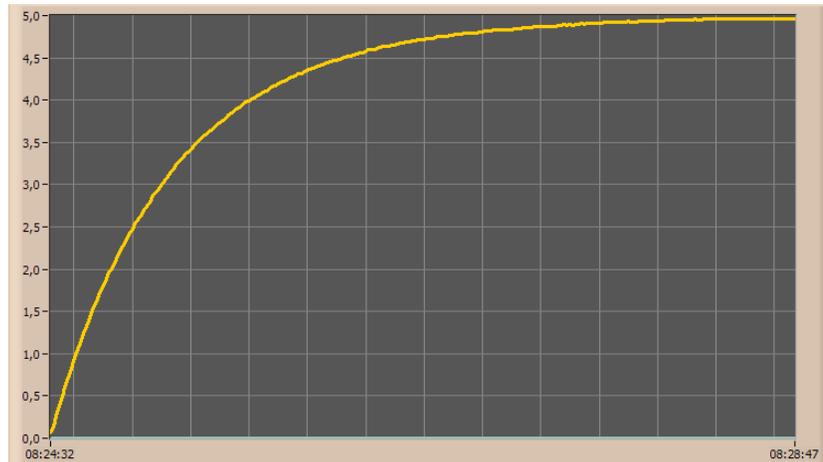


Figure 6.2 – Affichage en temps réel de la charge d'un condensateur à travers une résistance

▪ MISE À L'ESSAI DU PREMIER PROTOTYPE

Nous avons utilisé ce matériel pendant plus de quatre ans avec des étudiants de première session. Chacun des groupes comptait environ 20 étudiants. Ce système n'offrait cependant pas suffisamment de fonctions pour répondre aux exigences des autres cours du programme, comme nous le souhaitions.

Sa conception et sa mise à l'essai nous ont par contre apporté les connaissances et l'expérience nécessaires à la mise en œuvre d'un second prototype et nous avons pu constater également qu'il était alors possible de réaliser un système plus élaboré à un coût abordable et qu'il offrirait en même temps une plus grande richesse didactique.

CRÉATION D'UN DEUXIÈME PROTOTYPE

L'expérience que nous a donnée la réalisation du premier prototype nous a permis d'élaborer un deuxième système. Ce nouveau circuit (Figures 6.3 et 6.4), muni d'un microcontrôleur beaucoup plus puissant, est entièrement programmable et les fonctions que nous avons prévues dans le modèle d'action sont réalisées par l'ajout de circuits externes. Pour cette raison, nous l'avons fabriqué en lui ajoutant un connecteur, enfichable sur une carte de prototypage, permettant de relier les circuits des montages directement au prototype (Figure 6.5).

Ce système fournit aussi l'alimentation et donne accès à tous les signaux et à tous les ports du microcontrôleur. Il contient aussi un logiciel de chargement automatique pour les programmes créés par les étudiants. Par programmation et en y ajoutant les circuits nécessaires, on peut réaliser des fonctions d'acquisition et de génération de signaux. Un lien de communication permet le dialogue avec un ordinateur.

En plus de nous fournir le matériel nécessaire au développement et à l'expérimentation avec les étudiants dans le but de créer un système définitif, cet outil répond à deux objectifs importants du programme de technologies du génie électrique : l'étude et l'apprentissage des circuits programmables et la réalisation de projets en conception en électronique.

Les étudiants doivent se procurer les éléments de cet outil et les assembler mais son prix est inférieur à celui d'un manuel de référence. Il s'intègre avec souplesse dans un environnement d'apprentissage en réduisant considérablement le temps entre l'écriture et l'exécution d'un programme tout en étant beaucoup plus facile à utiliser que le matériel conventionnel. En réduisant le temps entre la formulation d'une hypothèse et sa vérification et en diminuant le niveau de complexité, on augmente sensiblement la motivation des étudiants pour élaborer des programmes et réaliser des systèmes de mesure et de contrôle. C'est un environnement de travail qui favorise une démarche heuristique de résolution de problèmes informatiques et électroniques et la réalisation d'expériences.

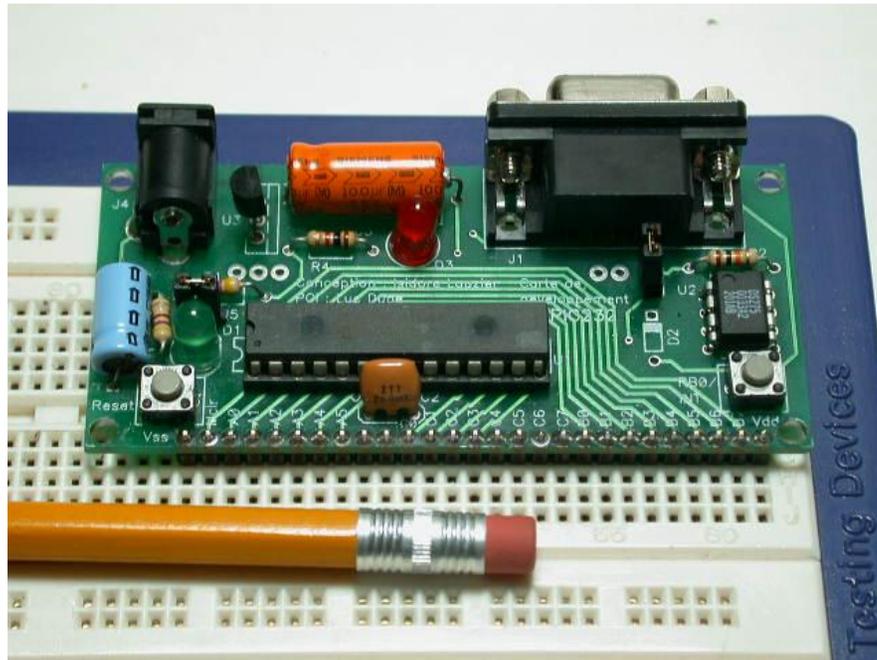


Figure 6.3 – Vue de dessus du prototype 2

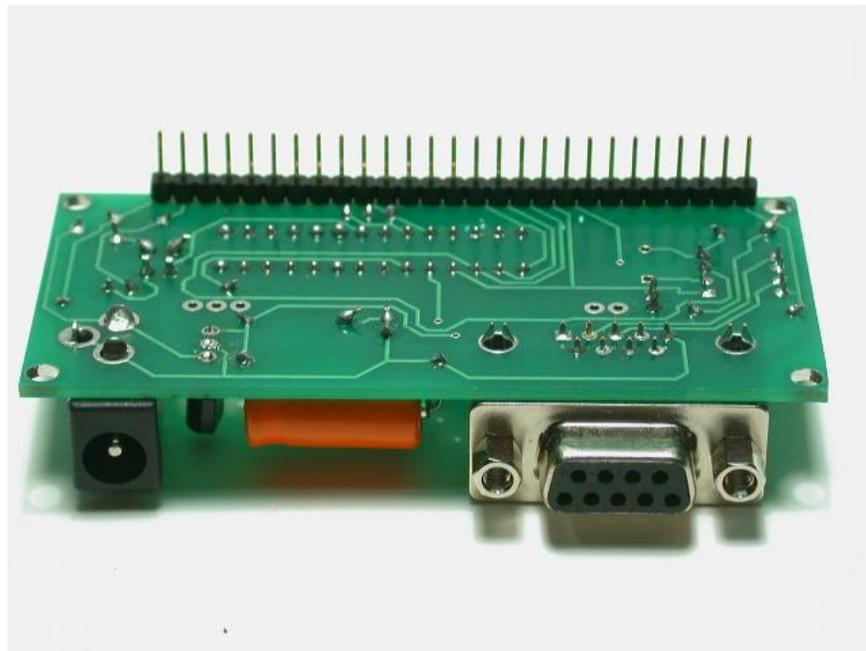


Figure 6.4 – Vue de dessous du prototype 2

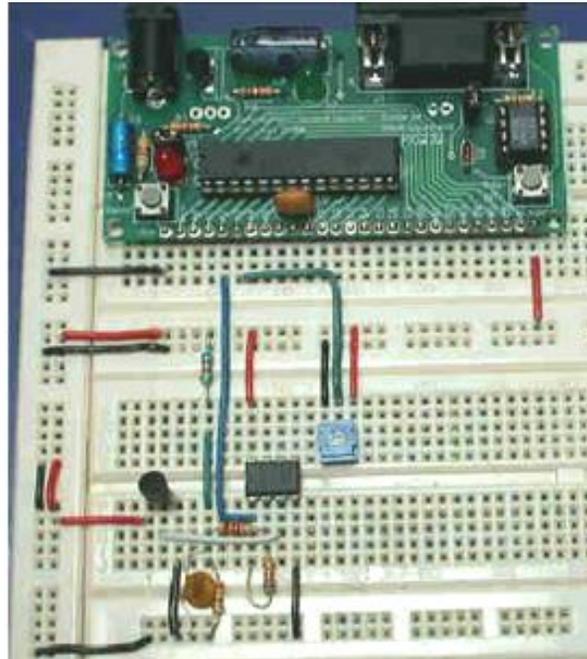


Figure 6.5 – Utilisation du prototype 2 avec des circuits externes

▪ **MISE À L’ESSAI DU DEUXIÈME PROTOTYPE**

On utilise cet outil d’expérimentation des circuits électroniques et d’étude de la programmation depuis plus de six ans dans trois cours différents au Collège de Maisonneuve.

1. Il remplace le prototype initial dans le premier cours du programme pour l’acquisition de données et la familiarisation des étudiants avec des systèmes informatiques. Non seulement il permet de réaliser toutes les fonctions du prototype précédent mais il offre aussi plus de possibilités. De ce fait, il diminue les coûts d’achat de matériel pour les étudiants puisqu’on le réutilise dans les sessions suivantes. Comme nous l’avons mentionné précédemment, c’est un cours de première session comprenant des groupes d’environ 20 étudiants.
2. On l’utilise ensuite dans un cours de troisième session destiné à l’apprentissage de la programmation en général et des microcontrôleurs en particulier. Les microcontrôleurs servent dans une foule d’applications de systèmes automatisés et à des expérimentations contribuant à la compréhension même de la technologie dans l’étude des principes de l’électronique. On retrouve ces circuits dans presque tous les systèmes automatisés utilisés aujourd’hui, en allant des systèmes industriels à l’automobile et aux électroménagers. Ce

cours de programmation, d'une durée de quatre heures par semaine, comprend cinquante étudiants. On a observé un grand intérêt pour ce système et comme nous l'avions supposé, les étudiants s'en sont servis dans leurs travaux en dehors des cours.

3. On a aussi expérimenté ce matériel avec des étudiants d'un niveau avancé, dans un cours de conception en électronique, fondé exclusivement sur une pédagogie de projets. C'est un cours de sixième session, d'une durée de six heures par semaine, qui se donne à environ 25 étudiants. Là encore les étudiants ont manifesté beaucoup d'enthousiasme et ont même dépassé les objectifs de départ en s'investissant davantage dans leurs travaux par rapport à ce qu'on leur demandait. Les figures 6.6, 6.7 et 6.8 illustrent trois exemples de réalisations. Ces produits illustrent bien l'idée de Resnick (1997), mentionnée dans le chapitre *Idée de recherche*, lorsqu'il parle de développement d'objets d'apprentissage qui permettent, par la suite, aux étudiants de créer eux-mêmes de nouveaux objets.
4. Ce matériel a servi au développement d'un instrument – bloc d'alimentation – que doivent fabriquer les étudiants (Figure 6.9). Cette expérimentation décrite à l'annexe 3, *Une expérience d'approche par projets pour favoriser l'intégration des apprentissages* a été adoptée comme stratégie pédagogique dans le programme actuel et les étudiants utilisent maintenant notre deuxième prototype pour effectuer la mise au point de leur propre dispositif.

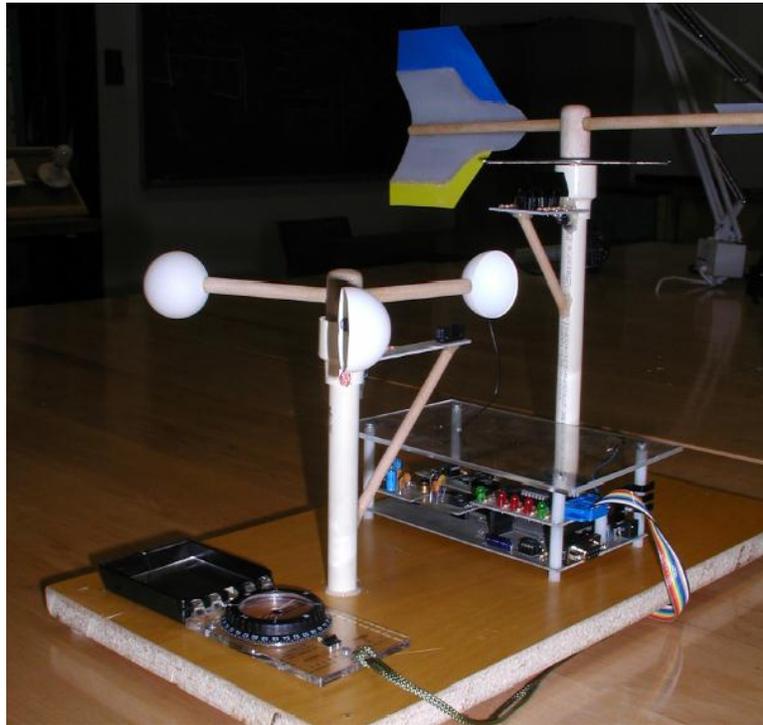


Figure 6.6 – Station météo télécommandée utilisant deux exemplaires du deuxième prototype

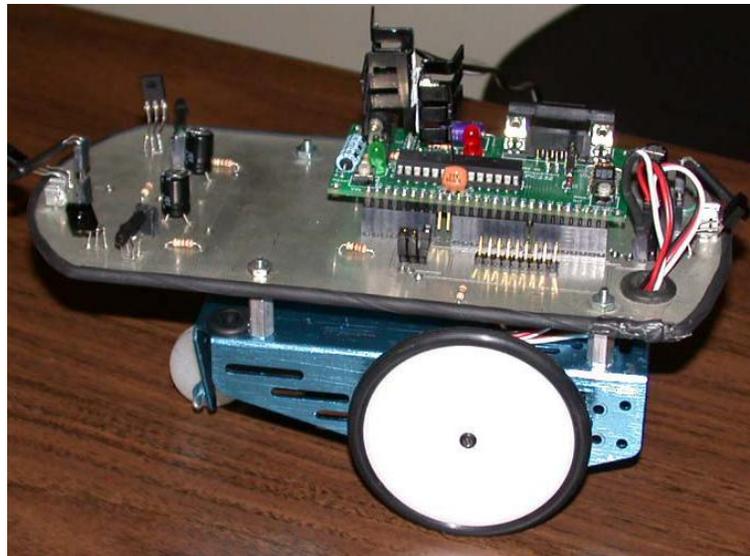


Figure 6.7 – Robot détecteur d'obstacles commandé par le deuxième prototype

5. On utilise également ce matériel pour la réalisation de projets au club d'électronique du Collège de Maisonneuve. Trois étudiants, Charles Richard-Allix, Pier-Marc Comtois-Rivest et Yves Deroy y ont monté un robot commandé avec deux cartes du deuxième prototype (Figure 6.8). Ils ont remporté le premier prix du concours *Robot sumo* organisé par l'université Concordia en avril 2005.

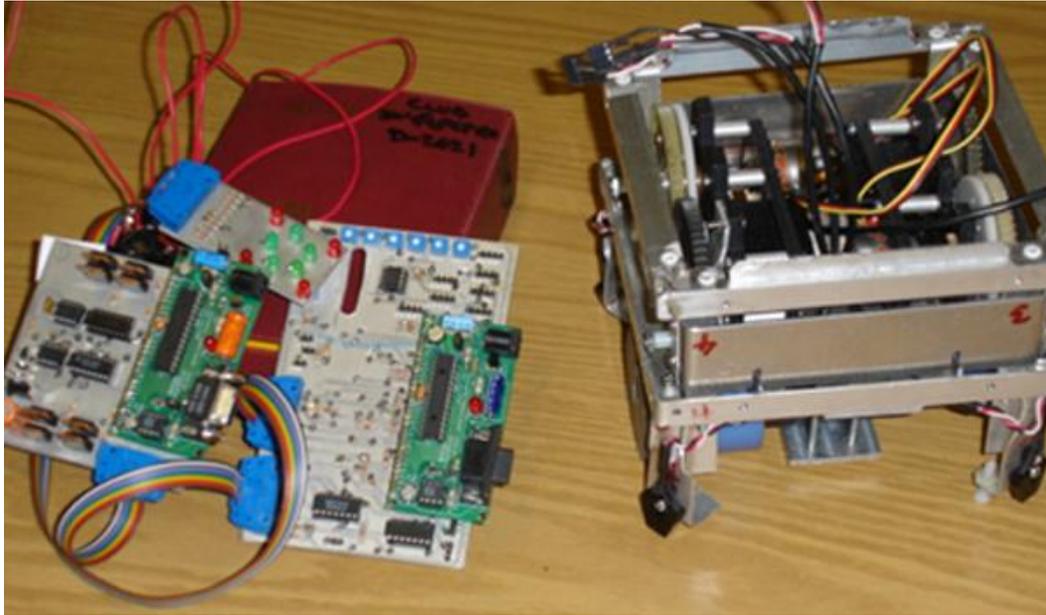


Figure 6.8 – Robot de compétition utilisant deux prototypes

Avant que ce système soit disponible, les étudiants n'étaient pas en mesure de réaliser des projets d'envergure. Leurs connaissances des circuits programmables tels que les microcontrôleurs et le couplage de ceux-ci à des circuits de contrôle et de commande étaient insuffisantes. D'autre part, le matériel nécessaire à des montages importants était très coûteux et didactiquement inadéquat.

6. On réalise présentement une recherche didactique avec ce prototype au département de Génie logiciel de l'École Polytechnique de Montréal. C'est un projet sous la direction de M. Yves Boudreault professeur de ce département.

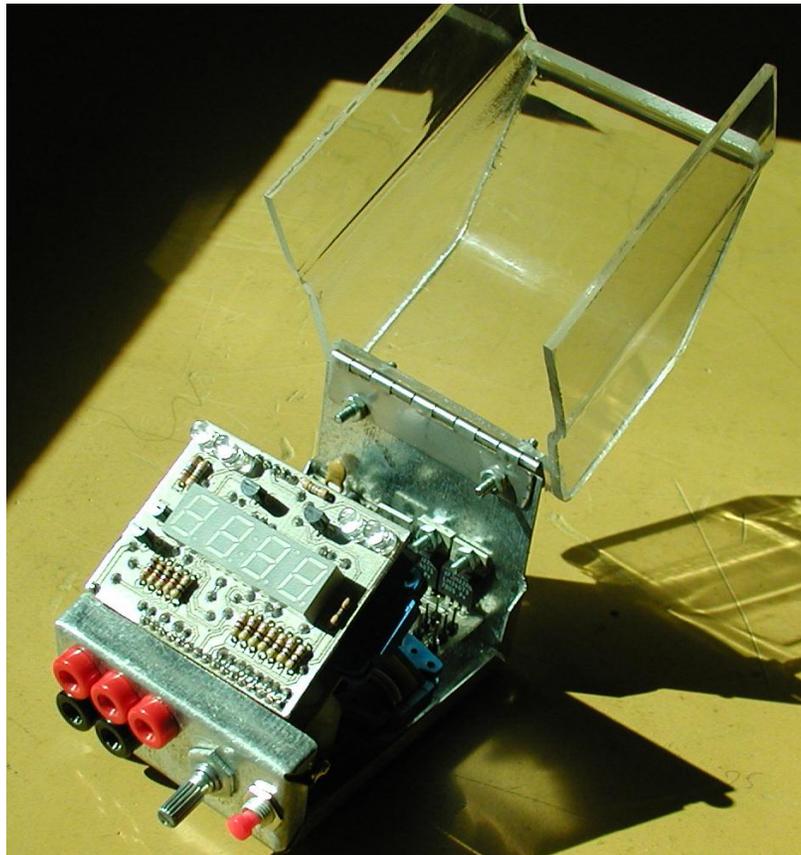


Figure 6.9 – Bloc d'alimentation développé au moyen du deuxième prototype

▪ **CONCLUSION DE LA MISE À L'ESSAI DU DEUXIÈME PROTOTYPE**

L'étude de l'efficacité et de la performance du prototype s'est effectuée à partir des rapports, des travaux et des commentaires des étudiants et portait sur leur compréhension des circuits. Notre système répond bien aux critères d'une pédagogie de projets, de l'approche systémique et de l'approche par compétences et nous avons pu en constater toutes les qualités et la pertinence. Il est très efficace pour l'analyse de circuits et l'étude de la programmation en particulier. En outre, il constitue un facteur déterminant, dans le cours de conception en électronique, en permettant aux étudiants d'augmenter de façon considérable l'ampleur et la complexité des projets à réaliser.

L'ajout d'un connecteur qui rend cet outil enfichable sur une carte de prototypage lui donne un caractère général et le rend utilisable dans une multitude de situations (Figures 6.3, 6.4 et 6.5). En plus de réduire les coûts des montages, il permet d'effectuer rapidement des tests et

on peut aussi l'intégrer facilement à toutes sortes de circuits dans la réalisation de projets. Par rapport au premier prototype, outre le fait qu'il fonctionne à une vitesse beaucoup plus élevée, il donne accès à tous les ports d'entrée et de sortie du microcontrôleur et il est entièrement programmable.

Au départ, nous souhaitons atteindre nos objectifs pédagogiques avec des étudiants débutants et de niveau intermédiaire, à qui il faut offrir des connaissances déclaratives et procédurales avant de procéder au développement des connaissances conditionnelles (voir *Annexe 3 - Une expérience d'approche par projets pour favoriser l'intégration des apprentissages*). Cependant, avec ce système, l'étudiant doit construire les circuits nécessaires à la génération de fonctions, à la gestion de signaux de sortie et d'entrée et il doit en réaliser la programmation. Cela le rend trop complexe dans une pédagogie de projets destinée aux étudiants des premières sessions pour l'apprentissage des principes de base de l'électronique. Il fait appel dans une trop grande proportion aux connaissances conditionnelles. Pour augmenter l'engagement des étudiants dans leur apprentissage et atteindre la population étudiante ciblée, conformément à notre modèle d'action, il nous fallait utiliser une démarche différente et, par conséquent, créer un nouvel environnement plus simple à utiliser. L'expérience acquise dans les étapes précédentes nous a alors amené à concevoir un troisième prototype répondant plus précisément à l'ensemble de nos considérations théoriques.

ENVIRONNEMENT COMPLET D'EXPÉRIMENTATION : PRODUIT FINAL

À partir des expériences réalisées avec les deux premiers prototypes, nous avons finalement mis au point un troisième système, plus complexe techniquement mais, surtout, plus simple d'utilisation. On affranchit les étudiants d'un certain niveau de complexité en y ajoutant des circuits de génération de fonctions et des programmes informatiques de gestion de ces fonctions. Cette simplicité d'utilisation permet aux étudiants de se concentrer davantage sur la compréhension de phénomènes électroniques avant de faire le développement de systèmes avancés. Ce nouvel environnement entièrement fondé sur l'instrumentation virtuelle regroupe cette fois tous les critères correspondants à nos objectifs de départ, aux considérations pratiques et théoriques que nous avons établies à priori et raffiné par nos mises à l'essai.

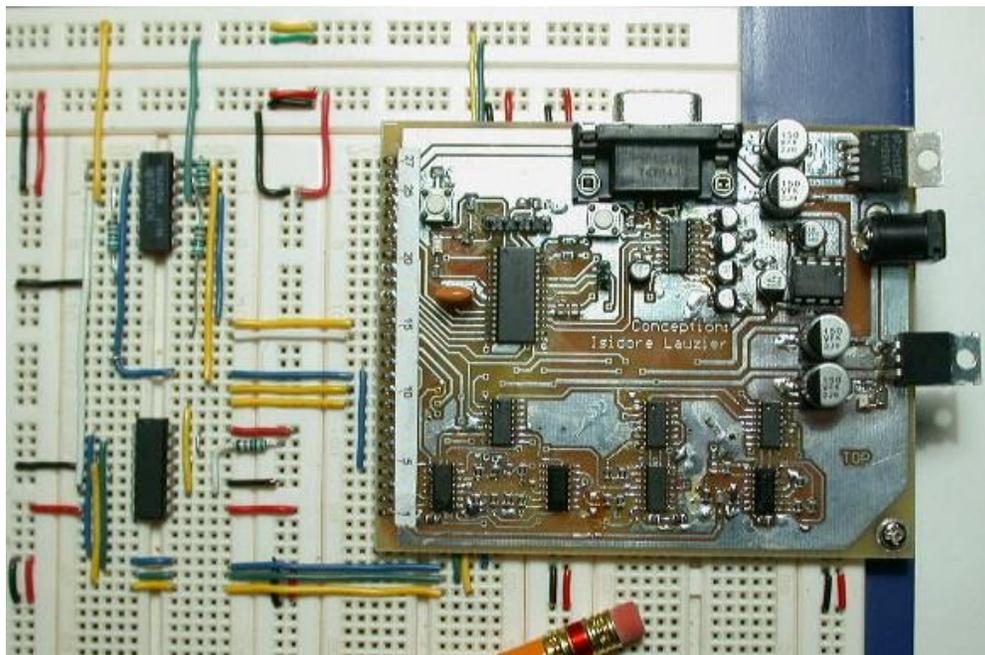


Figure 6.10 – Le système proposé avec un montage

▪ CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

Ce système comprend une interface graphique dynamique, des générateurs de fonctions, des commandes de synchronisation, un amplificateur programmable étalonné et des fonctions d'enregistrement sur disque. On peut l'enficher sur des plaquettes d'expérimentation pour le coupler à des montages (Figure 6.10).

On peut générer des signaux de tests de circuits de la même façon qu'avec des équipements spécialisés. Les signaux de commandes et les signaux résultants des circuits ou des montages sont affichés simultanément sous forme graphique et numérique. Il est possible de reproduire physiquement les variables d'un système qui serait placé en situation réelle de fonctionnement. Ces signaux peuvent prendre différentes formes, comme des ondes sinusoïdales, triangulaires et en dents de scies. Des signaux de synchronisation sont disponibles pour l'étude de phénomènes fonctionnant en simultanément. Une interface série de type SPI est disponible pour commander des circuits programmables de dernière génération. L'ensemble des éléments de ce système permet d'effectuer des expérimentations à l'infini.

▪ INTERFACE GRAPHIQUE

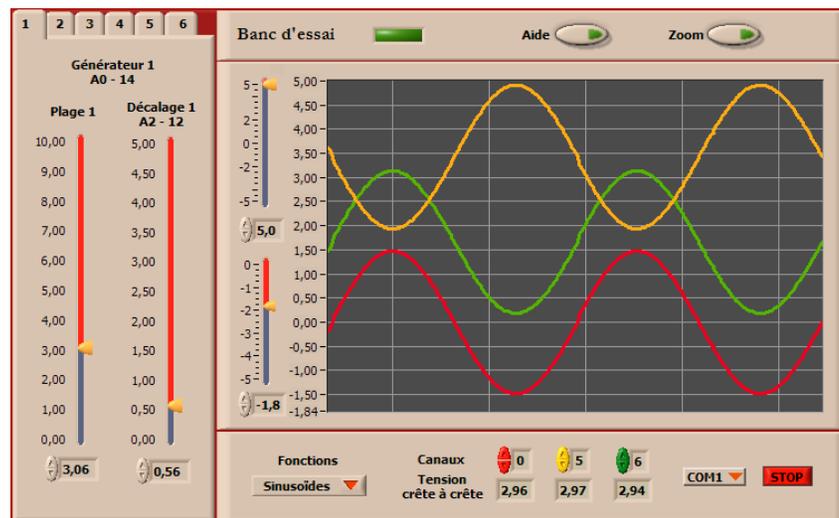


Figure 6.11 – L'interface graphique du système

Une interface graphique (Figure 6.11) affiche, en temps réel, les valeurs des signaux commandés et des signaux résultants. Une rétroaction continue sera donnée sur les valeurs des signaux des entrées et des sorties des circuits à analyser de façon à permettre une vision globale.

Les signaux d'entrée prendront la forme de sinusoïdes, de triangles de rampes et de droites. On pourra afficher simultanément les données de trois canaux sur sept. Les commandes se feront directement à partir de l'interface graphique. Sur la partie gauche de l'interface, six chemises de sélection sous forme de classeur serviront à faciliter la manipulation des

fonctions et à simplifier leur présentation. Nous analyserons en détail la description technique des diverses fonctions du prototype définitif au chapitre 7.

Cette interface facilite l'analyse des circuits et des systèmes et contribue à faire saisir rapidement les interactions des différents composants électroniques reliés entre eux.

APPLICATIONS PÉDAGOGIQUES

À partir des situations sur l'opérationnalisation du modèle, envisagées dans le chapitre précédent, nous allons décrire quelques applications pédagogiques réalisables avec notre environnement. On pourra voir que les résultats obtenus valident la qualité du prototype et qu'ils répondent à la problématique décrite au chapitre 4.

▪ LES FONCTIONS DE TRANSFERT

La figure 6.12 représente un circuit d'amplification non inverseur à gain unitaire. Le signal de sortie est identique au signal d'entrée comme le montre la figure 6.13. La fonction de transfert est une droite dont les valeurs sur l'axe des abscisses seront identiques à celles de l'axe des ordonnées. On peut voir le résultat obtenu avec le prototype à la figure 6.14.

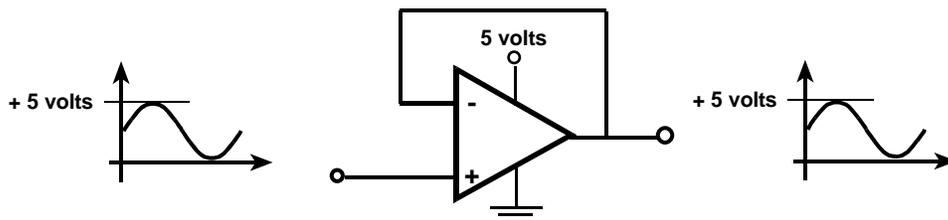


Figure 6.12 – Circuit d'amplification non inverseur à gain unitaire

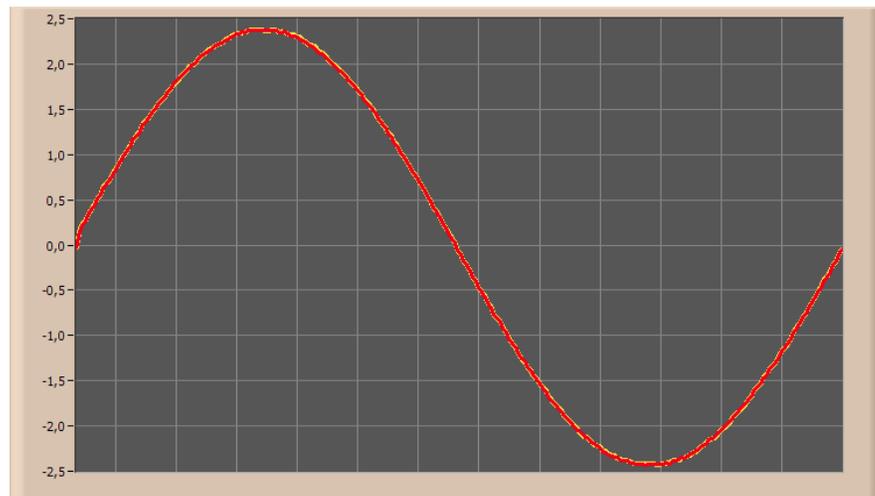


Figure 6.13 – Les signaux d'entrée et de sortie se superposent

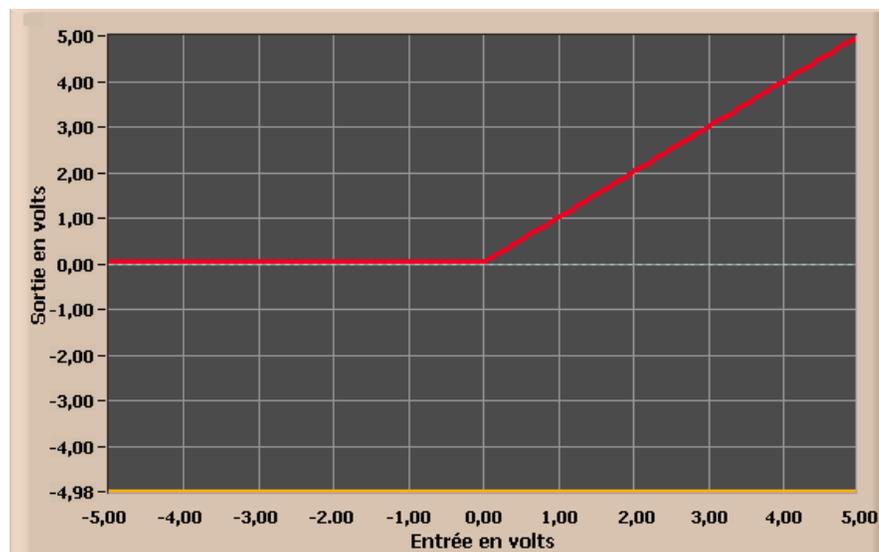


Figure 6.14 – Fonction de transfert d'un circuit d'amplification non inverseur à gain unitaire

▪ LE THÉORÈME DE SUPERPOSITION

La figure 6.15 fait voir un circuit qui le signal d'entrée et le signal de sortie dans le cas de l'étude d'un amplificateur opérationnel à alimentation unipolaire rail à rail de gain unitaire en mode inverseur. Comme ces amplificateurs n'ont pas d'alimentation négative, il ne peut y avoir de tension de sortie négative. Il faut en tenir compte en utilisant des configurations

conformes à cette restriction. Le théorème de superposition montre que le résultat final d'un circuit est la somme des sources utilisées à l'entrée.

$$V \text{ sortie} = -V \text{ gén. 1} + 2 V \text{ gén. 2}$$

La deuxième partie de l'équation représente le signal de l'entrée positive. Cette entrée placée à zéro donne la nouvelle équation suivante :

$$V \text{ sortie} = -V \text{ gén. 1}$$

Cette dernière équation indique que le signal de sortie sera l'inverse du signal d'entrée. Étant donné que ce type de circuit ne peut fournir de sortie négative, la partie négative inversée seulement sera présente à la sortie.

La figure 6.15 donne le signal de sortie en fonction du signal d'entrée lorsqu'on place une valeur nulle à l'entrée positive et la figure 6.16 présente le résultat obtenu avec l'interface graphique du prototype. La courbe en jaune illustre le niveau du signal de l'entrée positive. La courbe en rouge représente le signal d'entrée et la courbe en vert, le signal résultant. On constate à la sortie, que la partie négative du signal d'entrée seulement est inversée et amplifiée. La partie positive est éliminée.

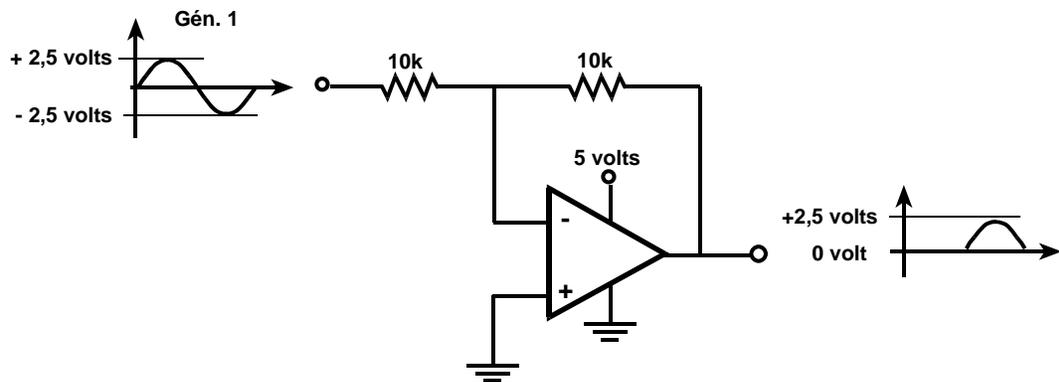


Figure 6.15 – Amplificateur à alimentation unipolaire de gain -1 sans signal de décalage



Figure 6.16 – Représentation avec l’interface graphique du prototype

Pour obtenir un signal de sortie reproduisant fidèlement le signal d’entrée, on ajoute un signal à l’entrée positive de l’amplificateur. En se référant au théorème de superposition, le résultat final sera la somme des sources utilisées aux entrées. À la figure 6.17 apparaît le nouveau circuit auquel on a ajouté un signal variable à l’entrée positive. Cette entrée, dans cette configuration, a un gain de 2.

$$V_{\text{sortie}} = -V_{\text{gén. 1}} + 2 V_{\text{gén. 2}}$$

Si la partie négative du signal d’entrée a une amplitude de 2,5 volts, il faut lui ajouter la moitié de cette valeur puisque le gain est de 2. La partie à ajouter est alors de 1,25 volt.

Lorsque le signal de l’entrée positive atteint la moitié de la valeur négative du signal de l’entrée négative, on obtient un signal non écrêté à la sortie. C’est-à-dire qu’on peut amplifier un signal bipolaire sans perte avec un amplificateur à alimentation unipolaire. Cette expérimentation s’effectue très facilement en utilisant l’environnement proposé. À la figure 6.17 on observe la modification apportée au montage précédent et les figures 6.18 et 6.19 exposent le résultat obtenu lorsque l’on modifie signal de décalage.

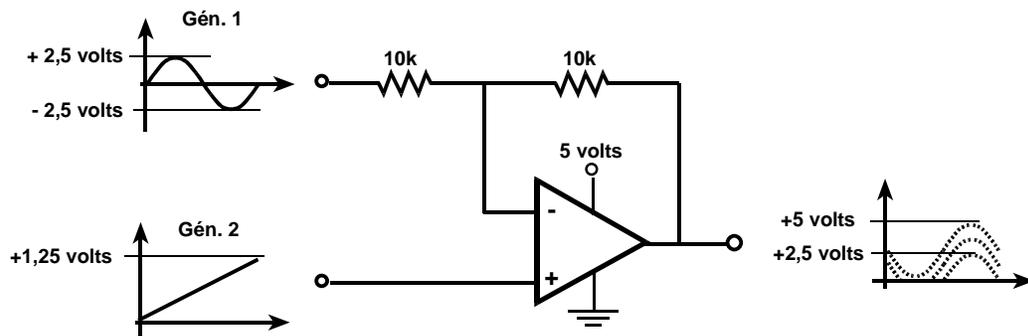


Figure 6.17 – Amplificateur à alimentation unipolaire de gain -1 avec un signal de décalage

La courbe en jaune représente le niveau du signal de décalage utilisé, celle en rouge, le signal d'entrée et celle en vert, le signal de sortie. En modifiant le signal de décalage avec le curseur du deuxième générateur de fonction on peut observer le résultat obtenu. On constate que le signal de sortie est complet lorsque le signal de décalage correspond à la moitié de la partie négative du signal d'entrée produit par le premier générateur, ce qui illustre de façon pratique le théorème de superposition et la représentation graphique le montre efficacement.

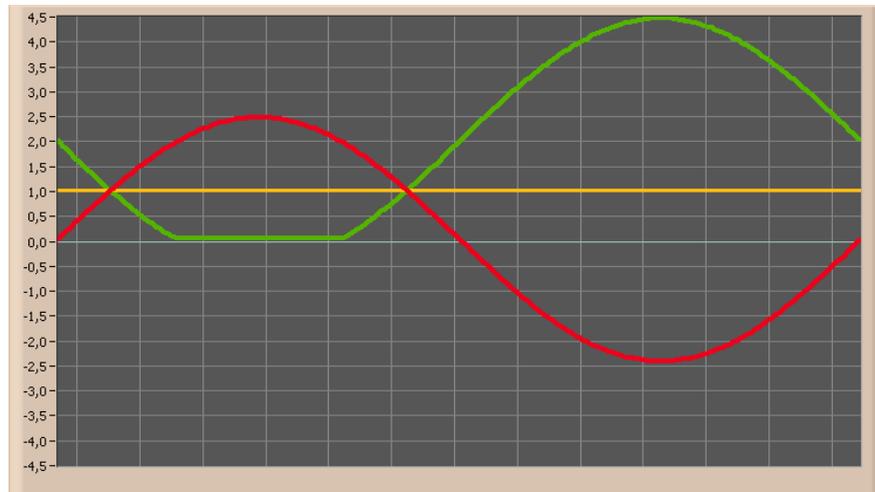


Figure 6.18 – Le signal de décalage à la sortie est inférieur 2,5 volts

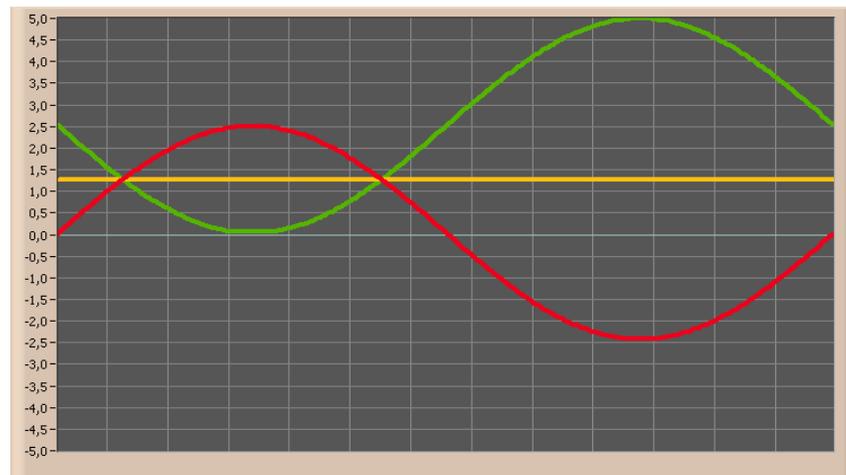


Figure 6.19 – Avec un décalage de 1,25 volt à l'entrée, le signal est reproduit complètement

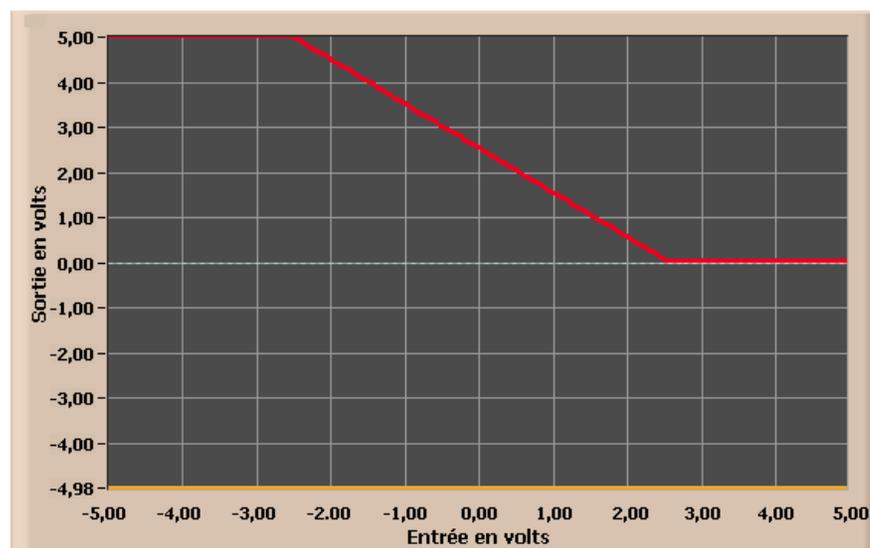


Figure 6.20 – Fonction de transfert du circuit précédent

Comme nous l'avons planifié au départ, avec cet outil, nous pouvons réaliser une illustration pratique du théorème de superposition. Les résultats obtenus montrent bien que la fonction résultante d'un circuit est la somme des sources utilisées à l'entrée.

▪ LE THÉORÈME DE THÉVENIN

Nous avons vu que lorsque l'on doit relier deux circuits, il est nécessaire de tenir compte du couplage des impédances et que c'est une situation difficile à appréhender par les étudiants. Dans notre environnement, nous visualisons simultanément les signaux d'entrée et de sortie. On peut voir immédiatement les effets d'un mauvais calcul ou d'un mauvais montage.

La figure 6.21 donne un exemple réalisé avec le matériel proposé. Le prototype commande deux potentiomètres numériques dont l'un est relié directement à la charge et l'autre, à travers un amplificateur tampon. Chacun des curseurs des potentiomètres numériques représente une source dont l'impédance varie en fonction de la tension demandée. Le système proposé permet de faire varier automatiquement la tension des deux sources. On peut observer en temps réel les résultats à l'écran (Figure 6.22). La courbe en jaune représente la fonction de transfert du circuit possédant un amplificateur de couplage et celle en rouge, la fonction de transfert du circuit couplé directement à la charge. Cette représentation visuelle illustre d'une excellente façon le théorème de Thévenin et par le fait même l'importance d'un bon couplage.

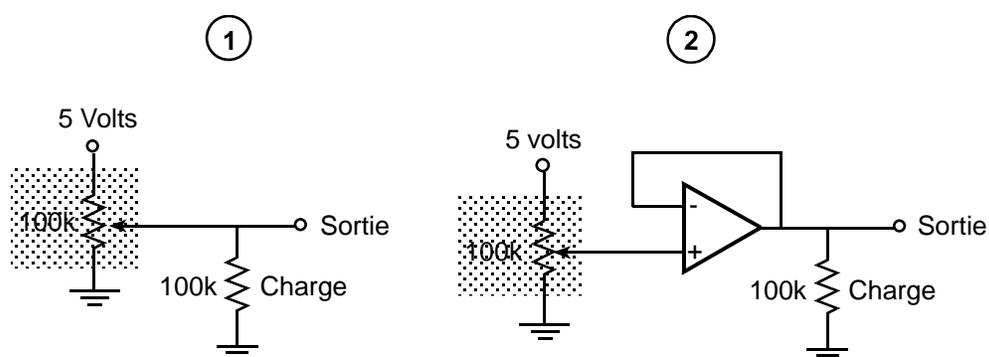


Figure 6.21 – Le circuit 2 est indépendant de la source

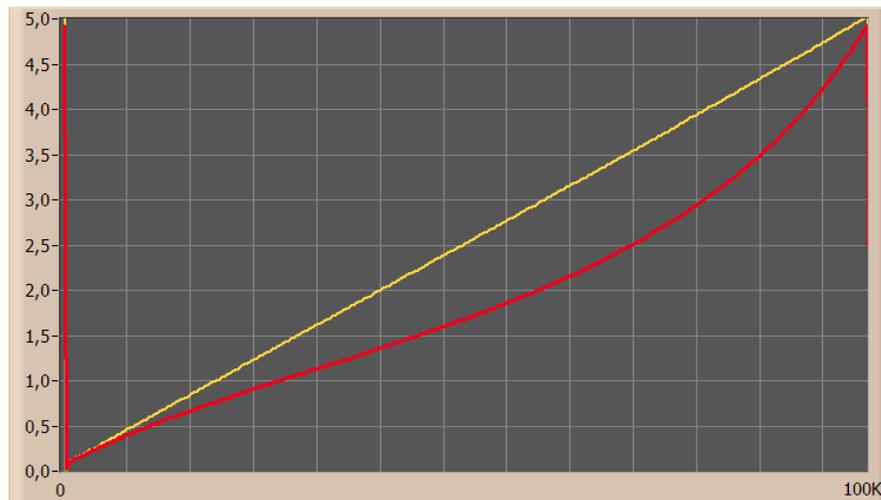


Figure 6.22 – La courbe en jaune montre le résultat d'un bon couplage

▪ LA RECTIFICATION AVEC DES DIODES

On utilise des diodes dans une foule de circuits électroniques et en particulier pour la rectification d'un signal à courant alternatif. Il en existe différents types dont on représente habituellement la fonction de transfert par un modèle théorique. Ce sont des éléments non linéaires dont le comportement est difficile à décrire par une équation mathématique.

La figure 6.23 représente le résultat théorique obtenu avec une diode au silicium dans un circuit de rectification à simple alternance. Lorsque la tension est négative la diode bloque parfaitement le courant mais lorsque qu'elle est positive, il y a une chute de tension d'environ 0,7 volt que l'on représente théoriquement comme étant fixe. La figure 6.24 fait voir le résultat pratique obtenu avec notre système, la courbe en rouge représente le signal d'entrée et celle en jaune, le signal de sortie.

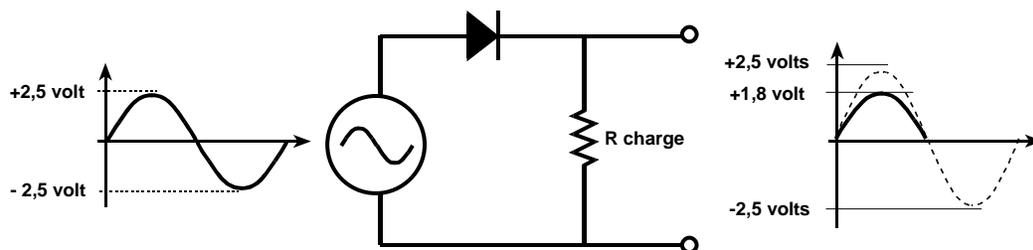


Figure 6.23 – Rectification à simple alternance avec une diode au silicium

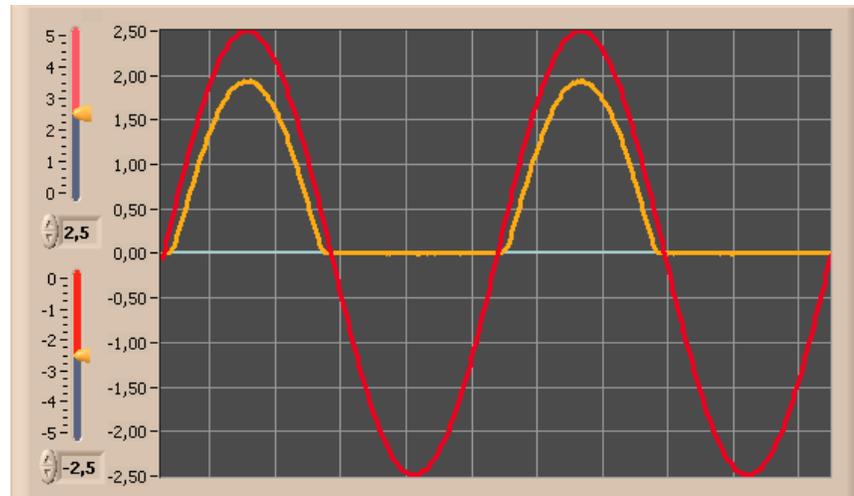


Figure 6.24 – Résultat pratique du circuit de rectification à simple alternance

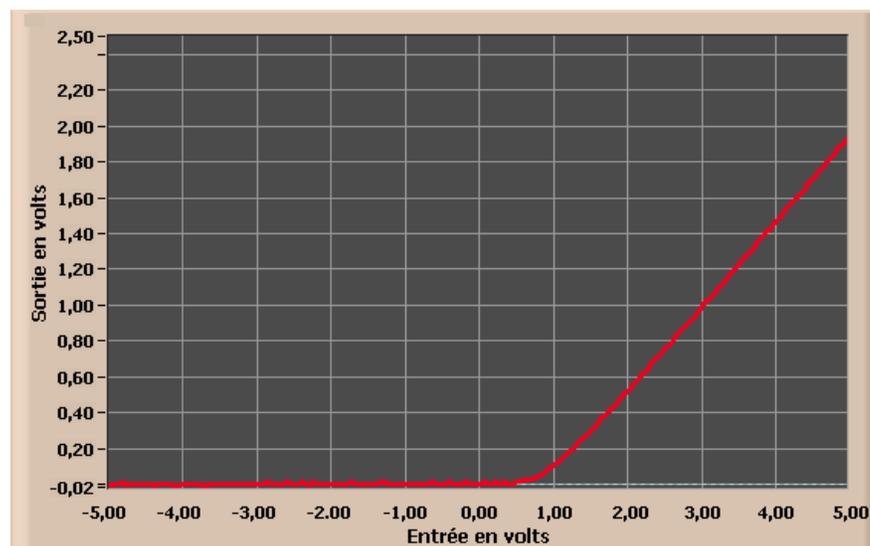


Figure 6.25 – Fonction de transfert du circuit de rectification à simple alternance

La figure 6.25 illustre la fonction de transfert de ce circuit. On peut observer qu'un signal d'entrée inférieur à 0,7 volts donne une sortie non linéaire. Ce phénomène est important pour

les faibles tensions et cause une erreur non calculable théoriquement. Cette caractéristique varie en fonction de la température, de la charge du circuit et de la fabrication des diodes.

La figure 6.26 montre une application d'un circuit de rectification lorsque le signal est très faible. On constate que la chute de tension causée par la diode donne une erreur considérable sur le résultat et qu'elle la rend inutilisable pour la rectification dans des circuits de précision. Notre système illustre cette caractéristique (Figure 6.27) avec un signal d'entrée variant de 0,5 volts à -0,5 volts. La courbe en rouge représente le signal de sortie.

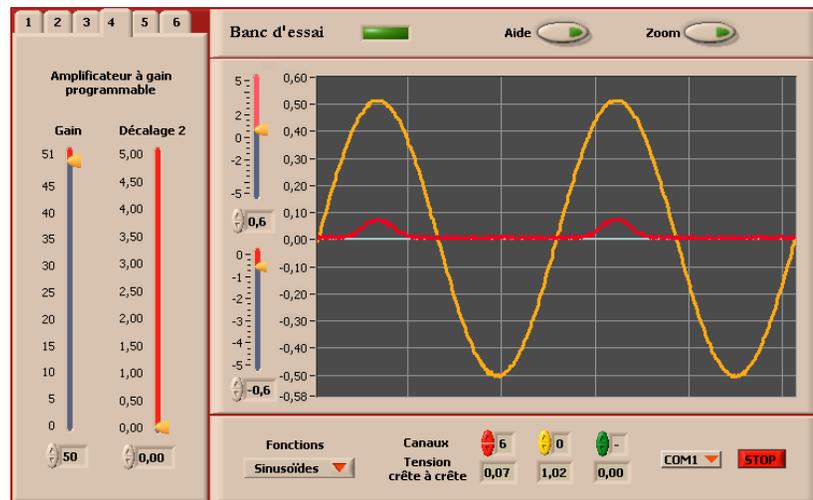


Figure 6.26 – Rectification d'un signal très faible

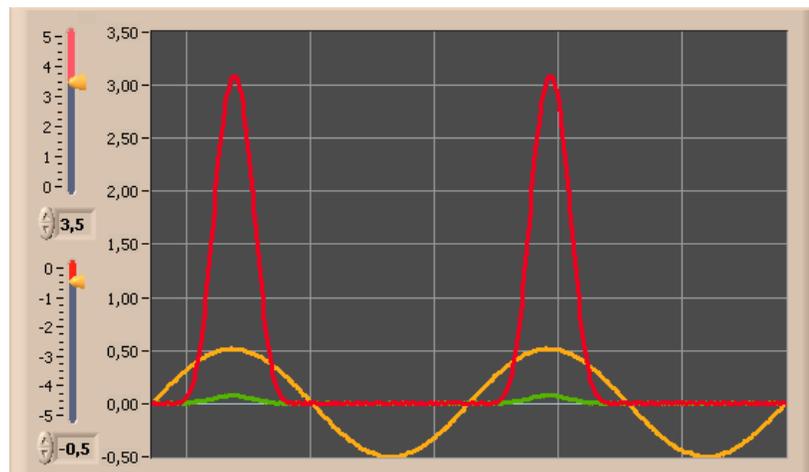


Figure 6.27 – Zoom avec l'amplificateur à décalage programmable

On peut utiliser l'amplificateur à décalage programmable pour analyser le signal résultant. La courbe en rouge montre un agrandissement par un facteur de 50. On peut calculer le signal de sortie en divisant le maximum obtenu, 3 volts, par 50 et on obtient alors 0,06 volts. Cette valeur est très inférieure à 0,7 volt et montre qu'on ne peut utiliser une diode pour rectifier des petits signaux avec précision.

Cette expérience permet de confronter les étudiants à une situation pratique qui ne correspond pas une évaluation théorique d'un phénomène.

CONCLUSION

On peut constater que notre prototype répond aux principes pédagogiques et aux considérations théoriques précédemment énoncées. Cet outil très général donne de l'autonomie aux étudiants débutants et de niveau intermédiaire pour l'étude de l'électronique. Il permet de plus le travail en dehors des locaux de laboratoires. Il offre la possibilité de reproduire rapidement un même phénomène, de procéder par approximations successives, d'analyser plusieurs aspects d'une expérimentation et de placer les étudiants face à des conflits cognitifs.

CHAPITRE 7 - DESCRIPTION TECHNIQUE DU PROTOTYPE DÉFINITIF

DESCRIPTION TECHNIQUE DU PROTOTYPE DÉFINITIF

■ CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

Ce système comprend une interface graphique dynamique, des générateurs de fonctions et de commandes de synchronisation, un amplificateur à décalage programmable et des fonctions d'enregistrement sur disque. Un microcontrôleur, reprogrammable en circuit, réalise l'exécution des commandes, l'acquisition, la conversion des signaux d'entrées, le contrôle des circuits de génération de fonctions et la communication avec l'ordinateur. La figure 7.1 présente le schéma de fonctionnement du circuit d'expérimentation.

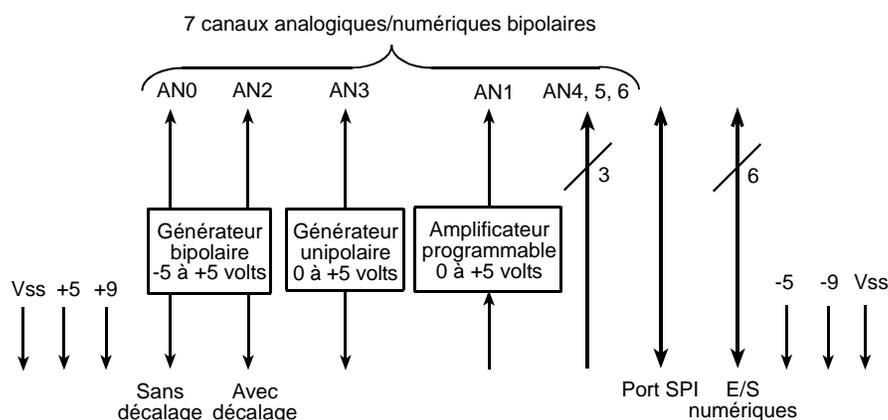


Figure 7.1 – Schéma de fonctionnement

■ DESCRIPTION DE L'INTERFACE GRAPHIQUE

Dans la conception de cette interface graphique, nous avons tenu compte de ce que Ritter (2002) appelle le modèle mental de l'utilisateur. Il faut que l'utilisateur puisse interpréter facilement les informations affichées et qu'il puisse saisir sans ambiguïté le rôle de chacun des boutons de commandes. On ne doit pas afficher en même temps toutes les commandes et toutes les fonctions mais en hiérarchiser la présentation. Dans notre cas, ce modèle est fondamental car nous utilisons directement l'écran de l'ordinateur pour afficher et contrôler de nombreux phénomènes.

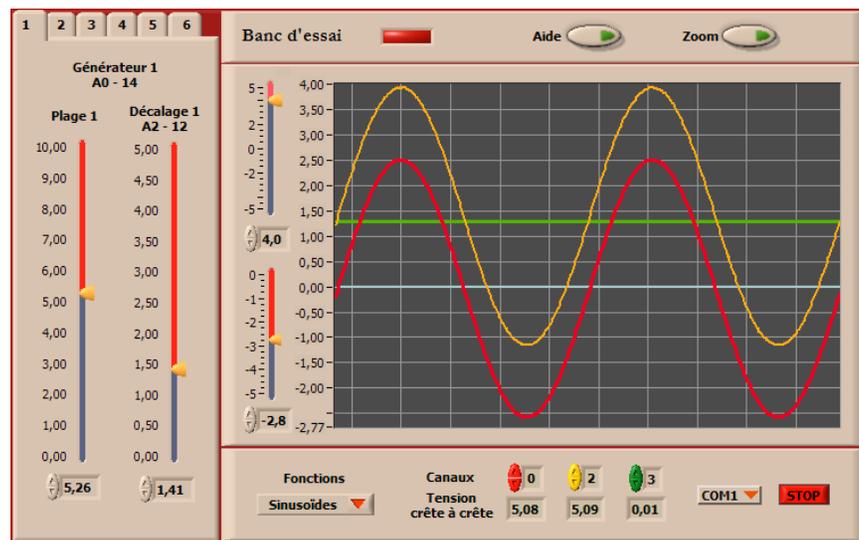


Figure 7.2 – Interface graphique

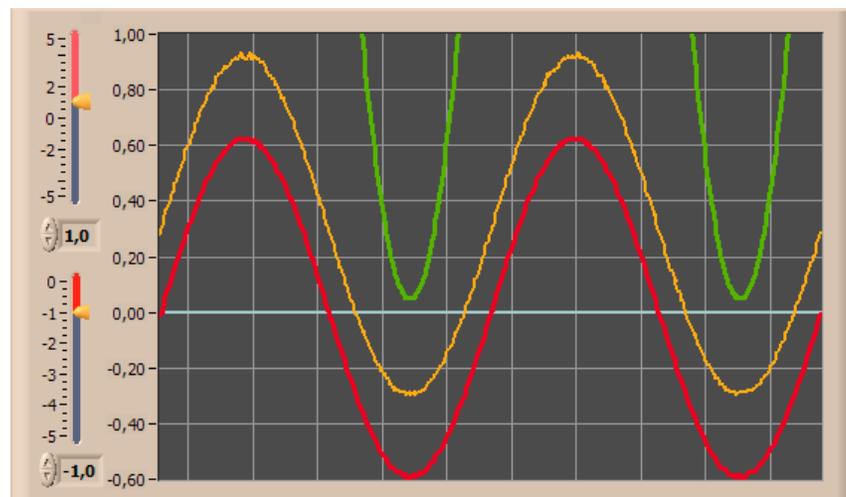


Figure 7.3 – Sélection d'une section de l'écran avec deux potentiomètres virtuels

On affiche un maximum de trois graphiques en même temps à partir d'un choix de sept. Deux potentiomètres virtuels, à gauche, permettent de faire un zoom informatique de la section d'affichage (Figure 7.3). On fait le choix des courbes à afficher sur la partie inférieure de l'interface (Figure 7.4). La valeur numérique de la courbe du canal choisi apparaît et la

couleur du bouton de sélection correspond à celle de la courbe affichée. On peut également, dans cette section, choisir les fonctions des générateurs et le numéro du port de communication.



Figure 7.4 – Panneau de sélection des fonctions, des canaux et du port de communication

Sur la partie gauche de l'interface, on recourt à la métaphore du classeur pour une présentation simple et aérée. Cinq chemises de commandes et une chemise d'affichage de données sont accessibles.

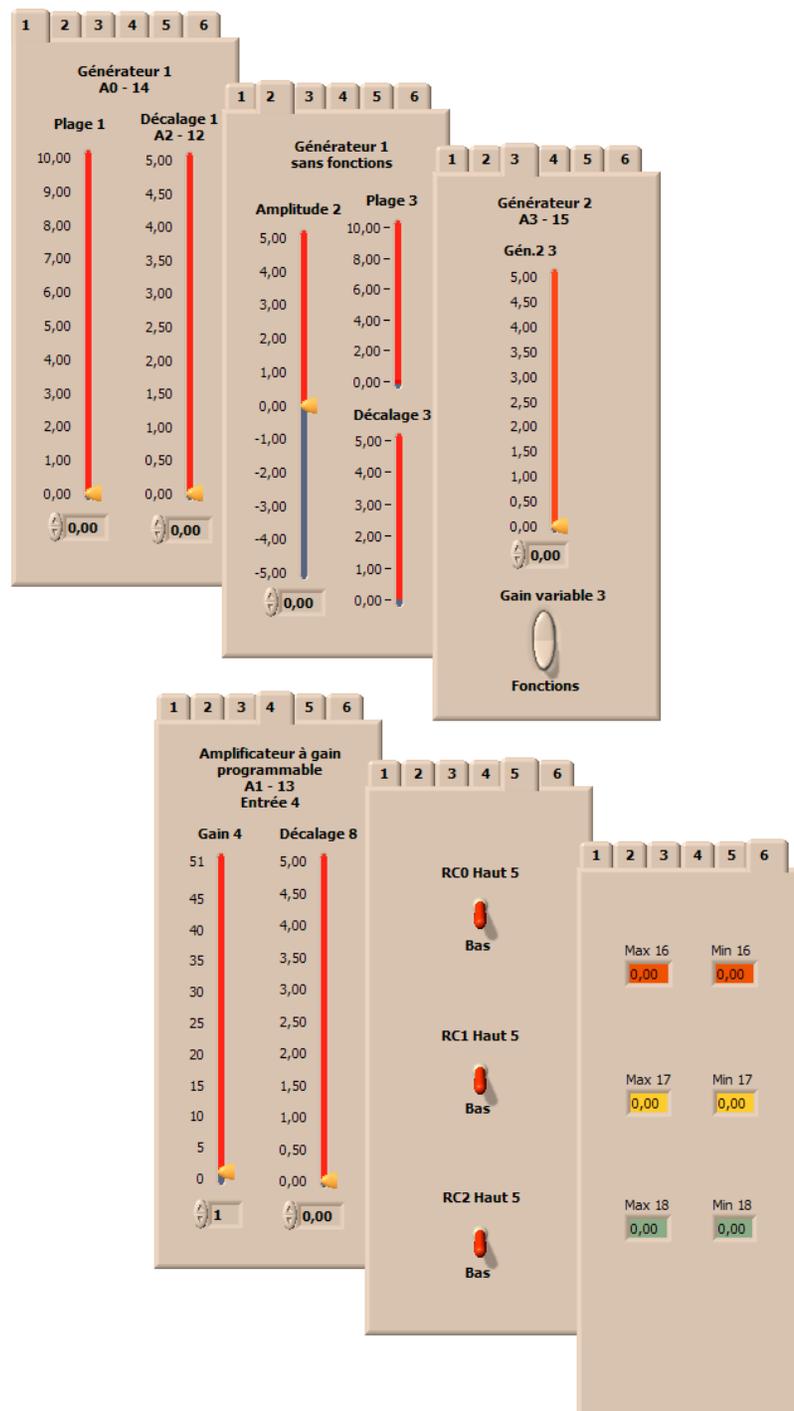


Figure 7.5 – Les commandes à partir du classeur

Un clignotant dans la partie supérieure de l'écran indique le bon fonctionnement du système. Un menu d'aide et une commande permettent de faire un zoom additionnel de la section d'affichage des graphiques.

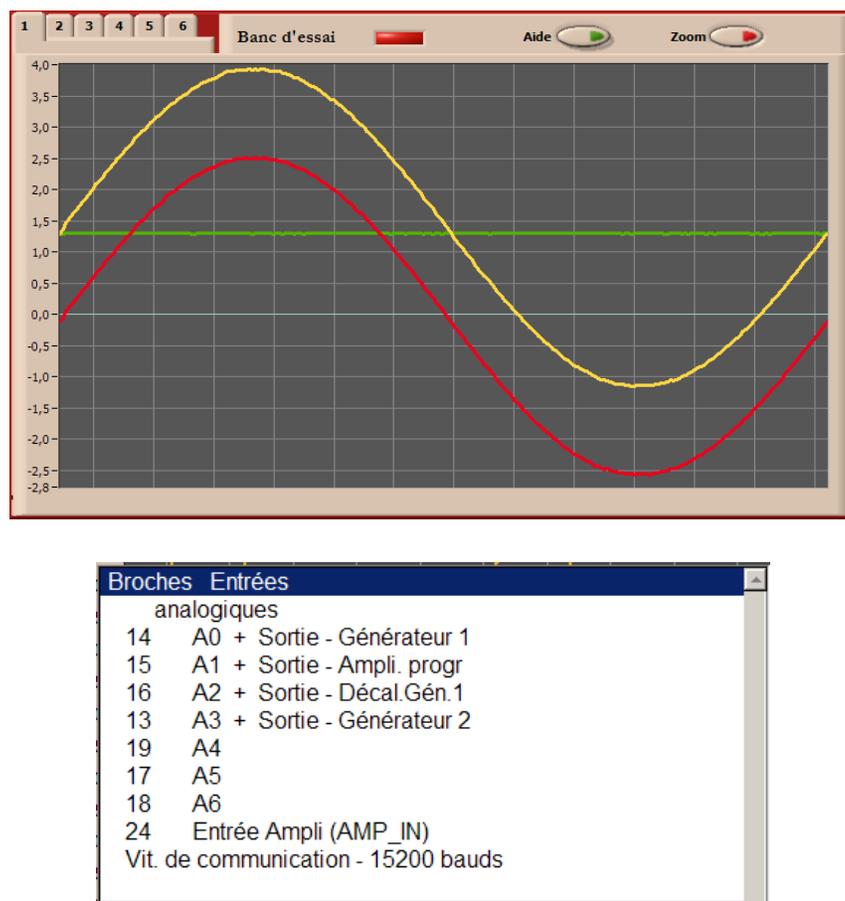


Figure 7.6 – Zoom informatique et menu d'aide

▪ FONCTIONNEMENT DE L'INTERFACE GRAPHIQUE

À la mise en route, le programme de l'ordinateur s'exécute en continu. Il fait la lecture des commandes de l'interface, les transmet au circuit d'expérimentation et il se place ensuite en mode de réception. Les données reçues du prototype sont traitées de façon à être affichables dans des formats faciles à interpréter et à analyser.

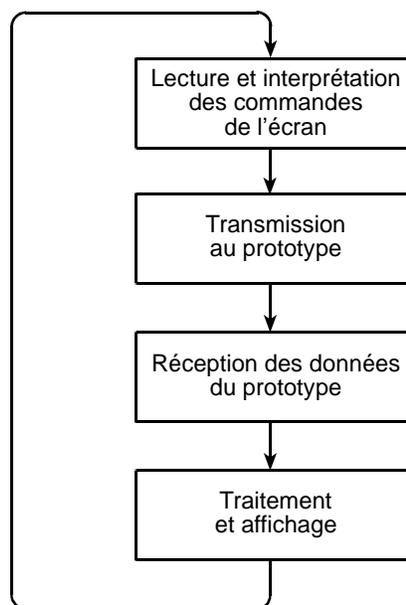


Figure 7.7 – Algorithme de l’interface de l’ordinateur

▪ DESCRIPTION ET FONCTIONNEMENT DU CIRCUIT D’EXPÉRIMENTATION

Un microcontrôleur reprogrammable en circuit réalise l’exécution des commandes, l’acquisition et la conversion des signaux d’entrées, le contrôle des circuits de génération de fonctions et la communication avec l’ordinateur.

Les circuits de génération de signaux utilisent des potentiomètres numériques contrôlés par programmation. Ils convertissent les commandes numériques en signaux analogiques. Au moyen de ces circuits, le microcontrôleur génère différentes formes d’ondes que l’on peut créer, presque à l’infini, en se servant de tableaux de fonctions prédéfinies.

À la mise en route, le programme du microcontrôleur effectue en boucle infinie la lecture et l’interprétation des commandes en provenance de l’ordinateur. Il exécute les commandes et il effectue ensuite l’acquisition et le traitement des données qu’il transmet au fur et à mesure à l’ordinateur.

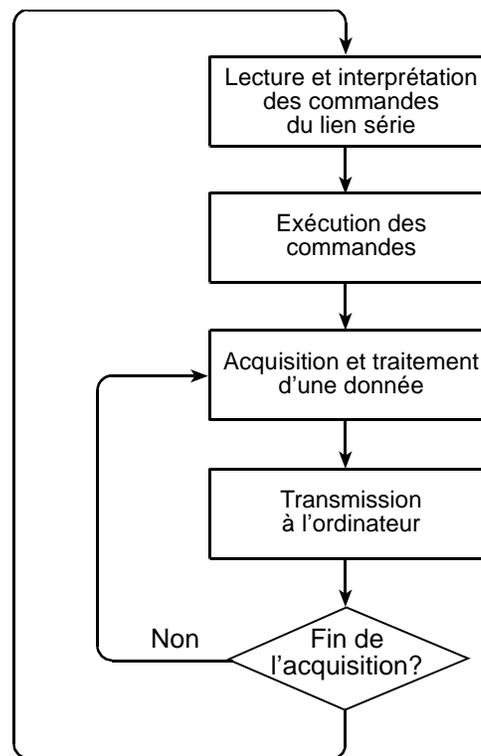


Figure 7.8 – Algorithme du programme du circuit d'expérimentation

▪ **L'ACQUISITION DE DONNÉES ET LE TRAITEMENT DE SIGNAL**

Le microcontrôleur convertit les signaux analogiques en signaux numériques. Il commande un multiplexeur permettant de choisir un canal à la fois parmi les sept offerts. Le convertisseur analogique/numérique du microcontrôleur fonctionne en mode unipolaire seulement. Avant de réaliser une conversion, il faut donc transformer les signaux bipolaires en signaux unipolaires.

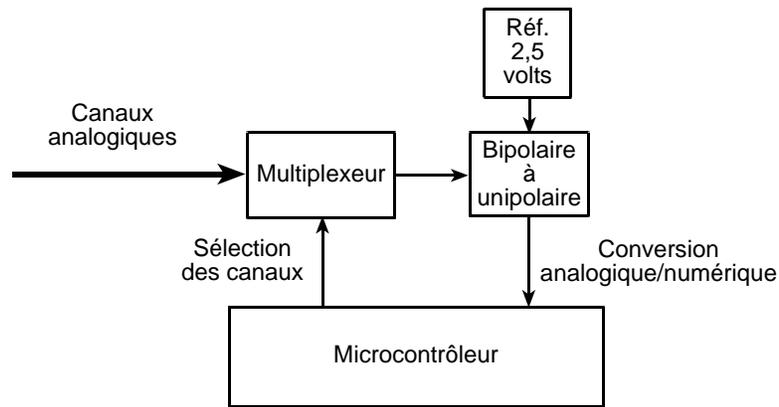


Figure 7.9 – Schéma de fonctionnement du circuit d'acquisition de données

On réalise cette transformation avec un circuit placé à la sortie du multiplexeur, de sorte qu'on peut s'en servir pour les sept canaux utilisés (figure 7.10). On procède de la façon suivante pour la partie électrique : on divise par deux le signal à convertir et on lui additionne 2,5 volts, soit la moitié de la valeur maximum de l'entrée. Du côté de la programmation, on soustrait 2,5 volts à la donnée et on la multiplie ensuite par 2 pour obtenir un nombre dont la plage varie de 5 volts à -5 volts. Le programme d'interface de l'ordinateur traite ensuite les données reçues comme des nombres réels signés. Ce procédé diminue très sensiblement le coût de fabrication du matériel.

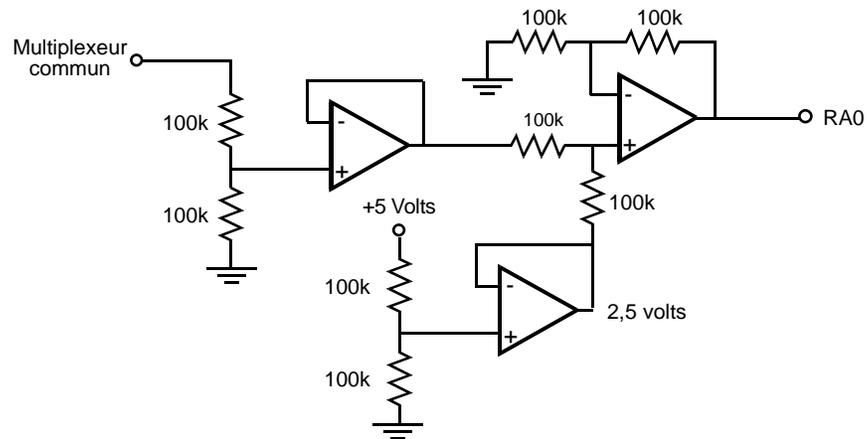


Figure 7.10 – Conversion d'un signal bipolaire en signal unipolaire

▪ LE GÉNÉRATEUR DE FONCTIONS UNIPOLAIRES

Le circuit de la figure 7.11 représente le générateur de fonctions unipolaires. Ce circuit fournit un signal continu ou une fonction prédéfinie préenregistrée dans un tableau en utilisant un potentiomètre numérique programmable d'une résolution de 256 échelons. Avec une alimentation de 5 volts, on a 0,02 volt par niveau. La sortie de la fonction produite se trouve à la broche A3 et on peut l'afficher avec le canal 3.

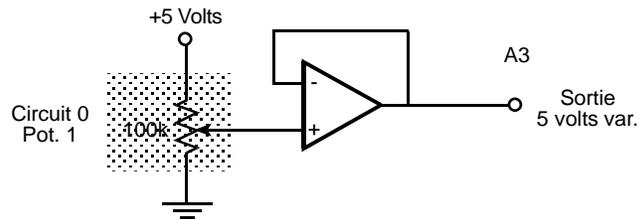


Figure 7.11 – Générateur de fonctions unipolaires

▪ LE GÉNÉRATEUR DE FONCTIONS BIPOLAIRES

Le montage de la figure 7.12 transforme en bipolaire une tension unipolaire. Cette tension consiste en une fonction continue ou une fonction prédéfinie. L'innovation apportée par ce type de circuit est que l'on obtient une résolution du signal résultant de 256 points, c'est-à-dire la plage complète du potentiomètre peu importe l'amplitude choisie. Avec le potentiomètre numérique 0 du circuit 1, on programme l'amplitude du signal et avec le potentiomètre 1, on fait varier le signal à l'intérieur de cette limite. On conserve ainsi la pleine résolution du potentiomètre indépendamment de l'amplitude choisie du signal de sortie. Cet aspect est très important puisque de cette façon on augmente la résolution du circuit lorsque l'on travaille avec de faibles signaux. On profite alors de la résolution des circuits analogiques avec tous les avantages de la programmation et de la production automatique d'ondes des circuits numériques. Par exemple, si l'amplitude de la sortie est de 10 volts, on aura une résolution de $10/256$ soit 0,039 volt par échelon et si on la diminue à 1 volt, on aura 0,0039 volt par échelon.

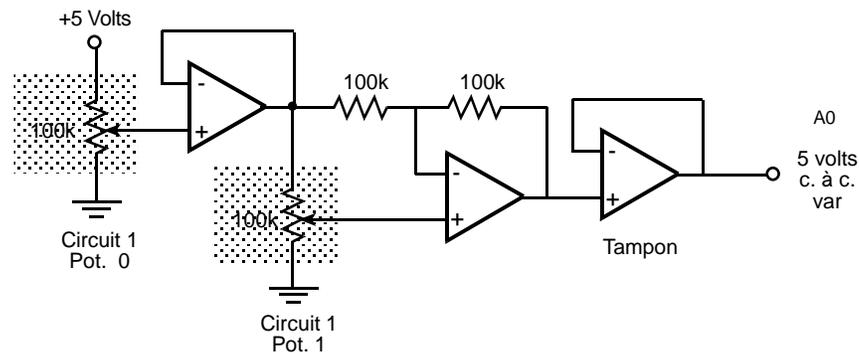


Figure 7.12 – Générateur de fonctions bipolaires

▪ LE GÉNÉRATEUR DE FONCTIONS BIPOLAIRES AVEC DÉCALAGE

Dans plusieurs types d'expériences, il faut un signal variant autour d'un point supérieur à zéro. Pour obtenir ce type de signal, on a couplé au circuit précédent un circuit de décalage. Ce circuit additionne une tension positive au signal du générateur de fonctions bipolaires (Figure 7.13). Un potentiomètre numérique contrôlable à partir de l'interface graphique permet de déterminer le signal à additionner. Il est possible de choisir à la fois l'amplitude du signal de sortie et son décalage (Figure 7.14).

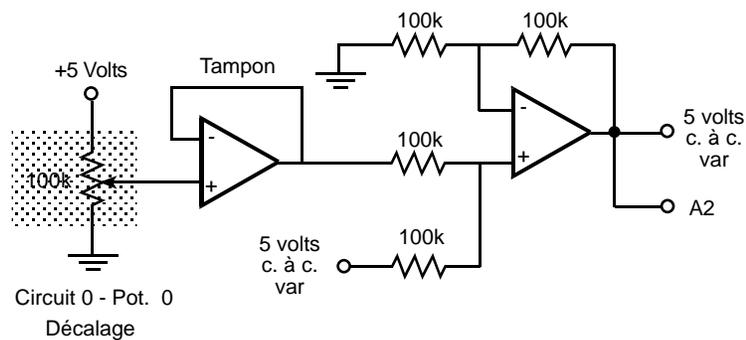


Figure 7.13 – Circuit de décalage du générateur de fonctions bipolaires

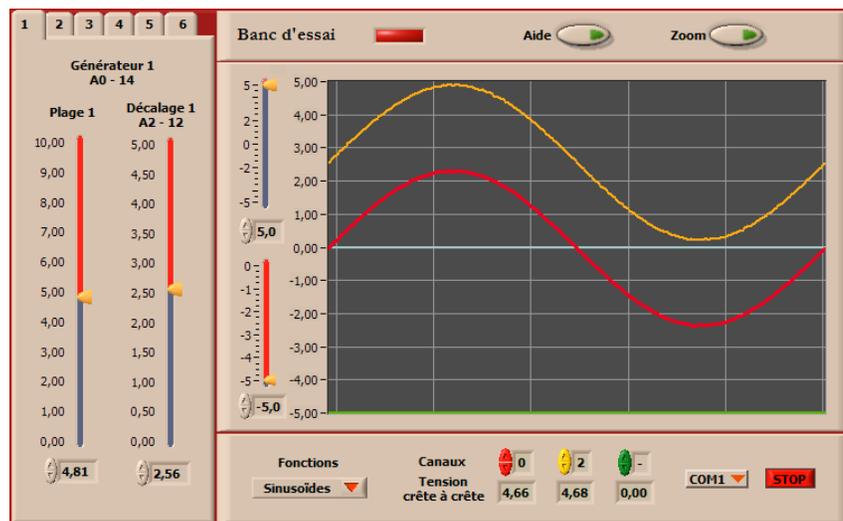


Figure 7.14 – Le graphique en jaune représente le signal décalé

▪ L'AMPLIFICATEUR PROGRAMMABLE

Un amplificateur à gain programmable permet de faire un zoom électronique pour l'analyse de signaux électriques de très faibles niveaux. On peut par exemple, modéliser un capteur avant de le placer dans un circuit d'amplification et de traitement de signal. C'est une étape d'analyse préliminaire importante dans le développement d'un système. Cette modélisation donne une représentation graphique du résultat attendu et contribue à la compréhension d'un phénomène. Elle permet en même temps de vérifier un système à différentes étapes de son développement. On peut également analyser une petite section d'une courbe en l'agrandissant et analyser des détails impossibles à voir autrement et, principalement, augmenter la résolution d'une mesure.

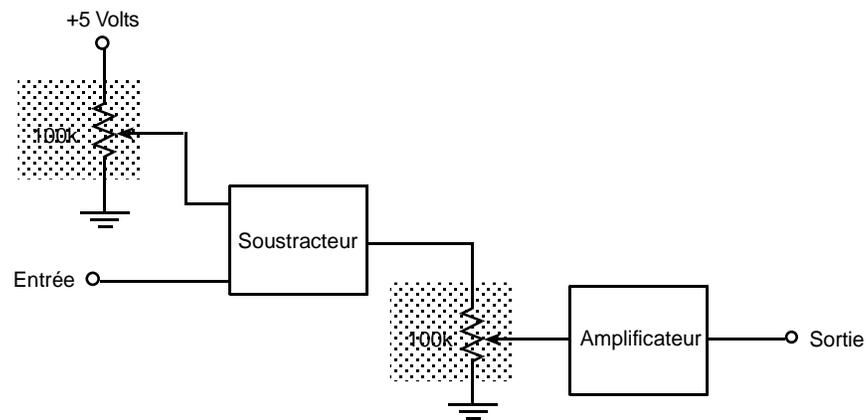


Figure 7.15 – Schéma de fonctionnement de l'amplificateur programmable

Un générateur du prototype génère un signal comme celui que l'on aperçoit à la figure 7.16. Un capteur aurait pu également être utilisé. Il s'agit d'un signal de très faible intensité que l'on a agrandi de façon informatique. On constate que la résolution est très faible et à moins d'avoir un appareil de mesure coûteux, on ne peut en faire une analyse détaillée.

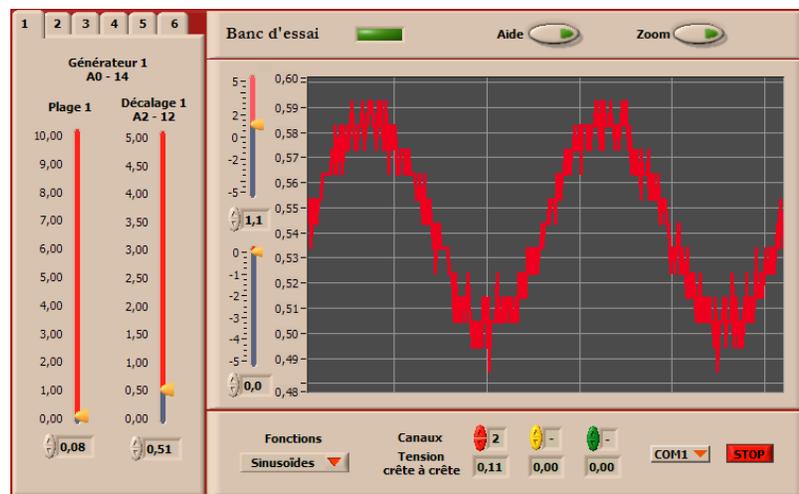


Figure 7.16 – Zoom informatique sur un signal de faible intensité

En réalisant un zoom électronique avec l'amplificateur à gain programmable, on peut agrandir le même signal et augmenter en même temps la résolution. On soustrait d'abord du signal à analyser la composante continue en utilisant un décalage et on amplifie ensuite la partie contenant la variation du signal.

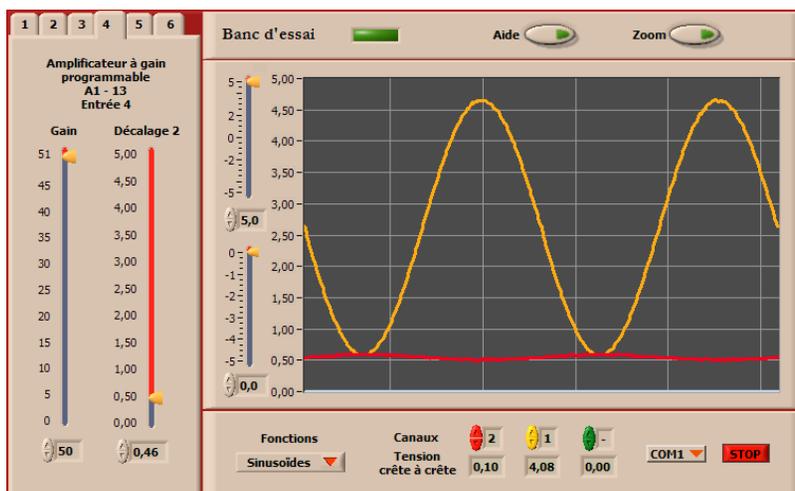


Figure 7.17 – Utilisation de l'amplificateur à gain programmable

On obtient ainsi une résolution très élevée et une représentation détaillée et fidèle du signal. La figure 7.17 représente en rouge le signal de la figure précédente et en jaune, le signal amplifié par un facteur de 50. Les indicateurs sous les commandes de choix des canaux donnent les tensions sous forme numérique. On peut obtenir des informations supplémentaires sur les valeurs des signaux en accédant à la chemise numéro 6 du classeur des commandes. On peut combiner en même temps l'utilisation de l'amplificateur à gain programmable avec un zoom informatique. La courbe de la figure 7.18 montre cette combinaison.

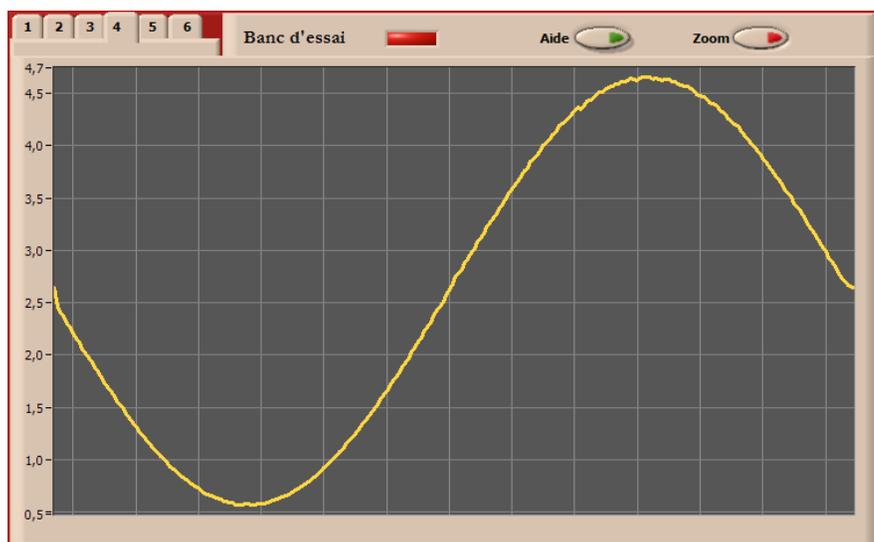


Figure 7.18 – Utilisation de l’amplificateur à gain programmable avec un zoom informatique

▪ LE PORT SPI ET LES SIGNAUX DE SORTIES SUPPLÉMENTAIRES

L’industrie propose actuellement de plus en plus de circuits programmables reliés à des microcontrôleurs et communiquant au moyen de normes nécessitant très peu de câblage. Ils permettent de miniaturiser le plus possible les appareils électroniques et d’en diminuer le coût. Un des standards de communication les plus répandus pour ces circuits est la norme SPI (*Serial Peripheral Interface*). Les circuits nécessaires à l’implantation de cette norme sont intégrés dans le microcontrôleur que nous avons choisi. Nous avons équipé ainsi des entrées et des sorties conformes à la norme SPI directement sur le connecteur de notre prototype. Il est donc possible de programmer et d’utiliser une foule de circuits de la technologie la plus récente pour en étudier le fonctionnement et effectuer une infinité d’expérimentations.

Nous avons également pourvu le connecteur du système de trois sorties de type TTL (*Transistor Transistor Logic*). Ces sorties génèrent des tensions de 0 et de 5 volts. On peut les contrôler directement à partir de l’interface graphique à l’aide de trois interrupteurs virtuels.



Figure 7.19 – Boutons de contrôle des sorties TTL

▪ L'ALIMENTATION

Dans le but de simplifier le circuit d'alimentation et de réduire les coûts du matériel, on emploie un bloc mural du même type que ceux que l'on retrouve dans les appareils domestiques les plus courants. Deux circuits de régulation produisent respectivement des tensions de +5 volts et de +9 volts.

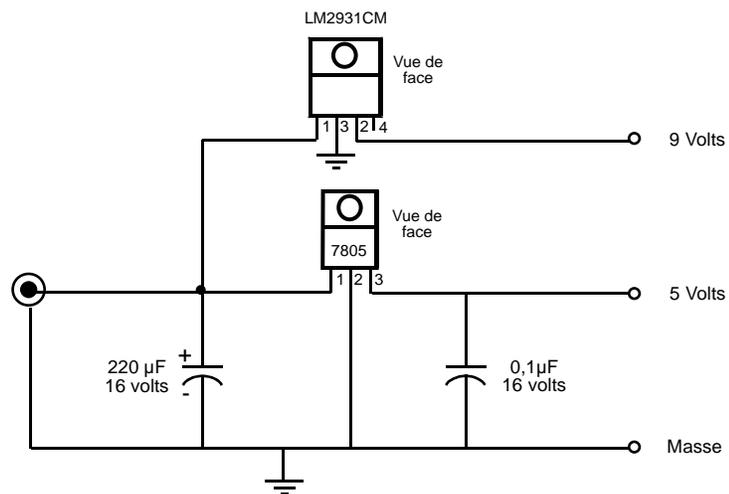


Figure 7.20 – Circuit d'alimentation de 5 et de 9 volts

On utilise un circuit inverseur de tension (Figure 7.21) pour transformer ensuite la tension de +9 volts en une tension de -9 volts.

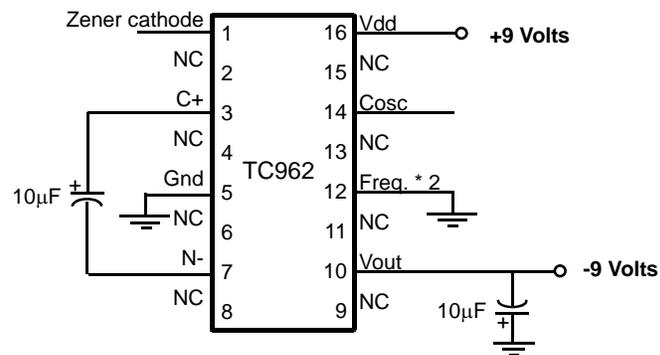


Figure 7.21 – Conversion d'une tension de +9 volts en une tension de -9 volts

▪ L'ENREGISTREMENT SUR DISQUE

Le recours combiné de l'ordinateur à cet outil permet d'enregistrer sur disque toutes les données des expériences exécutées que l'on peut par la suite traiter et analyser dans un chiffrier. On peut obtenir, à partir de ces données, des courbes que l'on peut comparer directement à celles préalablement obtenues avec les calculs et la simulation.

CHAPITRE 8 - SCÉNARIO D'INTÉGRATION PÉDAGOGIQUE

ÉLABORATION D'UNE DÉMARCHE PÉDAGOGIQUE DE TYPE HEURISTIQUE

Nous allons montrer ici comment nous pouvons utiliser cet environnement d'expérimentation dans une application répondant aux principes des considérations théoriques énoncées. C'est un projet présenté sous forme de tâche (voir l'annexe 3) et qui répond à l'approche par compétences. C'est également une tâche complète respectant l'approche systémique.

L'étudiant doit réaliser un système suivant les consignes du professeur. Par la suite, il pourra procéder par analogie à la mise en œuvre d'autres systèmes. Nous faisons appel aux trois types de connaissances décrites dans le cognitivisme :

- Les connaissances déclaratives

Les faits, les règles, les lois et les principes : appliquer les théorèmes de superposition et de Thévenin et des connaissances de base sur les amplificateurs opérationnels; faire appel aux équations d'une droite en mathématiques.

- Les connaissances procédurales

Les étapes de réalisation et le respect des consignes.

- Les connaissances conditionnelles

Le quand et le pourquoi d'une action : choisir les valeurs des résistances de façon à répondre efficacement aux consignes.

Nous nous adressons ici à des étudiants qui en sont à leur troisième session de formation, ce qui demande d'attacher de l'importance aux deux premières catégories de connaissances. Le but à atteindre est explicite et il s'agit d'un problème clairement défini.

- **LA COMPÉTENCE VISÉE**

Dans ce qui suit, nous allons exposer une démarche de contextualisation de l'apprentissage qui donnera à l'étudiant des moyens pour recontextualiser ses connaissances par la suite.

L'étudiant réalisera d'abord, dans une démarche soutenue par le professeur, un système simple d'acquisition de données pour l'étude des amplificateurs opérationnels. Cette expérimentation devra le rendre capable de mettre en œuvre de nouveaux systèmes

d'acquisition de données du même type que celui présenté ci-dessous mais à partir de configurations de circuits d'amplification et de consignes différentes.

▪ **TÂCHE : RÉALISER UN SYSTÈME D'ACQUISITION DE TEMPÉRATURE**

Réaliser un circuit d'acquisition de température et produire un graphique montrant les résultats obtenus et bien identifier les échelles.

- Matériel : un capteur de température LM35, un convertisseur analogique/numérique référencé à 5 volts, un amplificateur à alimentation unipolaire de 0 à 5 volts TLV2472, des résistances de 5 % de tolérance et une alimentation secteur.
- Consignes : utiliser la pleine résolution du convertisseur analogique/numérique pour une plage de lecture variant de 20 à 30 °C, choisir des résistances normalisées et utiliser une alimentation en provenance du secteur.

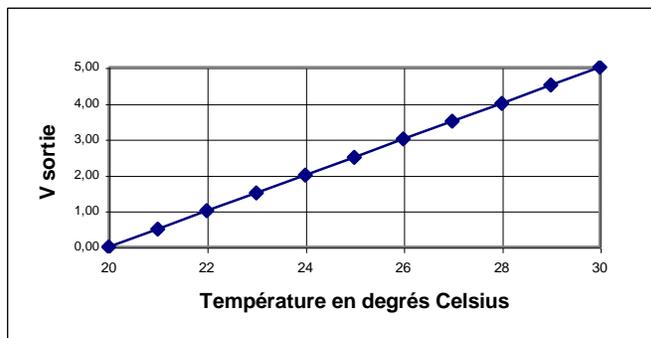


Figure 8.1 – Résultat recherché correspondant à la consigne

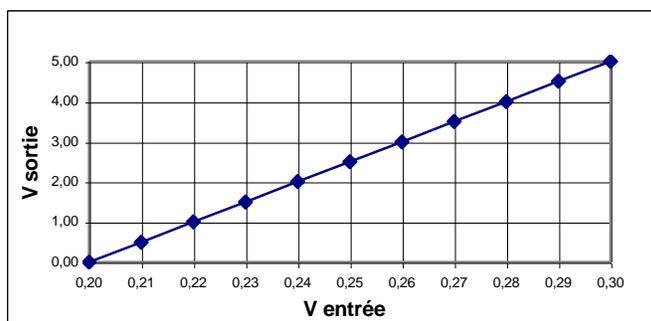


Figure 8.2 – Fonction de transfert du produit final

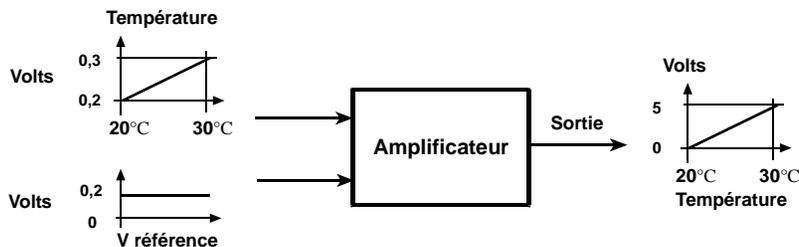


Figure 8.3 – Schéma de fonctionnement du circuit demandé

RAPPELS THÉORIQUES

▪ RÉSOLUTION D'UN CONVERTISSEUR

Si on choisissait une plage de 0 à 100 °C avec un convertisseur de 10 bits référencé à 5 volts, la résolution serait de 1023 échelons pour 100 °C tandis qu'avec une plage comprise entre 20 et 30 °C, la résolution est 10 fois plus grande, soit 1023 pour une plage de 10 °C.

▪ DESCRIPTION DU CAPTEUR DE TEMPÉRATURE

Le capteur de température LM35 fournit une tension de 10 mV par degré Celsius de 0 à 100 °C. On a, par exemple, 0 volt à 0 °C, 200 mV à 20 °C et 1 volt à 100 °C. Ce capteur donne une sortie linéaire en fonction de la température et il peut être alimenté avec une source de tension de 5 volts.

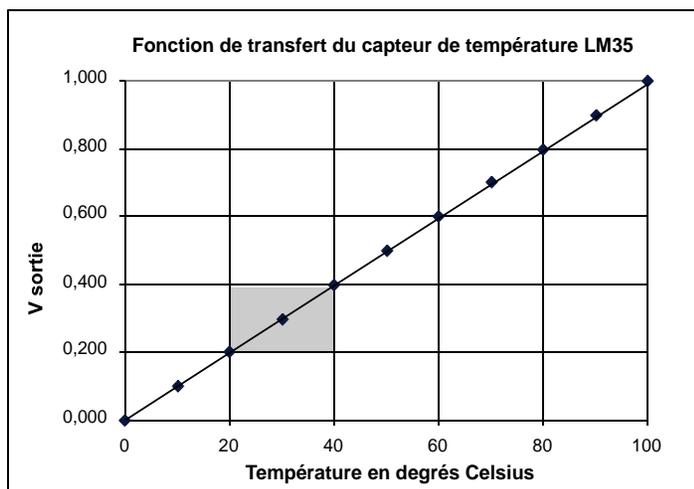


Figure 8.4 – La partie en gris représente la section à traiter

▪ LES AMPLIFICATEURS OPÉRATIONNELS À ALIMENTATION UNIPOLAIRE

Les amplificateurs opérationnels TLV2472 fournissent une tension de sortie de 0 à 5 volts avec une alimentation unipolaire de 0 à 5 volts. On les qualifie d'amplificateurs *rail à rail*. Comme il n'y a pas d'alimentation négative, on ne peut pas avoir de tension de sortie négative. On doit en tenir compte et utiliser des configurations respectant cette restriction. Ces circuits sont particulièrement intéressants pour des alimentations à piles.

▪ LES CONFIGURATIONS POSSIBLES DE CIRCUITS

Les amplificateurs opérationnels sont des éléments linéaires et il n'existe en tout que quatre cas différents de fonctions de transfert. Ces fonctions seront de la forme $y = mx + b$, $y = mx - b$, $y = -mx + b$ et $y = -mx - b$. Le circuit nécessaire à la réalisation de notre circuit sera l'une des quatre configurations montrées à la figure 8.6.

La configuration nécessaire à la réalisation du circuit demandé devra donner une sortie de la forme $y = mx - b$. Pour faire notre choix, nous allons analyser chacune des configurations possibles. La figure 8.5 fait voir le schéma de fonctionnement pour l'étude des différents circuits et la figure 8.6 donne les schémas électriques des quatre configurations possibles.

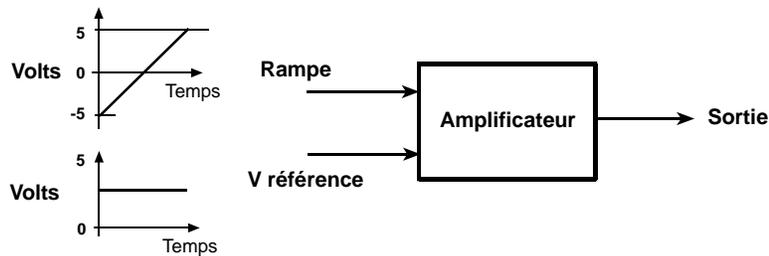


Figure 8.5 – Schéma de fonctionnement pour l'analyse des fonctions de transfert

Le théorème de superposition montre que le résultat final du circuit sera la somme des deux sources utilisées à l'entrée.

TRAVAIL DE L'ÉTUDIANT

D'après le graphique de la fonction de transfert (Figure 8.2), il devra déterminer la configuration du circuit, faire les calculs, choisir le matériel et réaliser le montage. Il testera les différentes configurations en utilisant le système d'expérimentation et un tableur.

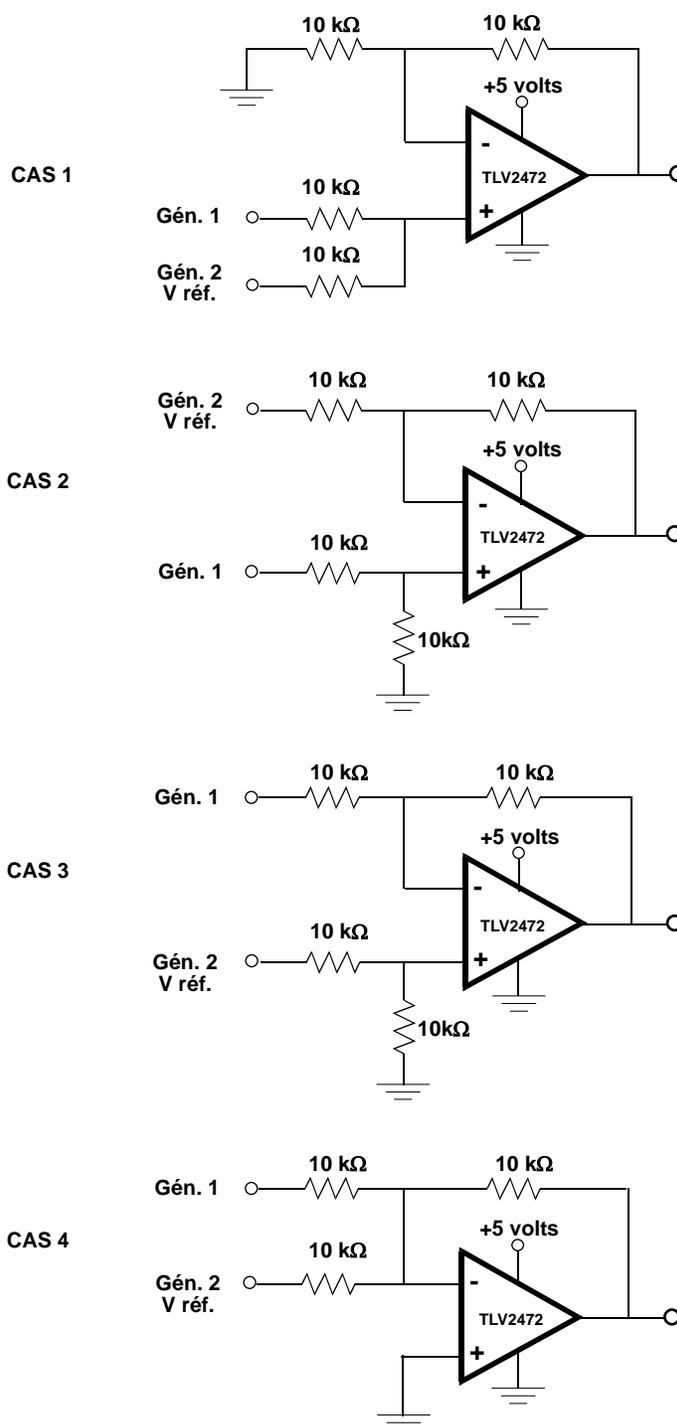
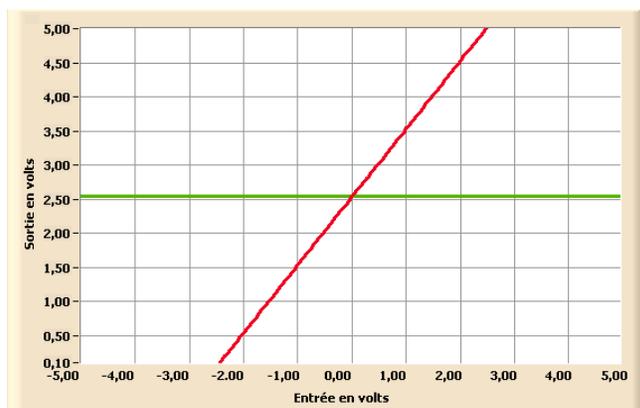
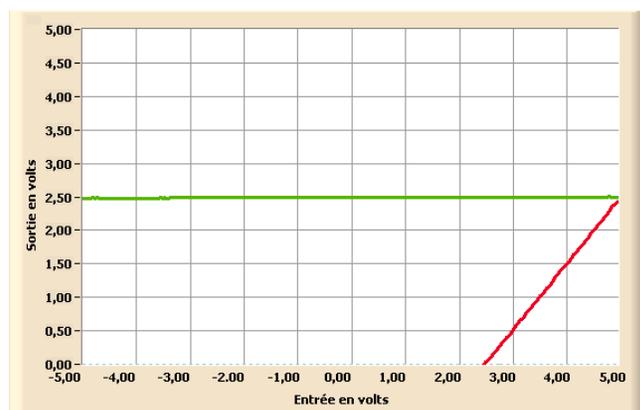
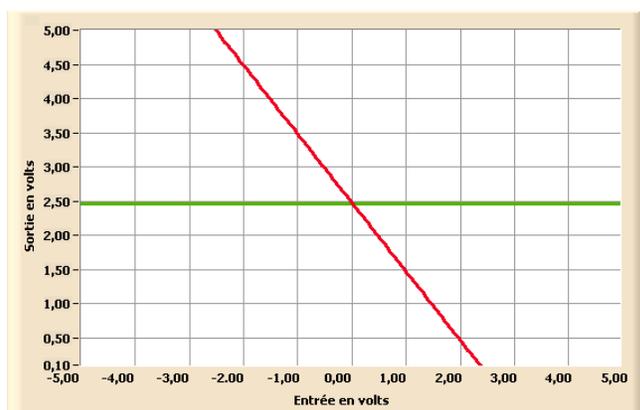
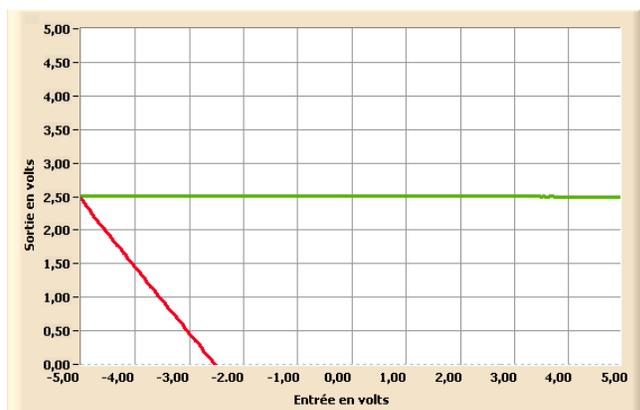


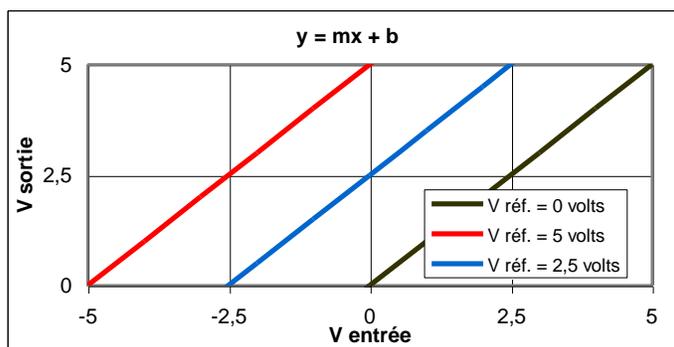
Figure 8.6 – Configurations pour les quatre types de fonctions de transfert

Cas 1 $y = mx + b$ Cas 2 $y = mx - b$ Cas3 $y = -mx + b$

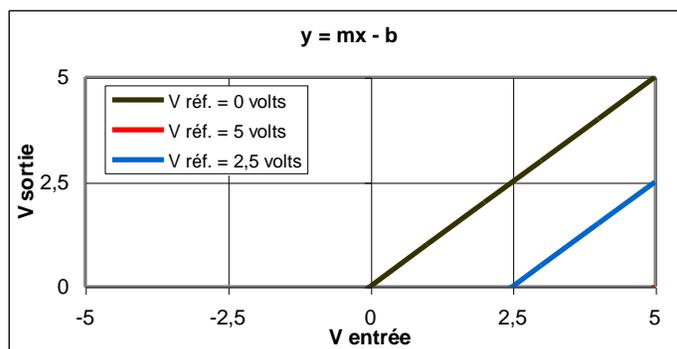


Cas 4 $y = -mx - b$

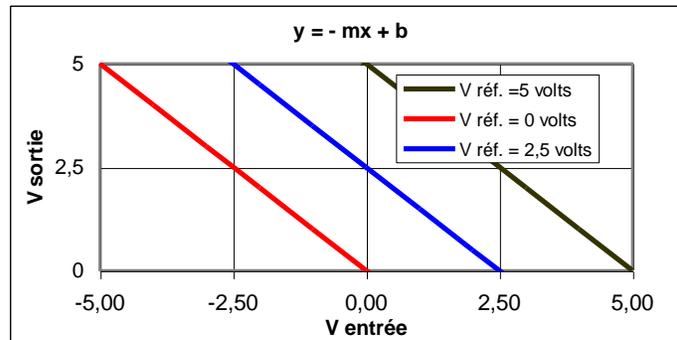
Figure 8.7 – Résultats obtenus avec le système d'expérimentation



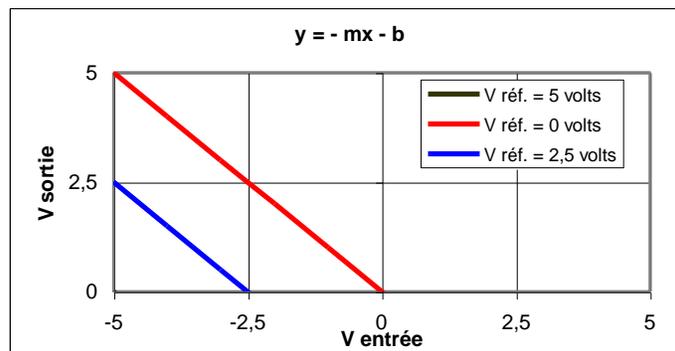
Cas 1



Cas 2



Cas 3



Cas 4

Figure 8.8 – Simulation avec un tableur

Nous avons reproduit les résultats des différentes configurations avec le système de développement (Figure 8.7) et un tableur (Figure 8.8). Avec le système de développement, la référence apparaît en vert et la fonction de transfert, en rouge.

Le tableur oblige l'étudiant cependant à placer des limites aux variables. Dans l'exemple qui nous concerne, il devra s'assurer de ne pas dépasser les limites de l'amplificateur opérationnel proposé, soient une entrée et une sortie positives ne dépassant pas cinq volts. Notre système, par contre, analyse un circuit réel et le niveau de validité est alors très élevé. On donne immédiatement aux étudiants une information sur des erreurs qu'ils commettent fréquemment. La comparaison immédiate avec la réalité offre une information précieuse pour la détection et la correction rapide des erreurs.

▪ CHOIX DE LA CONFIGURATION DU CIRCUIT

La figure 8.2 illustre la fonction de transfert recherchée. La pente (m) de la courbe représente le gain et le décalage (b), le seuil du signal d'acquisition. L'équation de la courbe est de la forme $y = mx - b$ (Figures 8.7 et 8.8), le montage sera donc le cas 2 des amplificateurs opérationnels (Figure 8.6) et il prendra la forme du schéma de la figure 8.9.

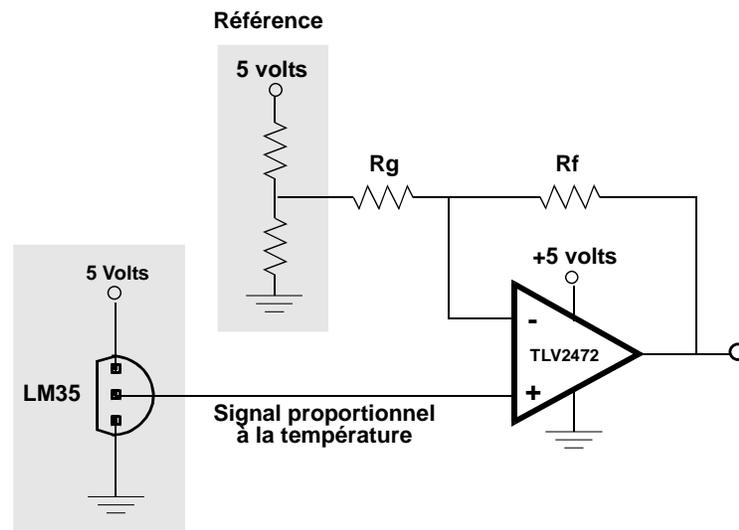


Figure 8.9 – Schéma du circuit de traitement du signal du LM35

Comme la référence sera fixe, on utilisera un diviseur de tension au lieu d'une source externe et il faudra tenir compte de sa résistance équivalente pour le calcul du gain de l'amplificateur. Le capteur de température LM35 est vu de dessus.

CALCULS ET MISE EN OEUVRE

D'après la fonction de transfert, figure 8.2, avec un gain de 50, on obtient une tension de sortie de 0 volt avec un signal d'entrée de 0,2 volt (20 °C) et 5 volts avec un signal d'entrée 0,3 volt (30 °C). La résolution du convertisseur analogique/numérique sera alors maximale pour cette partie du signal.

Le système d'expérimentation est enfichable sur une plaquette de montage ce qui réduit considérablement le temps de réalisation. Si un étudiant choisit une mauvaise configuration, il pourra très vite faire un nouveau montage et analyser les nouveaux résultats.

On peut réaliser les calculs suivant deux approches différentes : soit par la méthode classique qui consiste à définir et à utiliser des équations générales à partir des principes théoriques de calculs de circuits, soit par une démarche heuristique d'analyse qui découpe le circuit en modules et en appliquant progressivement les principes théoriques.

▪ **MÉTHODE CLASSIQUE DE CALCUL**

Les équations suivantes présentent les formules propres à la méthode classique de calcul des circuits de traitement de signal de cette configuration. Ce type de calcul est relativement complexe du fait que l'on s'adresse à des étudiants peu avancés dans le programme. L'utilisation de formules déjà préparées n'oblige pas les étudiants à analyser le circuit et à rechercher leur propre solution, ce qui constitue un autre inconvénient.

$$V_{\text{sortie}} = V_{\text{entrée}} \left(\frac{R_f + R_g + R_1 \parallel R_2}{R_g + R_1 \parallel R_2} \right) - V_{\text{ref}} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \left(\frac{R_f}{R_g + R_1 \parallel R_2} \right)$$

$$m = \frac{R_f + R_g + R_1 \parallel R_2}{R_g + R_1 \parallel R_2}$$

$$|b| = V_{\text{ref}} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \left(\frac{R_f}{R_g + R_1 \parallel R_2} \right)$$

Note : Le symbole " || " signifie "en parallèle"

▪ **UTILISATION D'UNE DÉMARCHE HEURISTIQUE**

Nous allons montrer comment une démarche plus intuitive sollicite l'esprit créatif des étudiants tout en leur permettant d'intégrer des principes de fonctionnement et de favoriser le transfert de leurs connaissances.

Après avoir analysé le circuit pour en obtenir une vision globale, l'étudiant choisira un élément de base du circuit et il procédera à la résolution du problème de façon itérative. Au fur et à mesure du déroulement de sa démarche, il ajoutera graduellement de nouveaux éléments en tenant compte de l'influence des uns par rapport aux autres. Notre environnement le tiendra continuellement informé des conséquences de son activité. On souhaite par ce moyen l'amener à intégrer ses connaissances.

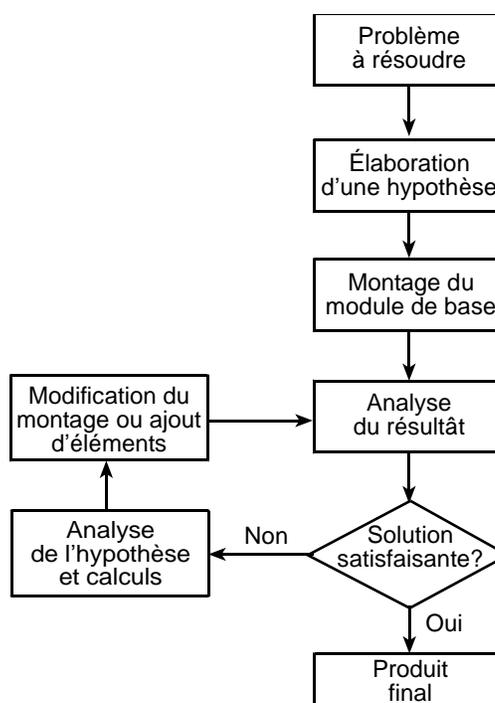


Fig. 8.10 – Processus itératif de recherche de la solution

En se reportant au schéma de la figure 8.9, on commencera par calculer le gain. C'est la partie principale de notre circuit. On passera ensuite au calcul du circuit du signal de décalage pour la référence et on le branchera au montage précédent, en tenant compte du couplage des impédances, pour obtenir un circuit complet. En dernier lieu, on choisira les valeurs normalisées des résistances suivant la consigne qui exige une précision du résultat de l'ensemble comprise entre 0 et 5%.

Calcul du gain

À partir du graphique de la fonction de transfert (Figure 8.2), on peut trouver cette valeur mathématiquement, au moyen des équations suivantes :

$$y = mx - b$$

$$\text{Le gain} = m$$

$$m = (5 - 0) / (0,30 - 0,20)$$

$$m = 50$$

Calcul du signal de décalage

$$y = mx - b$$

$$\text{Le décalage} = |b|$$

$$\text{Lorsque } y = 0, x = 0,2, \text{ on a alors } 0 = 50 \times 0,2 - b$$

$$|b| = 10$$

Calcul de Rf et de Rg

En ne tenant pas compte pour le moment de $R1 \parallel R2$ en série avec Rg , le gain à l'entrée positive est égal à $1 + (Rf / Rg)$.

$$50 = 1 + (Rf / Rg)$$

$$Rf = 49 Rg$$

La consigne nous indique que l'alimentation est en provenance du secteur, donc on n'a pas à tenir compte de la consommation d'énergie. Cela permet de choisir des valeurs de résistances relativement faibles et d'obtenir une meilleure immunité contre le bruit.

Si on choisit la résistance Rf égale à $100 \text{ k}\Omega$, alors Rg sera égale à 2040Ω . Cette valeur sera modifiée ultérieurement en fonction de $R1 \parallel R2$.

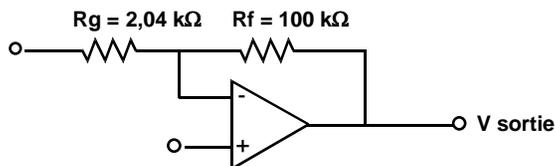


Figure 8.11 – Circuit amplificateur sans le décalage

Calcul de la tension de décalage

Pour avoir une sortie de 0 volt lorsque la tension en provenance du capteur est de 0,2 volt, (20 °C), on procède en utilisant le théorème de superposition.

Le gain à l'entrée positive est de 50 et le gain à l'entrée négative est $-(R_f / R_g)$ soit - 49.

$$V \text{ sortie} = V \text{ entrée positive} \times 50 - \text{entrée négative} \times 49$$

$$0 = (0,2 \times 50) - \text{entrée négative} \times 49$$

$$\text{Entrée négative} = 10/49 = 0,204 \text{ volt}$$

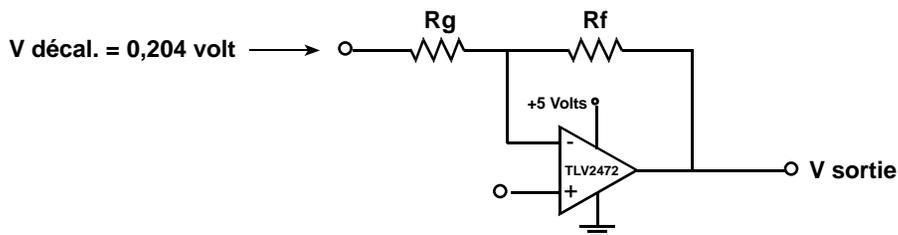


Figure 8.12 – La tension de décalage est de 0,204 volt

Calcul du diviseur de tension

Avec des résistances de 5 % de tolérance, on peut arrondir 0,204 à 0,2. On utilisera un diviseur de tension avec une référence de 5 volts en le calculant comme suit :

$$V_{R2} = E \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$$

L'alimentation venant du secteur, on peut choisir une valeur relativement faible pour la résistance R2. En prenant 220 Ω on obtient la valeur suivante pour R1 :

$$0,2 = 5 * 220 / (220+R1) \text{ donc } R1 = 5,2 \text{ k}\Omega$$

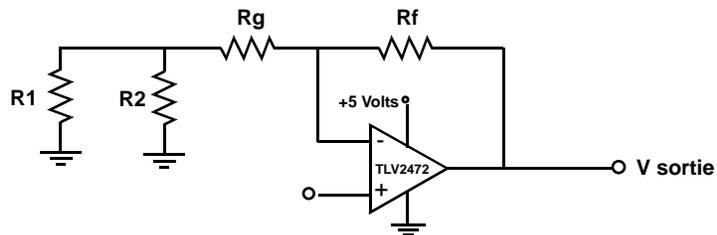


Figure 8.13 – Calcul de la tension de décalage

Si on applique le théorème de Thévenin, Rg est en série avec R1 parallèle à R2 (Figure 8.13), on obtient :

$$R1//R2 = R1 * R2 / (R1 + R2) = 5200 * 220 / 5420 = 211 \Omega$$

Rg a été évalué précédemment à 2,04 kΩ sans tenir compte de R1//R2. Si on entre cette valeur dans le calcul de Rg, on aura 2040 - 211 = 1,829 kΩ.

En tenant compte des tolérances de 5 % des résistances, on peut arrondir Rg à 1,8 kΩ.

Les valeurs normalisées des résistances du circuit seront les suivantes :

$$Rf = 100 \text{ k}\Omega$$

$$Rg = 1,8 \text{ k}\Omega$$

$$R1 = 5,2 \text{ k}\Omega$$

$$R2 = 220 \Omega$$

cette courbe peuvent être enregistrées automatiquement dans un tableur pour la présentation d'un rapport.

▪ LA RECONTEXTUALISATION

Afin de donner à l'étudiant la possibilité de recontextualiser les connaissances acquises dans la réalisation de la tâche précédente, nous la leur ferons exécuter avec des consignes différentes. Par exemple, on peut utiliser des amplificateurs à alimentation bipolaire ou une alimentation à piles ou bien exiger une configuration différente du circuit d'amplification, ou demander une plus grande précision. Cela permet de développer leurs connaissances conditionnelles.

Cependant avec des étudiants débutants et de niveau intermédiaire, comme nous l'avons postulé dans les considérations théoriques et suite à l'expérience décrite à l'annexe 3 pour l'application d'une pédagogie de projets, nous leur fournirons un cadre de travail déterminé afin de pouvoir s'adresser le plus possible à tous en même temps et à faire appel de façon proportionnée aux trois catégories de connaissances de la pédagogie cognitive. On placera ainsi les étudiants dans une situation de créativité tout en réduisant l'intervention du professeur.

CONCLUSION

Cette application montre que notre environnement d'expérimentation respecte les principes et les considérations théoriques décrits. Il constitue un outil pour travailler sur les trois types de connaissances développés dans les études sur le cognitivisme. Il permet d'appliquer la démarche pédagogique constructiviste et la pédagogie de projets et d'exécuter une tâche complète suivant les principes de l'approche systémique.

Grâce à cet environnement, on donne aux étudiants, la possibilité de prendre des initiatives et d'adopter une démarche heuristique.

CONCLUSION

QUALITÉS PÉDAGOGIQUES POUR LES ÉTUDIANTS

Lors de nos mises à l'essai, les systèmes que nous avons créés se sont montrés bien adaptés aux approches par compétences et par projets. Les deux premiers prototypes, ayant été industrialisés, sont soumis à l'expérimentation depuis six ans déjà. Nous avons pu constater qu'ils favorisent le transfert et la mobilisation des connaissances. Ils donnent aux professeurs la possibilité de respecter le rythme d'apprentissage des étudiants indépendamment de leurs capacités, de leur motivation et des préalables de chacun. Le fait que les étudiants possèdent leur propre matériel d'expérimentation, utilisable en tout lieu, peu coûteux et facile à manipuler, leur donne le temps nécessaire pour atteindre la maîtrise d'un sujet. Ce matériel aide les étudiants à comprendre des notions fondamentales difficiles à intégrer autrement dans le contexte actuel et à s'engager activement dans la construction de leurs savoir-faire par une démarche exploratoire et expérimentale. Selon nous, cet environnement d'apprentissage facilite le processus d'intégration et de réinvestissement des connaissances en procurant aux apprenants une vision globale de ce qu'ils doivent réaliser.

Notre système final d'expérimentation est très stimulant pour la création et la vérification d'hypothèses. Il constitue, à notre avis, un apport important dans la formation de schémas conceptuels. Au lieu d'utiliser l'ordinateur comme exerciceur, on s'en sert pour représenter et contrôler des phénomènes physiques. Les étudiants peuvent refaire rapidement une expérimentation avec de nouveaux paramètres et entreprendre une démarche heuristique pour la création de modèles et la formulation d'hypothèses. Grâce à cet instrument, le professeur peut appliquer efficacement une pédagogie constructiviste. En reprenant une expérience de multiples façons, les étudiants développent une démarche d'expert et mobilisent leurs connaissances pour un transfert réel de leurs connaissances. Ils peuvent tirer profit de leurs erreurs et accéder au plaisir de la découverte.

Les analyses graphiques des résultats, adaptées à l'étude de la technologie, fournissent un support efficace à la détection et à la correction des erreurs. La correction rapide des erreurs, en plus de réduire les délais d'apprentissage, renforce la maîtrise du sujet chez les étudiants et leur donne une grande confiance en eux-mêmes.

Les deuxième et troisième prototypes sont entièrement programmables en circuit et ils servent directement à l'enseignement de la programmation de base des microcontrôleurs. Les circuits électroniques qui les composent facilitent considérablement l'étude et le développement d'applications des circuits programmables.

QUALITÉS PÉDAGOGIQUES POUR LES PROFESSEURS

En plus de constituer une ressource pertinente au développement des apprentissages pour les étudiants, l'utilisation de cet environnement se révèle très avantageuse pour les professeurs. Il facilite la mise au point de nouvelles expériences pour l'élaboration et la préparation de cours et la production rapide de graphiques pour des textes et des présentations. Il rend possible la démonstration en classe de principes d'électronique sans équipement professionnel complexe.

Le deuxième prototype est toujours employé dans les cours d'initiation à la programmation et dans ceux de conception en électronique au collégial. Les résultats positifs obtenus nous ont amené au développement d'une nouvelle version de ce système, en cours, à l'École polytechnique de Montréal, dans un projet d'intégration des apprentissages pour les étudiants de deuxième session du Génie informatique et du Génie logiciel. Il est utilisé également, au département de Génie logiciel, dans un projet de recherche en didactique.

AVANTAGES MATÉRIELS

Les coûts liés à l'achat d'équipement reproduisant exactement une situation de travail sont très élevés et cet équipement devient vite désuet. Notre matériel d'expérimentation recourt à des circuits de technologie de pointe, est peu coûteux et d'une grande facilité de mise à jour. Le couplage à un ordinateur en utilisant l'instrumentation virtuelle procure ainsi un environnement très souple et très économique.

AMÉLIORATIONS POSSIBLES

▪ RÉDACTION DE GUIDES

Les textes guides actuels ont été rédigés pour un usage en contexte de classe, où le professeur intervient. Ces textes devront être revus et augmentés pour une utilisation autonome par les étudiants. Il faudrait ensuite préparer un second guide, basé sur la recherche d'une démarche de pédagogie de projets, comme on l'a présentée à l'annexe 3, à l'intention des professeurs.

Ce guide les assisterait dans la mise au point de projets adaptés aux différents niveaux d'étudiants ciblés en se servant de notre environnement d'expérimentation.

▪ AMÉLIORATION DES LOGICIELS

On pourrait améliorer l'interface graphique en fournissant aux étudiants de l'aide en ligne pour l'emploi du système et pour faciliter encore davantage la détection rapide de leurs erreurs. Cette aide pourrait inclure des fondements théoriques et des exemples pour la mise au point d'expériences.

Nous pourrions également développer de nouvelles fonctions, en modifiant la programmation du microcontrôleur afin d'en élargir le champ d'application. Nous pourrions aussi programmer de nouvelles interfaces graphiques pour des applications spécifiques et pour une simplification de son utilisation par des étudiants débutants.

Le système pourrait aussi posséder des fonctions de travail par Internet pour la réalisation de travaux d'équipes à distance.

▪ AMÉLIORATION DU MATÉRIEL

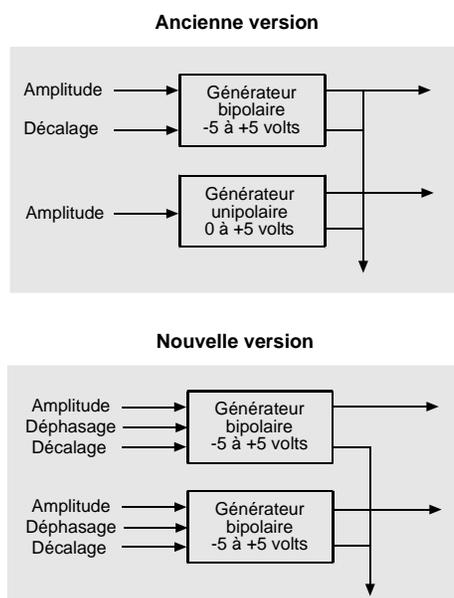


Figure 9.1 – Modifications matérielles futures

Dans l'immédiat, la modification matérielle la plus intéressante à apporter, et qui n'entraînerait que de faibles coûts supplémentaires, serait de modifier les deux générateurs de fonction. On les remplacerait par deux circuits identiques, mais auxquels on ajouterait à chacun une commande de déphasage (Figure 9.1). Cette configuration offrirait la possibilité de vérifier l'effet de l'addition, de la soustraction, de la division ou de la multiplication de deux ondes dont la phase varie l'une par rapport à l'autre. La figure 9.2 illustre la soustraction de deux signaux sinusoïdaux dont l'un est déphasé de 30 degrés. La courbe en jaune montre le résultat de la soustraction.

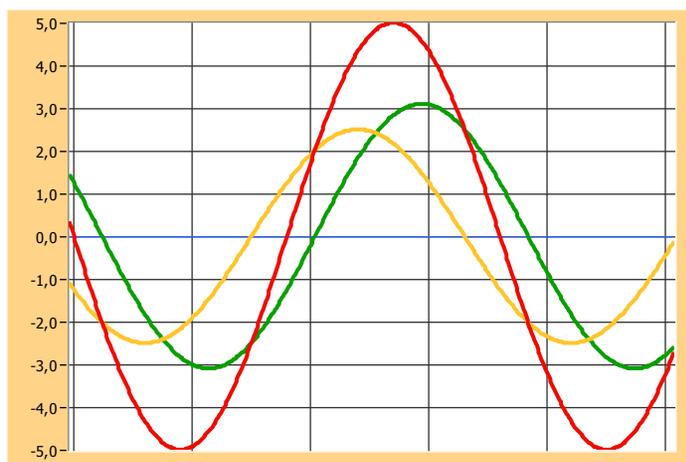


Figure 9.2 – Soustraction de deux signaux déphasés de 30 degrés

Pour des raisons de simplicité, de minimisation des coûts et pour faciliter sa diffusion, le troisième prototype dans sa version actuelle est destiné à l'étude de phénomènes se déroulant à basse vitesse. Il serait pertinent d'y ajouter des fonctions pour l'analyse de signaux évoluant rapidement dans le temps, en particulier, pour l'étude des filtres. Par contre, cela augmenterait sensiblement la complexité et le coût du produit. Il est possible cependant que dans un avenir rapproché, compte tenu de l'augmentation accélérée des capacités des circuits et de la diminution constante des prix, on puisse envisager cette possibilité, ce qui nous permettrait de cibler davantage de cours du programme.

EN RÉSUMÉ

Le type d'apprentissage proposé avec notre système favorise la compréhension et la maîtrise d'un phénomène et il aide à l'intégration des apprentissages. On offre aux étudiants, en technologie un outil de vérification et d'élaboration d'hypothèses pour stimuler la démarche hypothético-déductive. On encourage leur créativité et leur initiative en leur permettant de concentrer leurs efforts sur l'aspect cognitif de la solution d'un problème en leur proposant des expériences novatrices.

L'approche préconisée, fondée spécialement sur la rapidité du passage à l'action, change le paradigme d'apprentissage. En rendant les étudiants plus actifs, elle leur permet d'appliquer sans délai ce qu'on leur enseigne et c'est peut-être là, la caractéristique la plus importante de notre recherche dont le but ultime est de mieux enseigner et surtout de mieux faire apprendre et c'est ce que nous croyons avoir réalisé.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTOLFI, Jean-Pierre *L'erreur, un outil pédagogique* Paris, ESF éditeur, 1997. 117 p.
- BRUNER, Jerome *The Process of Education* Harvard University Press, 2002. 97 p.
- CARROLL, John M. *Minimalism Beyond the Nurnberg Funnel* édité par John M. Carroll, The MIT Press, 1998. 416 p.
- DAVID, Jane, in Todd Openheimer, *The Computer Delusion*, The Atlantic Monthly, juillet 1997.
- DE ROSNAY, Joël *Le Macroscop* Éditions du Seuil, 1975. 295 p.
- DERTOUZOS, Michael L. *What WILL Be* Harper Collins Publishers, Inc, 1998. 368 p.
- DÉSILET, Mario et Claude Brassard *La notion de compétence revue et corrigée à travers la lunette cognitiviste* dans *Pédagogie collégiale*, vol. 7, n° 4, mai 1994, p. 7-10.
- GARNER, Howard *Les formes de l'intelligence* Éditions Odile Jacob, Paris 1997. 476 p.
- GEE, James Paul *What Video Games Have to Teach Us* Palgrave Macmillan, 2003. 225 p.
- JOHSUA, Samuel et Jean-Jacques Dupin *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques* Presses universitaires de France, Paris 1999. 422 p.
- LAROSE F. et al. *Information and Communication Technologies in University Teaching and in Teacher Education : Journey in a Major Québec University's Reality*, *Electronic Journal of Sociology*, vol 4 no 3, 1999,
<http://www.sociology.org/content/vol004.003/francois.html>.
- LASNIER, François *Réussir la formation par compétences* Guérin, éditeur ltée, Montréal 2000. 485 p.

- MORIN, Edgar *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur* Édition du Seuil, Paris 1999. 136 p.
- NONNON, Pierre, *Proposition d'un modèle de recherche développement technologique en éducation* Laboratoire de Robotique Pédagogique, 1990, Université de Montréal.
- PAPERT, Seymour *Le jaillissement de l'esprit* Flammarion, 1981. 298 p.
- PAPERT, Seymour *The Children's Machine* BasicBooks, Harper Collins Publishers, Inc 1993. 242 p.
- PERRENOUD, Philippe *Des savoirs aux compétences. De quoi parle-t-on en parlant des compétences?* dans *Pédagogie collégiale*, 1995, vol.9 n° 1, p. 20-24.
- PERKINS David N., Judah L Schwartz, Mary Maxwell West, Martha Stone Wiske *Software Goes to School* Oxford University Press, 1995. 288 p.
- PERRENOUD Philippe *Construire des compétences dès l'école* ESF éditeur, Paris 1997, 125 p.
- PERRENOUD Philippe *Dix nouvelles compétences pour enseigner* ESF éditeur, Paris 1999. 188 p.
- PITT Joseph C. *Thinking About Technology* Seven Bridges Press, New York 2000. 146 p.
- REY, Bernard *Les compétences transversales en question* ESF éditeur, Paris 1996. 216 p.
- RHEINGOLD, Howard *Virtual Reality* Touchtone Book, Simon & Shuster, 1991. 416 p.
- RESNICK, Mitchel *Turtles, Termites, and Traffic Jams* Cambridge Massachusetts, The MIT Press, 1997. 164 p.
- RITTER, David J. *Labview Gui, Essential Techniques* McGraw-Hill. 2002. 564 p.

TARDIF, Jacques *Intégrer les nouvelles technologies de l'information* Paris, ESF éditeur, 1998, 128 p.

TARDIF, Jacques *Pour un enseignement stratégique* Montréal, Les éditions logiques, 1997. 474 p.

TARDIF, Jacques *Le transfert des apprentissages* Montréal, Les éditions logiques, 1999. 223 p.

TARDIF, Jacques *La construction des connaissances* dans *Pédagogie collégiale*, vol. 11, n° 2, décembre 1997, p. 14-19.

TRUXAL G., John *Introductory System Engineering* Mc Graw Hill, 1972. 596 p.

TURKLE, Sherry *Life on the Screen - Identity in the Age of the Internet* TOUCHSTONE BOOK, Simon & Shuster, 1997. 347 p.

VAN DER MAREN J.-M., *Méthodes de recherches pour l'éducation* Presses de L'Université de Montréal, 1995. 502 p.

ANNEXE 1

LE PROGRAMME DE L'INTERFACE GRAPHIQUE

DESCRIPTION DU PROGRAMME DE L'INTERFACE GRAPHIQUE

Nous avons programmé l'interface au moyen du langage graphique LabVIEW de la société National Instruments Corporation. Il existe une « version étudiante » de cette application que l'on peut se procurer sans frais sur demande. Ce langage utilise la métaphore de l'instrumentation virtuelle comme il apparaît sur la figure a.1. À l'avant, on a les affichages et les contrôles et à l'arrière, on a la programmation. Elle se fait par icônes que l'on relie comme du câblage avec la possibilité d'utiliser des sous-programmes ou sous-vi. Les sous-vi ont la même structure qu'une fonction en langage C, ils possèdent une face avant pour les contrôles et une face arrière pour la programmation. Ils peuvent également contenir d'autres sous-vi.

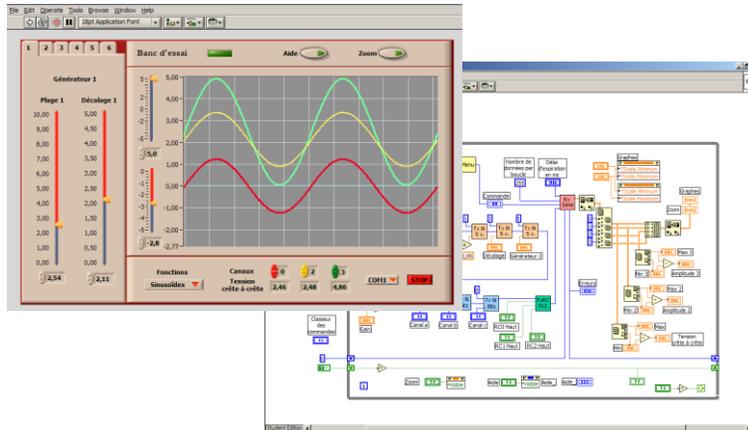


Figure a.1 – Face avant et face arrière du programme principal

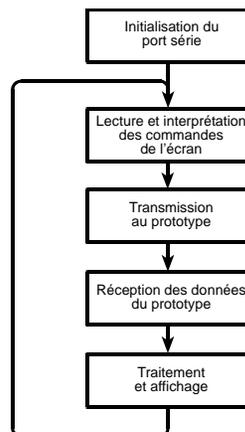


Figure a.2 – Algorithme du programme de l'interface

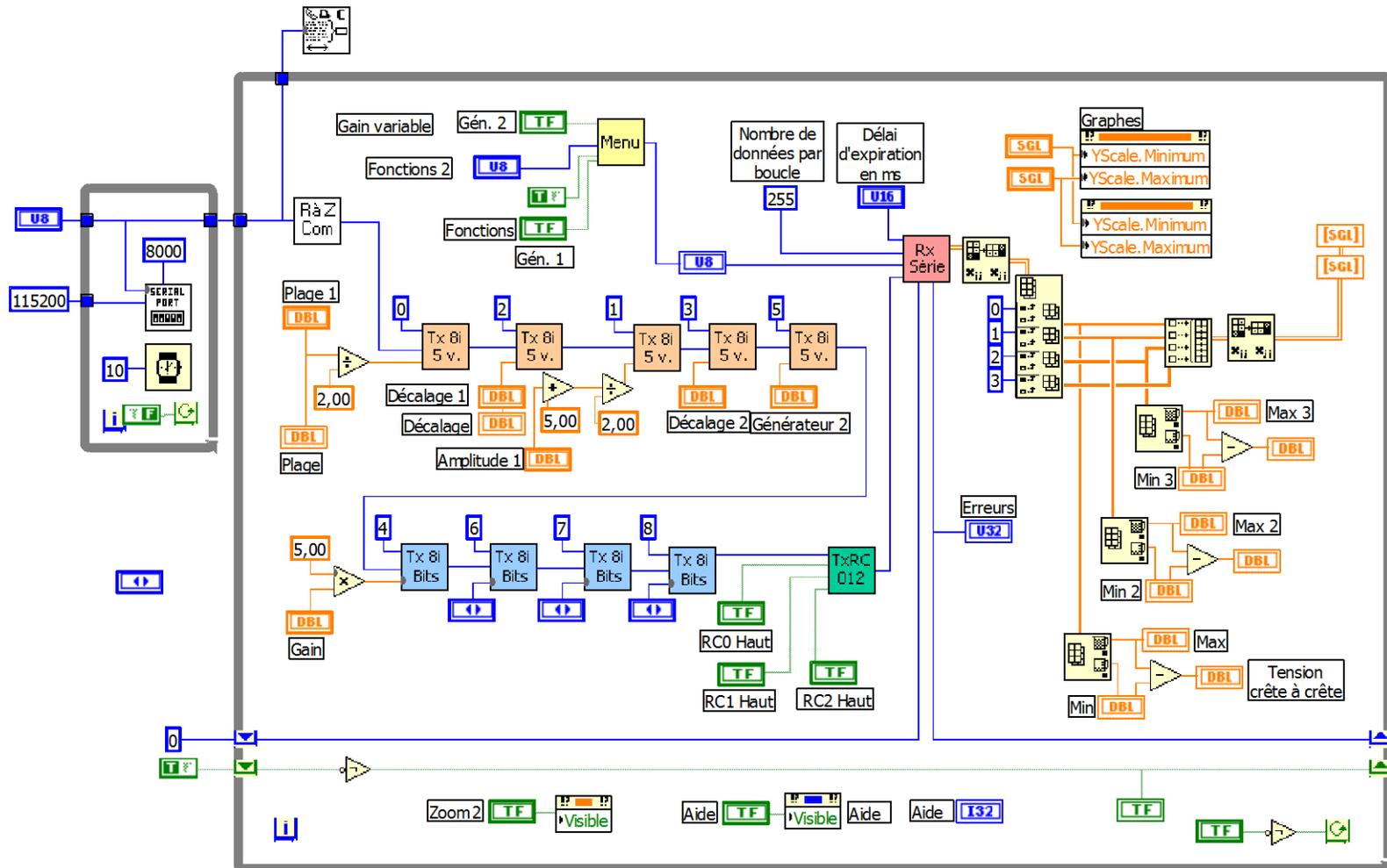


Figure a.3 – Vue agrandie de la face arrière montrant la programmation.

- **INITIALISATION DU PORT DE COMMUNICATION SERIE**

La vitesse de communication est fixée à 115000 bauds et le tampon de réception à 8000 octets. On choisit le numéro du port sur la face avant.

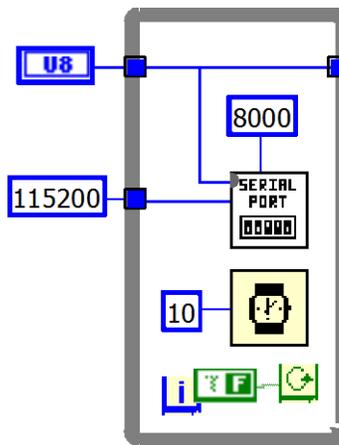


Figure a.4 – Initialisation du port série

- **REMISE À ZÉRO DU PORT DE COMMUNICATION SÉRIE**

Avant chaque exécution de la boucle principale du programme on remet à zéro le tampon de réception du port série. On peut ainsi reprendre à neuf une nouvelle boucle en cas d'erreurs de communications. À la figure a.5 on voit la face avant et la face arrière du sous-vi réalisant cette fonction.

Fonction de remise à zéro du tampon du port de communication série

Nom RàZcom.vi

Paramètres d'entrée :

Com In Numéro du port de communication série.

Paramètre de sortie :

Com Out Numéro du port de communication série.

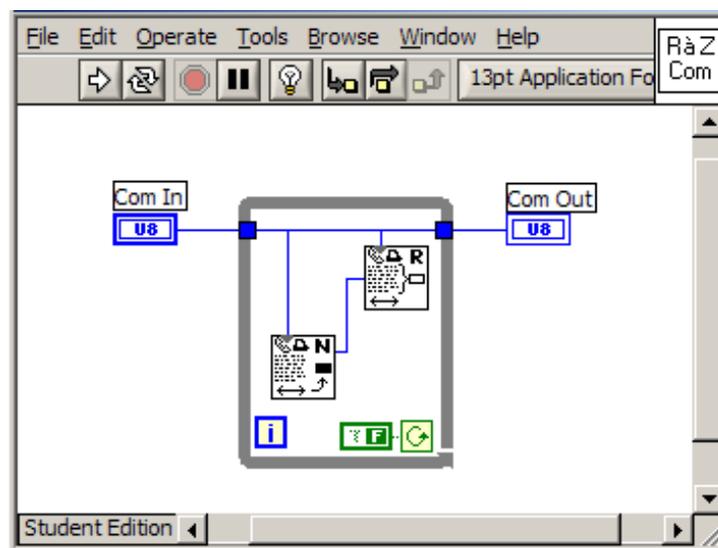
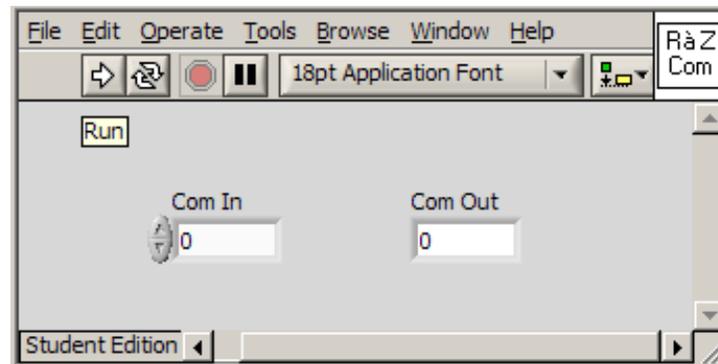


Figure a.5 – Sous-vi de remise à zéro du tampon du port de communication

- **TRANSMISSION DES COMMANDES**

On utilise quatre sous-programmes ou sous-vi pour transmettre les commandes au programme du microcontrôleur de la carte d'expérimentation.

Transmission d'une donnée au port série codée en volts

Nom TX_8_5v.vi (Figure a.6)

Paramètres d'entrée :

Com In Numéro du port de communication série.

Adresse Adresse du circuit transmise sur 8 bits.

Val Donnée entrée en nombre réel de 0 à 5 et transmise sur 8 bits de 0 à 255.

Paramètre de sortie :

Com Out Numéro du port de communication série.

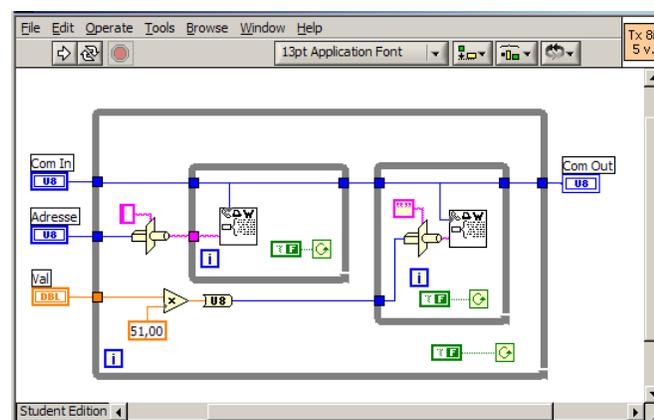
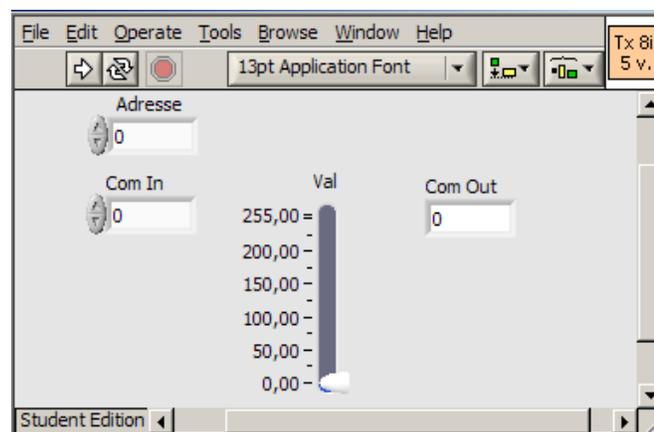


Figure a.6 - Transmission d'une donnée au port série codée en volts.

Transmission d'une donnée au port série pour activer les sorties TTL RC0,

RC1 et RC

Nom TxRC012.vi (Figure a.8)

Paramètres d'entrée :

Com In Numéro du port de communication série.

RC0 Booléen de contrôle de la sortie RC0. Vrai = haut et faux = bas.

RC1 Booléen de contrôle de la sortie RC1. Vrai = haut et faux = bas.

RC2 Booléen de contrôle de la sortie RC2. Vrai = haut et faux = bas.

Paramètre de sortie :

Com Out Numéro du port de communication série.

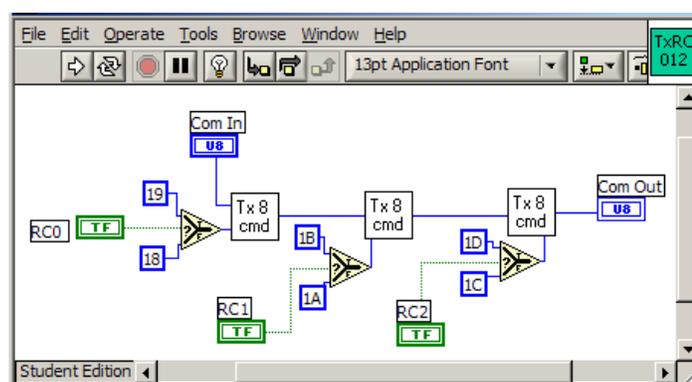
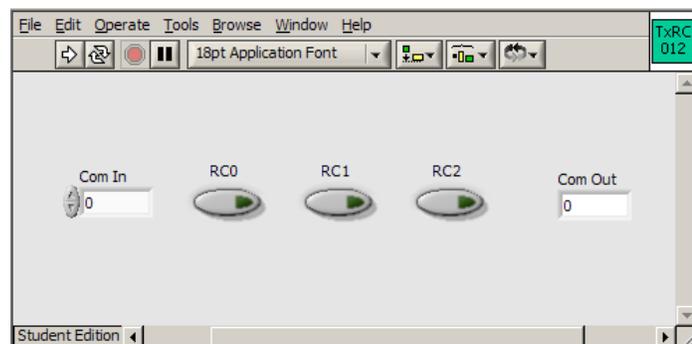


Figure a.8 – Contrôle des sorties TTL RC0, RC1 et RC2

Interprétation du choix des fonctions

Nom Menu.vi (Figure a.9)

Paramètres d'entrée :

Onde Numéro de la fonction en entier de 8 bits.

Gén. 1 Booléen pour l'activation du générateur 1.

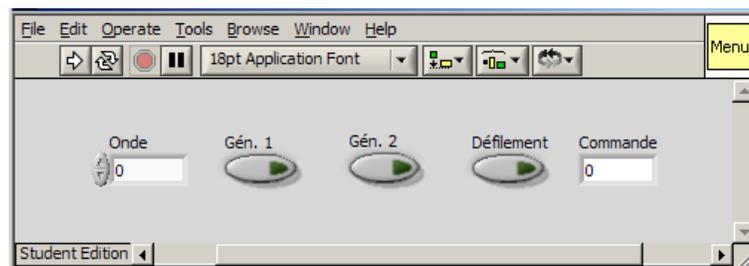
Gén. 2 Booléen pour l'activation du générateur 2.

Défilement Booléen. Lorsqu'on le place à vrai le programme du microcontrôleur transmet 3 fois 256 données (3 canaux) avant de revenir dans la boucle des commandes. Lorsqu'on le place à faux le programme du microcontrôleur transmet 3 données (3 canaux) avant de revenir dans la boucle des commandes.

Paramètre de sortie :

Commande Entier de huit bits.

- 0 Activation du générateur 1.
- 1 Activation du générateur 2.
- 2 Non utilisé, placé à 0.
- 3 Choix du défilement.
- 4,5, 6 Choix de la fonction. Placé en permanence à 1.



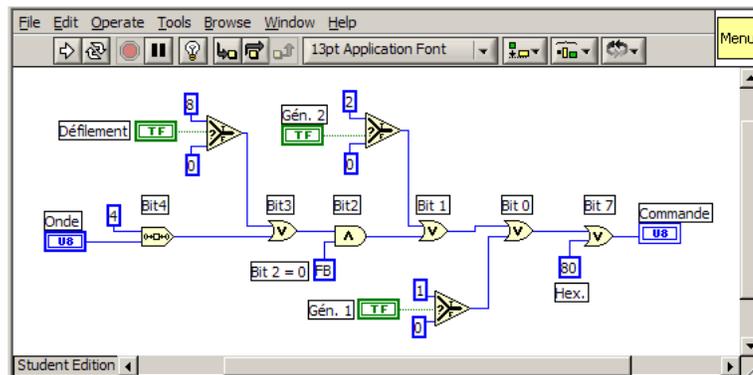


Figure a.9 - Interprétation du choix des fonctions

▪ RÉCEPTION DES DONNÉES DU PORT SÉRIÉ

Le sous-vi de réception des données contient un autre sous-vi qui reçoit les données en tenant compte d'un délai d'expiration. Les erreurs dues au délai d'expiration sont comptabilisées.

Nom Rx_série.vi (Figure a.10)

Paramètres d'entrée :

Com Numéro du port de communication série.

Commande Entier de 8 bits.

Délai délai d'expiration en ms.

N_données Nombre de données commandées. N fois le nombre de canaux.

Val. Donnée transmise sur 8 bits de 0 à 255.

Erreurs_in Nombre d'erreurs à l'entrée.

Paramètre de sortie :

Données Tableau à 3 dimensions des données requises.

Erreurs_out Somme des erreurs

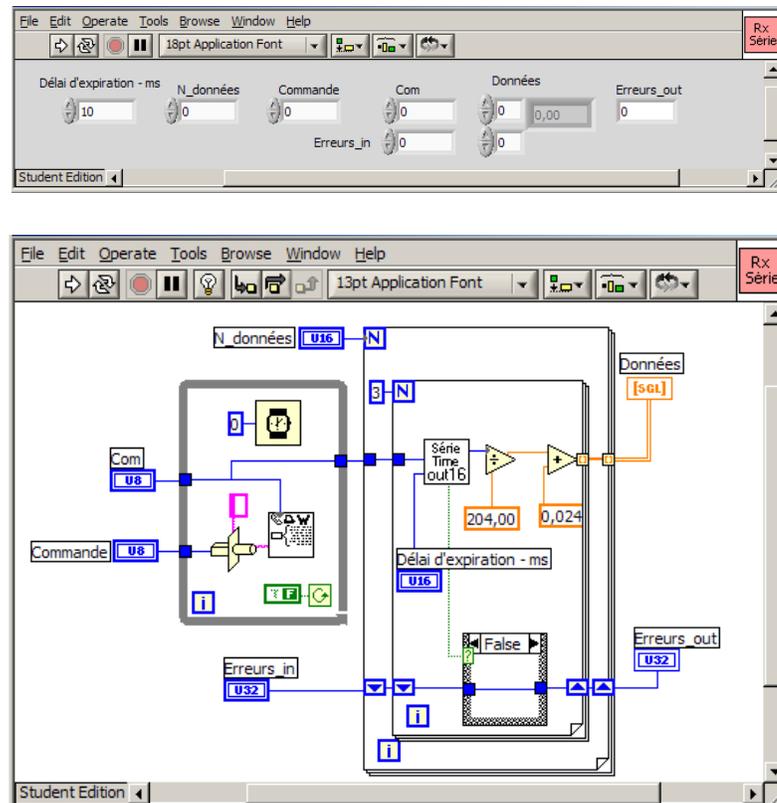


Figure a.10 - Réception des données

Sous-vi de réception d'un entier de 16 bits avec un délai d'expiration

Nom SérieTimeOut16.vi (Figure a.11)

Paramètres d'entrée :

Com Numéro du port de communication série.

Time out 0,001 Délai d'expiration en millisecondes, entier de 16 bits.

Paramètre de sortie :

Erreur? La valeur vraie est retournée si le délai d'expiration est écoulé.

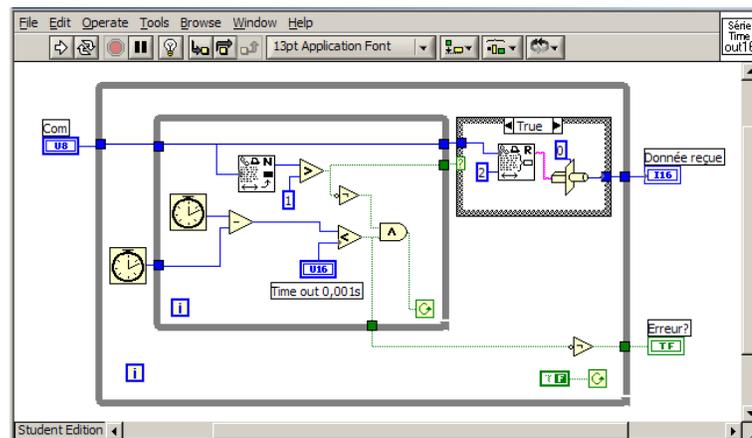
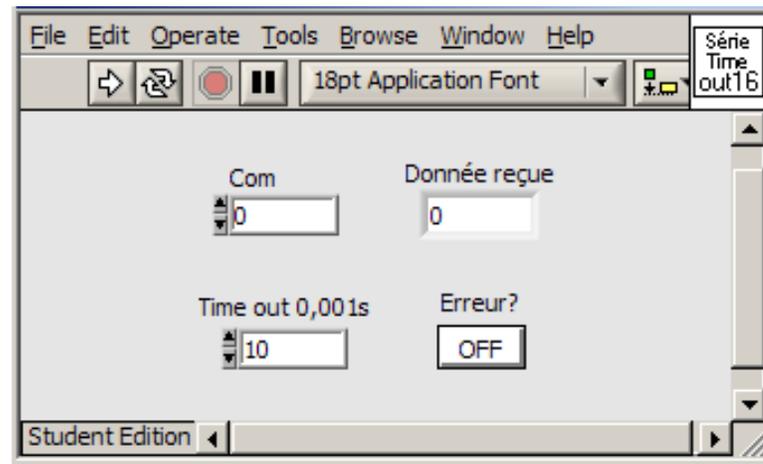


Figure a.11 – Sous-vi de réception d'une donnée avec délai d'expiration

ANNEXE 2

LE PROGRAMME DU SYSTÈME D'EXPÉRIMENTATION

```

// Isidore Lauzier 30/4/2002
//-----
//
//                               Banc.C
// CCS C                               PIC 16F876
//
// On lit en boucle les commandes de l'interface graphique en
// provenance du port série. Ces commandes sont codées sur huit
// bits et lorsque qu'elles sont plus grandes que 0x7F, les trois
// bits de poids faibles sont utilisés par les fonctions pour
// sélectionner les générateurs de fonctions et d'autres circuits
// à être ajoutés éventuellement.
//
// rev. 2/10/04
//-----
#include "16F876.H"
#define ADC=10
#define fuses HS,NOWDT,PUT,NOPROTECT
#define use delay(clock=20000000)
#define use RS232(Baud=115200,Xmit=PIN_C6,Rcv=PIN_C7, bits=8, errors)

//----- Brochage et tableaux de fonctions -----
#include <banc_.h>

//----- Variables globales -----
int can_a, can_b, can_c, code;

//----- Fonctions -----
#include <fnc_banc.c>

//----- Programme principal -----
void main(void) {
    puts("\r\n28/9/04\r\n");
    cligne(3);          // Indicateur de fonctionnement

//----- Initialisation de l'nterface SPI -----
// L'horloge clk est au repos à 0
    setup_spi(SPI_MASTER | SPI_CLK_DIV_16 | SPI_L_TO_H);
    SMP = FALSE; // Échantillonnage de l'entrée au centre d'un créneau
    CKE = TRUE;  // Transmission de la donnée sur un front montant

//----- Initialisation du CAN -----
    setup_adc_ports(A_ANALOG);
    setup_adc ( ADC_CLOCK_INTERNAL );

//----- Initialisation des potentiomètres numériques -----

    init_potnum0 ();    // Décalage du générateur 1
                       // Variation du générateur 2

```

```

init_potnum1 ();      // Échelle du générateur 1
                      // Variation du générateur 1
init_potnum2 ();      // Décalage de l'amplificateur progr.
                      // Gain de l'amplificateur prog.
init_pot_ext ();      // Potentiomètre num. ajouté à CS0

//----- Initialisation des sorties générales -----
output_low(OUT0);     // Broche C0
output_low(OUT1);     // Broche C1
output_low(OUT2);     // Broche C2

//----- Initialisation du choix des canaux -----
can_a = 0;
can_b = 1;
can_c = 2;

do {
  output_high(LED); // Indicateur de fonctionnement
  code=getch();     // Lecture de la commande d'interface
  output_low(LED);

  switch (code) {
    case 0: circuit_1_pot(POT0); break; // Plage du générateur 1
    case 1: circuit_1_pot(POT1); break; // Var. du générateur 1
    case 2: circuit_0_pot(POT0); break; // Décalage du générateur
1
    case 3: circuit_2_pot(POT0); break; // Décalage de l'ampli.
progr.
    case 4: circuit_2_pot(POT1); break; // Gain de l'ampli. progr.
    case 5: circuit_0_pot(POT1); break; // Var. du générateur 2
    case 6: can_a=getch();          break; // Choix d'un premier
canal
    case 7: can_b=getch();          break; // Choix d'un deuxième
canal
    case 8: can_c=getch();          break; // Choix d'un troisième
canal
    case 9: rampe();                break; // Rampe, gén. 1,
5>rampe>0
    case 0x0A: xfert();              break; // Rampe 0 à +5, gén. 1
    case 0x0B: xfert5();             break; // Rampe -5 à +5, gén. 1
    case 0x18: output_low(OUT0); break; // RC0
    case 0x19: output_high(OUT0);break;
    case 0x1A: output_low(OUT1); break; // RC1
    case 0x1B: output_high(OUT1);break;
    case 0x1C: output_low(OUT2); break; // RC2
    case 0x1D: output_high(OUT2);break;
  }
}

```

```

// -----
//                               Génération de fonctions
// Lorsque le code est plus grand que 0x1F. On masque les
// trois bits de poids faible pour la sélection.
// Ces 3 bits sont conservés
// pour une utilisation par les fonctions
// Exemples :
//     bit1 = 0 et bit0 = 0 : aucun générateur
//     bit1 = 0 et bit0 = 1 : générateur 1
//     bit1 = 1 et bit0 = 0 : générateur 2
//     bit1 = 1 et bit0 = 1 : générateurs 1 et 2
// -----

        if ((code) > 0x1F) switch (code & 0xF8)
        {
lecture   case 0x88: lire_cans();           break; // Aucune gén., et
                                                // des canaux, 256 x 3
        case 0x98: gen_sinus();           break; // 256 points, sinus
        case 0xA8: gen_scie();            break; // 256 points, scie
        case 0xB0: aucune();              break; // Pour la compatibilité
        case 0xB8: gen_triangle();        break; // 256 points, triangle
- CS0     case 0xC8: pot_ext_0();          break; // Potentiomètre ext. 0
- CS0     case 0xD8: pot_ext_1();          break; // Potentiomètre ext. 1
- CS0     case 0xE8: pot_ext_2();          break; // Potentio. ext. 0 et 1
        }
        } while (TRUE);
}

```

```

// 21/10/2002
//-----
//
// Ensemble des fonctions utilisées
//-----

//----- Prototypes des fonctions -----
void circuit_0_pot(int num);
void circuit_1_pot(int num);
void circuit_2_pot(int num);
void circuitl_pot0(int x);

void gen_sinus_1(int x);
void gen_sinus(void);
void gen_scie_1(int x);
void gen_scie(void);
void aucune(void);
void gen_triangle(void);
void generateur1(int x);
void generateur2(int x);
void lire_cans(void);
void lire_can(int canal);
void init_potnum0(void);
void init_potnum1(void);
void init_potnum2(void);

void rampe(void);
void xfert(void);
void xfert5(void);

void pot_ext_0(void); // CS0
void pot_ext_1(void); // CS0
void pot_ext_2(void); // CS0
void init_pot_ext(); // CS0

void set_can_canal(int n);
void cligne(int x);

```

```

//
// void circuit_0_pot(int num)
// Transmission d'une donnée au circuit 0 des potentiomètres
// numériques.
// On attend une donnée du port série que l'on transmet ensuite
// au potentiomètre.
//
// Potentiomètre 0 - Décalage du générateur 1
// Potentiomètre 1 - Variation du générateur 2
// Paramètre d'entrée : numéro du potentiomètre
//
void circuit_0_pot(int num) {
int x;
    CKE = TRUE;          // Transmission de la donnée sur un front montant
    x=getch();          // Réception de la donnée à transm.
    output_low(POTNUM0);
    spi_write(num);    // Numéro du potentiomètre
    spi_write(x);
    output_high(POTNUM0);
}

//
// void circuit_1_pot(int num)
// Transmission d'une donnée au circuit 1 des potentiomètres
// numériques.
// On attend une donnée du port série que l'on transmet ensuite
// au potentiomètre.
//
// Potentiomètre 0 - Échelle du générateur 1
// Potentiomètre 1 - Variation du générateur 1
//
// Paramètre d'entrée : numéro du potentiomètre
//
void circuit_1_pot(int num) {
int x;
    CKE = TRUE;          // Transmission de la donnée sur un front montant
    x=getch();          // Réception de la donnée à transm.
    output_low(POTNUM1);
    spi_write(num);    // Numéro du potentiomètre
    spi_write(x);
    output_high(POTNUM1);
}

//
// void circuit_2_pot(int num)
// Transmission d'une donnée au circuit 0 des potentiomètres
// numériques.
// On attend une donnée du port série que l'on transmet ensuite
// au potentiomètre.
//
// Potentiomètre 0 - Décalage, ampli. progr.
// Potentiomètre 1 - Gain, ampli. progr.
// Paramètre d'entrée : numéro du potentiomètre
//

```

```

void circuit_2_pot(int num) {
int x;
    CKE = TRUE;          // Transmission de la donnée sur un front montant
    x=getch();           // Réception de la donnée à transm.
    output_low(POTNUM2);
    spi_write(num);     // Numéro du potentiomètre
    spi_write(x);
    output_high(POTNUM2);
}

// -----
// void circuit1_pot0(int num)
// Transmission d'une donnée au potentiomètre numérique 0 du
// circuit 1. Ce potentiomètre commande l'amplitude d'échelle
// du générateur 1.
//
// Paramètre d'entrée : amplitude sur 8 bits
// -----
void circuit1_pot0(int x) {
    CKE = TRUE;          // Transmission de la donnée sur un front montant
    output_low(POTNUM1);
    spi_write(POT0);    // Potentiomètre 0
    spi_write(x);
    output_high(POTNUM1);
}

// -----
// void gen_sinus_1(int x)
//
// Génération de 1 point d'une sinusoïde et transmission de
// 1 fois 3 canaux. Les canaux sélectionnés sont dans les
// variables globales can_a, can_b et can_c.
//
// Les bits de poids faibles 0 et 1 de la variable globale CODE
// déterminent le choix des générateurs.
// 0 0 : aucun signal
// 0 1 : générateur 1
// 1 0 : générateur 2
// 1 1 : générateurs 1 et 2
//
// Paramètres d'entrée :
//   x : donnée de 8 bits à transmettre représentant un
//       point du signal.
// -----
void gen_sinus_1(int x) {
long int i;
    if (code & 1) generateur1(sinus[x]);
    if (code & 2) generateur2(sinus[x+=2]); // Saut de 2
    lire_can(can_a);
    lire_can(can_b);
    lire_can(can_c);
}

```

```

//
// -----
// void gen_sinus(void)
//
// Transmission d'une sinusoïde de 256 points et de 256 fois
// 3 canaux. Les canaux sélectionnés sont dans les
// variables globales can_a, can_b et can_c.
//
// Les bits de poids faibles 0 et 1 de la variable globale CODE
// déterminent le choix des générateurs.
// 0 0 : aucun signal
// 0 1 : générateur 1
// 1 0 : générateur 2
// 1 1 : générateurs 1 et 2
//
// -----
void gen_sinus(void) {
long int i;
    for (i=0;i<256;i++) {
        if (code & 1) generateur1(sinus[i]);
        if (code & 2) generateur2(sinus[i]);
        lire_can(can_a);
        lire_can(can_b);
        lire_can(can_c);
    }
}

//
// -----
// void scie_1(int x)
//
// Génération de 1 point d'une onde en dents de scie et
// transmission de 1 fois 3 canaux. Les canaux sélectionnés
// sont dans les variables globales can_a, can_b et can_c.
//
// Les bits de poids faibles 0 et 1 de la variable globale CODE
// déterminent le choix des générateurs.
// 0 0 : aucun signal
// 0 1 : générateur 1
// 1 0 : générateur 2
// 1 1 : générateurs 1 et 2
//
// Paramètres d'entrée :
// x : donnée de 8 bits à transmettre représentant un
// point du signal.
//
// -----
void gen_scie_1(int x) {
    if (code & 1) generateur1(x);
    if (code & 2) generateur2(x);
    lire_can(can_a);
    lire_can(can_b);
    lire_can(can_c);
}

```

```

//
// void gen_scie(void)
//
// Génération d'une onde en dents de scie de 256 points et
// transmission de 256 fois 3 canaux. Les canaux sélectionnés
// sont dans les variables globales can_a, can_b et can_c.
//
// Les bits de poids faibles 0 et 1 de la variable globale CODE
// déterminent le choix des générateurs.
// 0 0 : aucun signal
// 0 1 : générateur 1
// 1 0 : générateur 2
// 1 1 : générateurs 1 et 2
//
void gen_scie(void) {
long int i;
    for (i=0;i<256;i++) {
        if (code & 1) generateur1(i);
        if (code & 2) generateur2(i);
        lire_can(can_a);
        lire_can(can_b);
        lire_can(can_c);
    }
}

//
// void aucune(void)
//
// Ligne droite à zéro pour la compatibilité
//
// Les bits de poids faibles 0 et 1 de la variable globale CODE
// déterminent le choix des générateurs.
// 0 0 : aucun signal
// 0 1 : générateur 1
// 1 0 : générateur 2
// 1 1 : générateurs 1 et 2
//
void aucune(void) {
    if (code & 1) generateur1(0);
    if (code & 2) generateur2(0);
    lire_can(can_a);
    lire_can(can_b);
    lire_can(can_c);
}

```

```

//
// -----
// void gen_triangle(void)
//
// Génération d'une onde triangulaire de 256 points et
// transmission de 256 fois 3 canaux. Les canaux sélectionnés
// sont dans les variables globales can_a, can_b et can_c.
//
// Les bits de poids faibles 0 et 1 de la variable globale CODE
// déterminent le choix des générateurs.
// 0 0 : aucun signal
// 0 1 : générateur 1
// 1 0 : générateur 2
// 1 1 : générateurs 1 et 2
//
// -----
void gen_triangle(void) {
long k;

    for (k=0;k<256;k=k+2) { // Saut de 2
        if (code & 1) generateur1(k);
        if (code & 2) generateur2(k);
        lire_can(can_a);
        lire_can(can_b);
        lire_can(can_c);
    }

    for (k=254;k>0;k=k-2) { // Saut de 2
        if (code & 1) generateur1(k);
        if (code & 2) generateur2(k);
        lire_can(can_a);
        lire_can(can_b);
        lire_can(can_c);
    }
}

//
// -----
// void lire_cans(void)
//
// Lecture des canaux sélectionnés dans les variables globales
// can_a, can_b, et can_c.
// On transmet 256 lectures pour chacun des 3 canaux
//
// -----
void lire_cans(void) {
long int i;
    for (i=0;i<256;i++) {
        lire_can(can_a);
        lire_can(can_b);
        lire_can(can_c);
    }
}

```

```

//
// -----
// void generateur1(int x);
//
// Transmission d'une donnée au circuit 1 du potentiomètre
// numérique 1 pour le générateur de signal numéro 1.
//
// Paramètre d'entrée :
//     x      : donnée de 8 bits à transmettre représentant un
//              point du signal.
// -----
void generateur1(int x) {
    CKE = TRUE; // Transmission de la donnée sur un front montant
    output_low(POTNUM1);
    spi_write(POT1); // Écriture au potentiomètre
    spi_write(x);
    output_high(POTNUM1);
}

//
// -----
// void generateur2(int x);
//
// Transmission d'une donnée au circuit 0 du potentiomètre
// numérique 1 pour le générateur de signal numéro 2.
//
// Paramètre d'entrée :
//     x      : donnée de 8 bits à transmettre représentant un
//              point du signal.
// -----
void generateur2(int x) {
    CKE = TRUE; // Transmission de la donnée sur un front montant
    output_low(POTNUM0);
    spi_write(POT1); // Écriture au potentiomètre
    spi_write(x);
    output_high(POTNUM0);
}

//
// -----
// void rampe(void)
//
// Génération d'une rampe comprise entre 0 et
// 5 volts au générateur1 avec contrôle du décalage et
// transmission des valeurs au canal requis par le programme de
// traitement.
//
// Cette fonction permet d'obtenir à A2 une sortie d'amplitude
// variable pour créer un zoom électronique destiné à l'étude
// détaillée d'une fonction de transfert.
// -----
void rampe(void) {
    int J,k;
    long i;
    long can;
    generateur1(0); // R. à Z. circuit 1, du pot. 1, gén. 1

```

```

circuit_1_pot(POT0); // Potentiomètre 0 - Échelle du générateur 1
circuit_0_pot(POT0); // Potentiomètre 0 - Décalage du générateur 1
j=getch();
set_can_canal(j); // Choix du canal
for (i=128;i<256;i++) {
    generateur1(i); // circuit 1, pot. 1 pour le gén. 1
    can=0;
    for (k=0;k<64;k++) can=can+read_adc(); // Filtration
    can=can>>6; // On divise par 64
    can=(can-514) << 1; // (-2,5 volts * 2)
    J=can>>8;
    putchar(j); // Poids fort
    putchar(can); // Poids faible
}
}

// _____
// void xfert(void)
//
// Génération d'une rampe de 0 à +5 volts au
// générateur1 et transmission des valeurs au canal requis
// par le programme de l'interface.
// _____
void xfert(void) {
int J,k;
long i;
long can;
circuit1_pot0(255); // Pot. 0 - Échelle du générateur 1
j=getch();
set_can_canal(j) ; // Choix du canal
for (i=128;i<256;i++) {
    generateur1(i); // Circuit 1, du pot. 1 pour, le gén. 1
    can=0;
    for (k=0;k<64;k++) can=can+read_adc(); // Filtration
    can=can>>6; // On divise par 64
    can=(can-512) << 1; // (-2,5 volts * 2)
    J=can>>8;
    putchar(j); // Poids fort
    putchar(can); // Poids faible
}
}

// _____
// void xfert5(void)
//
// Génération d'une rampe de -5 à +5 volts au
// générateur1 et transmission des valeurs au canal requis
// par le programme de l'interface.
// _____
void xfert5(void) {
int J,k;
long i;
long can;

```

```

circuit1_pot0(255);          // Pot. 0 - Échelle du générateur 1
j=getch();
set_can_canal(j)           ;    // Choix du canal
for (i=0;i<256;i++) {
    generateur1(i);         // Circuit 1, du pot. 1 pour, le gén. 1
    can=0;
    for (k=0;k<64;k++) can=can+read_adc(); // Filtration
    can=can>>6;             // On divise par 64
    can=(can-512) << 1;     // (-2,5 volts * 2)
    J=can>>8;
    putchar(j);             // Poids fort
    putchar(can);          // Poids faible
    }
}

```

```

// _____
// void pot_ext_0(void);
//
// Transmission d'une onde en dents de scie au potentiomètre
// 0 du circuit externe 0. À chaque appel la donnée est
// incrémentée modulo 256. Trois canaux CAN sont utilisés.
//
// _____
void pot_ext_0(void) {
int i;
    CKE = TRUE; // Transmission de la donnée sur un front montant
    i=0;
    do {
        output_low(CS0);
        spi_write(POT0); // Écriture au potentiomètre 0
        spi_write(i++);
        output_high(CS0);

        lire_can(can_a);
        lire_can(can_b);
        lire_can(can_c);
    } while (i);
}

```

```

// _____
// void pot_ext_1(void);
//
// Transmission d'une onde en dents de scie au potentiomètre
// 1 du circuit externe 0. À chaque appel la donnée est
// incrémentée modulo 256. Trois canaux CAN sont utilisés.
//
// _____
void pot_ext_1(void) {
int i;
    CKE = TRUE; // Transmission de la donnée sur un front montant
    i=0;

```

```

do {
    output_low(CS0);
    spi_write(POT1); // Écriture au potentiomètre 1
    spi_write(i++);
    output_high(CS0);

    lire_can(can_a);
    lire_can(can_b);
    lire_can(can_c);
} while (i);
}

// _____
// void pot_ext_2(void);
//
// Transmission d'une onde en dents de scie aux potentiomètres
// 0 et 1 du circuit externe 0. À chaque appel la donnée est
// incrémentée modulo 256. Trois canaux CAN sont utilisés.
//
// _____
void pot_ext_2(void) {
long int i;
    CKE = TRUE; // Transmission de la donnée sur un front montant
    for (i=0; i<256;i++) {
        output_low(CS0);
        spi_write(POT0); // Écriture au potentiomètre 0
        spi_write(i);
        output_high(CS0);

        output_low(CS0);
        spi_write(POT1); // Écriture au potentiomètre 1
        spi_write(i);
        output_high(CS0);

        lire_can(can_a);
        lire_can(can_b);
        lire_can(can_c);
    }
}

// _____
// void Init_pot_ext(void)
//
// Mise à zéro de la sortie des potentiomètres 0 et 1 du
// potentiomètre externe branché à CS0.
//
// _____
void init_pot_ext() {
    CKE = TRUE; // Transmission de la donnée sur un front montant
    output_low(CS0);
    spi_write(pot0); // Potentiomètre 0
    spi_write(0);
    output_high(CS0);
}

```

```

    output_low(CS0);
    spi_write(pot1); // Potentiomètre 1
    spi_write(0);
    output_high(CS0);
}

//-----
// void lire_can(int canal)
// Transmission sur 16 bits de la lecture du canal dont le
// numéro est passé en paramètre.
//
// Sur la plaquette on a divisé le signal par deux et on lui
// a ajouté 2,5 volts pour obtenir un signal unipolaire dont la
// plage varie de 0 à 5 volts pour une entrée de 5 à -5 volts.
// À la lecture on reprend le processus en sens inverse. On
// soustrait 512 (2,5 volts) à la donnée et on la multiplie
// ensuite par 2 pour obtenir un nombre signé dont la plage
// varie de 1023 à -1024 (5 volts à -5 volts).
// Si le canal est plus grand ou égal à six on transmet -5 volts
// pour placer la trace au bas de l'écran.
//
// Paramètre d'entrée :
//   canal : numéro du canal.
//-----
void lire_can(int canal) {
int J,k;
long can;
    if (canal <=6) {
        set_can_canal(canal);
        can=0;
        for (k=0;k<8;k++) can=can+read_adc(); // Filtration
        can=can>>3; // On divise par 8
        can=(can-512) << 1; // can = (can-2,5 volts) * 2
        J=can>>8;
        putchar(j); // Poids fort
        putchar(can); // Poids faible
    }
    else {
        putchar(0xFC); // Poids fort
        putchar(0); // Poids faible
    }
}

//-----
// void init_potnum0(void)
//
// Mise à zéro de la sortie des potentiomètres 0 et 1 du
// circuit POTNUM0
//-----
void init_potnum0 () {
    output_low(POTNUM0);
    spi_write(pot0); // Potentiomètre 0
}

```

```
    spi_write(0);
    output_high(POTNUM0);
    output_low(POTNUM0);
    spi_write(pot1); // Potentiomètre 1
    spi_write(0);
    output_high(POTNUM0);
}

//-----
// void init_potnum1(void)
//
// Mise à zéro de la sortie des potentiomètres 0 et 1 du
// circuit POTNUM1
//-----
void init_potnum1() {
    output_low(potnum1);
    spi_write(pot0); // Potentiomètre 0
    spi_write(0);
    output_high(POTNUM1);
    output_low(POTNUM1);
    spi_write(pot1); // Potentiomètre 1
    spi_write(0);
    output_high(POTNUM1);
}

//-----
// void init_potnum2(void)
//
// Mise à zéro de la sortie des potentiomètres 0 et 1 du
// circuit POTNUM0
//-----
void init_potnum2() {
    output_low(POTNUM2);
    spi_write(pot0); // Potentiomètre 0
    spi_write(0);
    output_high(POTNUM2);
    output_low(POTNUM2);
    spi_write(pot1); // Potentiomètre 1
    spi_write(0);
    output_high(POTNUM2);
}
```

```

//
// void set_can_canal(int n)
// 0 = AN0 (mux 0), 1 = AN0 (mux 1), 2= AN0 (mux 2)
// 3 = AN0 (mux 3), 4 = AN0 (mux 4), 5= AN0 (mux 5)
// 6 = AN0 (mux 6),
//
void set_can_canal(int n) {
    if (n==0) { output_low(MUX_S2);
                output_low(MUX_S1);
                output_low(MUX_S0);
                set_adc_channel( 0 ); }

    if (n==1) { output_low(MUX_S2);
                output_low(MUX_S1);
                output_high(MUX_S0);
                set_adc_channel( 0 ); }

    if (n==2) { output_low(MUX_S2);
                output_high(MUX_S1);
                output_low(MUX_S0);
                set_adc_channel( 0 ); }

    if (n==3) { output_low(MUX_S2);
                output_high(MUX_S1);
                output_high(MUX_S0);
                set_adc_channel( 0 ); }

    if (n==4) { output_high(MUX_S2);
                output_low(MUX_S1);
                output_low(MUX_S0);
                set_adc_channel( 0 ); }

    if (n==5) { output_high(MUX_S2);
                output_low(MUX_S1);
                output_high(MUX_S0);
                set_adc_channel( 0 ); }

    if (n==6) { output_high(MUX_S2);
                output_high(MUX_S1);
                output_low(MUX_S0);
                set_adc_channel( 0 ); }

    delay_us(20); // Stabilisation du canal
}

```

```

//
// void cligne(int x)
//
// Clignotement de la led verte x fois à intervalle de 200 ms.
//
void cligne(int x) {
int i;
    for (i=0; i<x; ++i) {
        output_low(led);
        delay_ms(100);
        output_high(led);
        delay_ms(100);
    }
}

// Banc_.h
// 31/10/02
//
// Adresses des circuits et définitions des constantes
//
//
//----- Interface SPI -----
#define CKE = 0x94.6 // Choix du front de transmission
#define SMP = 0x94.7 // Échantillonnage de l'entrée
#define SCK PIN_C3 // Horloge
#define SDI PIN_C4 // Entrée
#define SDO PIN_C5 // Sortie

//----- Potentiomètres numériques -----
#define POTNUM0 PIN_B1 // 0 - Décalage du générateur 1
// 1 - Variation du générateur 2
// VAR OUT - A3
#define POTNUM1 PIN_B2 // 0 - Échelle du générateur 1
// 1 - Variation du générateur 1
#define POTNUM2 PIN_B3 // 0 - Décalage de l'amplificateur progr.
// 1 - Gain de l'amplificateur prog.
#define POT0 0x11 // Adresse interne du potentiomètre 0
#define POT1 0x12 // Adresse interne du potentiomètre 1

//----- Ports généraux TTL -----
#define IN0 PIN_B0
#define CS0 PIN_B4
#define OUT0 PIN_C0
#define OUT1 PIN_C1
#define OUT2 PIN_C2
#define led PIN_A4 // Témoin

//----- Multiplexeur du convertisseur CAN -----
#define MUX_S0 PIN_B5 // Poids faible
#define MUX_S1 PIN_B6

```

```

#define MUX_S2    PIN_B7    // Poids fort

//----- Table d'une sinusoïde -----
#define MAX1 256
int const sinus[MAX1] =
    124,128,131,134,137,140,143,146,149,152,155,158,161,163,166,169,
    172,175,178,180,183,186,188,191,194,196,199,201,203,206,208,210,
    212,214,217,219,221,222,224,226,228,229,231,233,234,235,237,238,
    239,240,241,242,243,244,245,246,246,247,247,248,248,248,248,248,
    248,248,248,248,248,247,247,247,246,245,245,244,243,242,241,240,
    239,238,236,235,234,232,230,229,227,225,224,222,220,218,216,214,
    212,209,207,205,203,200,198,195,193,190,188,185,182,179,177,174,
    171,168,165,163,160,157,154,151,148,145,142,139,136,133,130,127,
    123,120,117,114,111,108,105,102,99,96,93,90,87,85,82,79,
    76,73,70,68,65,62,60,57,55,52,50,47,45,43,40,38,
    36,34,32,30,28,26,24,22,21,19,17,16,14,13,12,11,
    9,8,7,6,5,5,4,3,3,2,2,1,1,1,1,1,
    1,1,1,1,1,2,2,3,3,4,5,5,6,7,8,9,
    11,12,13,15,16,17,19,21,22,24,26,28,30,32,34,36,
    38,40,43,45,47,50,52,55,57,60,62,65,68,70,73,76,
    79,82,85,87,90,93,96,99,102,105,108,111,114,117,120,124;

/*

Adresses des potentiomètres numériques dans le programme
de l'interface graphique

0      Plage du générateur 1
1      Var. du générateur 1
2      Décalage du générateur 1
3      Décalage de l'amplificateur programmable
4      Gain de l'amplificateur programmable
5      Var. du générateur 2

*/

```

ANNEXE 3

UNE EXPÉRIENCE D'APPROCHE PAR PROJETS POUR FAVORISER L'INTÉGRATION DES APPRENTISSAGES

INTRODUCTION

La pédagogie de projets place autant le professeur que l'étudiant dans une situation d'apprentissage riche et satisfaisante. Si l'on parle beaucoup de cette approche, on constate par contre qu'il existe peu de documentation relative à son application. Sa mise en oeuvre varie considérablement d'un professeur à l'autre et d'un type de cours à l'autre.

Dans cette recherche j'aimerais rendre compte des conclusions d'une expérimentation réalisée avec un de mes collègues du département de techniques de génie électrique, Marius Caron¹. C'est une démarche pédagogique que nous avons entreprise au collège de Maisonneuve depuis une dizaine d'années et qui s'est systématisée dans les cinq dernières avec l'évolution et l'intégration des technologies de l'information.

POURQUOI UNE PÉDAGOGIE DE PROJETS

Il convient, avant de décrire l'expérience, de présenter le cadre conceptuel dans laquelle elle s'inscrit et les principes pédagogiques en cause. Dans la démarche actuelle d'enseignement, il importe de donner aux étudiants une vision globale de ce qu'ils doivent apprendre. Lorsque l'on place les étudiants dans une situation réelle où ils doivent résoudre un problème, on découvre qu'ils ont beaucoup de difficulté à faire une analyse préalable et à découper un problème complexe en parties plus simples. Ils font preuve de peu d'initiative et appliquent difficilement une démarche de résolution de problèmes. Ils s'attendent à ce que tout fonctionne correctement dès le premier essai, alors que la démarche naturelle d'apprentissage consiste à rechercher une solution à un problème ou à améliorer une solution proposée.

Cette situation s'explique par le fait que, très souvent, l'objectif d'évaluation prédomine sur les objectifs d'apprentissage, ce qui a pour effet que les étudiants craignent une mauvaise évaluation s'ils tentent d'adopter une solution personnelle. Leur démarche s'éloigne du constructivisme et de l'approche par compétences. L'étudiant doit bâtir lui-même ses connaissances, et ses apprentissages ne doivent pas se limiter à un ensemble de procédures et de contenus à mémoriser. L'intégration des apprentissages consiste, d'une part, à la

¹ Marius Caron enseigne le dessin technique et la conception assistée par ordinateur au collège de Maisonneuve depuis 28 ans. C'est dans le cadre de ses cours et sous son initiative que cette expérimentation a été menée. Son engagement auprès des étudiants, sa disponibilité et sa capacité de travailler en équipe ont fait de cette expérimentation un succès.

construction progressive d'un tout cohérent à partir de connaissances, d'habiletés et d'attitudes diverses, et d'autre part, à la mise en application et à l'utilisation des nouveaux acquis dans différentes situations (Perrenoud, 1995, p. 20-24) le transfert se produisant lorsque des connaissances acquises antérieurement influencent la façon dont de nouvelles sont acquises (Tardif, 1997).

Les étudiants attachent une très grande importance au fait de monter eux-mêmes des expériences. De cette façon, ils acquièrent plus d'habileté, une meilleure confiance en eux et ils développent une plus grande motivation pour progresser vers des connaissances complexes. La récompense vient alors directement du sentiment de compréhension et de l'obtention d'un résultat tangible et, à un niveau plus avancé, ils pourront travailler efficacement dans l'abstrait. Bref, on leur confie la responsabilité de leurs apprentissages.

LES PRINCIPES PÉDAGOGIQUES SUR LESQUELS SE FONDE L'EXPÉRIMENTATION

▪ L'APPROCHE PAR COMPÉTENCES ET LE TRANSFERT DES CONNAISSANCES

L'approche par compétences commande une pédagogie active et fait appel tout particulièrement aux résultats des recherches en pédagogie sur le cognitivisme et le constructivisme. Une compétence serait le résultat de l'intégration d'un apprentissage que l'on peut mettre en œuvre et évaluer. Au collégial, on essaie de plus en plus de développer des compétences qui peuvent s'appliquer dans une grande variété de situations. Cette approche se différencie des apprentissages par objectifs spécifiques caractérisés par des conduites routinières liées à des équipements spécialisés et des sujets trop morcelés. Cependant la relative nouveauté de cette approche et le fait qu'on ait souvent modifié sa définition montrent la difficulté que l'on a encore à l'heure actuelle à traduire celle-ci en une méthode applicable immédiatement et facilement par les professeurs. En outre, elle implique des changements radicaux dans l'évaluation des apprentissages, ce qui constitue un obstacle supplémentaire.

▪ LE COGNITIVISME ET LE COMPORTEMENT D'EXPERT

Dans le cognitivisme, on parle d'organisation systématique des connaissances déclaratives, des connaissances procédurales et des connaissances conditionnelles. Les connaissances déclaratives concernent les faits, les règles, les lois et les principes. Les connaissances

procédurales ont trait aux étapes de la réalisation tandis que les connaissances conditionnelles se rapportent au quand et au pourquoi d'une action. Ces dernières sont rarement prises en compte dans le contexte actuel d'apprentissage et, d'après nous, la présente démarche permettrait de combler cette lacune en mobilisant dans l'action cet ensemble de connaissances. C'est à partir de situations que propose le professeur et du matériel qu'il présente que l'élève procède à la construction des connaissances et des règles qui vont gérer par la suite ses comportements et ses réponses dans des situations similaires. « Dans le cadre des connaissances conditionnelles, comme dans le cadre de toute connaissance d'ailleurs, le professeur doit avoir la préoccupation de ne présenter que des activités complètes en elles-mêmes parce qu'il estime que le savoir ne se construit que très difficilement à partir de pièces isolées. » (Tardif, 1997) Les connaissances conditionnelles correspondent à la structure des savoirs et servent au transfert des connaissances.

De nombreuses recherches réalisées en psychologie cognitive, afin de déterminer les caractéristiques qui distinguent les experts des novices, ont fait ressortir que la base cognitive des personnes expertes est marquée par un très haut degré de structuration hiérarchique (Tardif, 1998). Pour devenir un expert, il faut avoir longuement travaillé sur un sujet. Le transfert a lieu lorsque l'on connaît très bien son sujet, voire lorsque l'on en est un expert. Pour résoudre un problème, l'étudiant doit se servir de sa base de connaissances. Pour faire une planification stratégique, il faut des connaissances préalables ; on ne peut réaliser un algorithme sans les connaissances suffisantes dans le domaine en cause. Le transfert se définit comme la capacité de réutiliser une démarche acquise dans un domaine particulier, permettant à l'étudiant de résoudre de nouveaux problèmes.

▪ **LE CONSTRUCTIVISME**

L'approche constructiviste possède un caractère universel. On utilise toute cette approche lorsque l'on doit régler un problème de la vie quotidienne soit au travail, soit dans sa vie personnelle. Dans le constructivisme, ce sont les étudiants qui apprennent et qui construisent leur propre système de compréhension. Ils doivent expérimenter, appliquer leurs connaissances et faire de nombreuses manipulations afin de découvrir eux-mêmes l'importance d'une bonne structuration de leurs propres connaissances. Il est essentiel que les

étudiants expérimentent par eux-mêmes et, lorsque les principes fondamentaux sont bien ancrés, ils acquièrent une plus grande autonomie.

Dans l'approche constructiviste, le professeur (pour rester en uniformité avec ce qui précède : le professeur est surtout un conseiller, c'est l'étudiant qui fait la démarche d'acquisition de ses connaissances. Il sent l'utilité de son apprentissage, ce qui est un facteur important de motivation. Cette approche est très importante dans l'expérimentation que nous décrivons ici.

LA MISE EN APPLICATION D'UNE PÉDAGOGIE DE PROJETS

▪ L'ENSEIGNEMENT PAR PROJETS

Dans une pédagogie de projets, on a tendance à associer le travail demandé à un projet de conception. Le projet de conception a comme caractéristiques d'être relativement ouvert et de ne pas avoir de solution définie. Cette particularité est à l'origine de bien des malentendus car elle rend problématique la mise en œuvre d'une pédagogie de projets. Vue sous cet angle, cette approche ne peut s'appliquer intégralement au début d'une formation, puisqu'elle exige une base de connaissances considérable. Lorsque la démarche de réalisation n'est pas définie, les étudiants doivent recourir à une grande somme de connaissances conditionnelles et le degré de difficulté est très élevé. C'est la même situation que l'on retrouve dans l'industrie lorsqu'on fait appel à des experts.

▪ L'ENSEIGNEMENT PAR DEVIS ET TÂCHES

Pour mieux situer notre propos et éviter le problème énoncé précédemment, nous allons utiliser l'expression « devis et tâches » au lieu du terme « projet ». On peut considérer l'approche par devis et tâches comme un sous-ensemble de l'approche par projets. C'est une démarche où les modalités de réalisation sont davantage définies que dans l'approche par projets habituelle, et ce, dans le but de permettre aux élèves de réaliser un projet complet et de développer les habiletés fondamentales essentielles au début d'une formation. On fournit une description précise du travail à réaliser ou d'une expérience à analyser. On peut comparer cette approche au travail que l'on demande à un entrepreneur en construction lorsqu'on lui donne un contrat en lui fournissant un devis. Dans notre cas, un étudiant doit réaliser une tâche pour laquelle on lui fournit un devis comprenant les schémas, les contraintes de réalisation et un échéancier. Par rapport à un projet de conception, le problème posé et les contraintes de réalisation sont clairement définis, l'étudiant dispose de tous les éléments

nécessaires pour résoudre le problème et, de son côté, le professeur en connaît bien toutes les éventualités.

Dans notre expérimentation, nous avons établi une démarche particulière avec des étudiants qui en sont à leur deuxième session de cours en technologie du génie électrique. L'étudiant doit produire un système complet suivant le choix de son professeur. C'est une réalisation technique similaire à ce que l'on retrouve dans l'industrie, suffisamment simple pour être mise en œuvre par l'étudiant avec une aide relative et suffisamment complexe à la fois pour aborder plusieurs notions importantes qui lui permettront de procéder par analogie à la mise en œuvre d'autres systèmes. Le seuil minimal de réalisation est spécifié.

Le projet compte six étapes de réalisation (tableau 1) qui visent à amener l'étudiant à mettre en œuvre des connaissances déclaratives, des connaissances procédurales et des connaissances conditionnelles.

Tableau 1 - Étapes de réalisation du projet

Étapes de réalisation	Connaissances déclaratives	Connaissances procédurales	Connaissances conditionnelles	Logiciel utilisé Fonctions du logiciel utilisées
1. Schémas électroniques	Lecture	Reproduction	Conception	CircuitMaker Organisation logique d'un circuit électronique, simulation, exportation
2. Organisation physique du circuit		Réalisation et solution (devis)	Conception	Pcad2000 Importation, disposition physique des composantes électroniques et exportation pour fabrication et rapport
3. Fabrication de circuit		Réalisation	Conception	CircuitCam BoardMaster Contrôle de la fabrication
4. Montage des composantes	Soudure	Soudure	Conception	
5. Fabrication d'un boîtier		Réalisation et solution (devis)	Conception <i>(Pas toujours demandé)</i>	Autosketch Réalisation de plan et dimensionnement Excel Dimensionnement sous forme de tableaux, graphiques
6. Rédaction d'un rapport		Réalisation	Conception	Word Intégrations des fichiers dessins et textes, gabarits de mise en page, automatisation

Même si nous faisons appel à des connaissances conditionnelles, une large part est accordée aux connaissances procédurales puisque nous intervenons relativement tôt dans la formation des étudiants. Les documents et l'information fournis sont très explicites car il s'agit d'un problème précis qui comporte neuf tâches (tableau 2). On tient compte des connaissances préalables, des difficultés du travail à réaliser et du niveau de connaissances que l'on souhaite faire atteindre aux étudiants. Cette démarche détermine de façon très importante le type de participation du professeur avec les étudiants, le choix des documents qu'il propose et l'interaction des étudiants entre eux.

Tableau 2 - Ensemble des tâches du projet et échéancier

	Tâches	Semaines
1	Exercice de tôlerie	1
2	Réalisation de schémas et <i>routing</i> des plaquettes de circuit imprimé	4
3	Fichiers pour la fabrication	1
4	Montage des composants et soudure	2
5	Mise au point	1
6	Plans pour la réalisation du boîtier	2
7	Réalisation du boîtier	2
8	Assemblage final	1
9	Rédaction du rapport	1

Il devient très facile également, dans une telle situation, de faire de l'évaluation formative puisque l'on peut observer en continu la démarche et la réalisation du travail des étudiants. On peut très facilement offrir du support à ces derniers, ce qui est un important facteur de motivation.

Cette approche évite à l'étudiant de se lancer dans un projet mal circonscrit, exigeant des solutions trop complexes et dont les piètres résultats éventuels auraient beaucoup d'impacts négatifs sur sa motivation. L'étudiant sait qu'il pourra réaliser son projet même si sa

démarche n'est pas optimale. Il peut s'identifier à un technicien et prendre une part active à son apprentissage.

CARACTÉRISTIQUES DE LA DÉMARCHE

- Le but et la démarche de réalisation sont clairement déterminés.
- Le travail demandé est découpé en modules, et le professeur fournit des modules de tests destinés à la mise au point de chaque partie du travail pour donner le plus d'autonomie possible à l'étudiant et pour qu'il effectue ses tâches efficacement. La séparation du projet en modules facilite la mise au point en isolant les sources de défaillances et permet de refaire uniquement la partie défectueuse. L'étudiant acquiert ainsi une démarche de résolution de problèmes systématique et transférable à d'autres domaines.
- Le travail peut s'effectuer dans un laps de temps réaliste.
- Le projet est suffisamment complexe pour créer de la motivation mais suffisamment simple pour être réalisable dans le délai imposé.
- L'étudiant doit dessiner des schémas de fonctionnement, des schémas électriques et des schémas de câblage.
- L'étudiant peut apporter des modifications et des améliorations. On crée ainsi une dynamique stimulante d'apprentissage.
- Le support est continu.

AVANTAGES POUR LES ÉTUDIANTS

L'enseignement par devis amène l'étudiant à :

- respecter des consignes et des normes ;
- travailler en équipe ;
- transférer ses connaissances entre les différents cours d'un programme ;
- analyser un problème ;

- apprendre à lire et à interpréter des fiches techniques ;
- dessiner des plans ;
- travailler à l'extérieur des cours.

AVANTAGES POUR LE PROFESSEUR

- Le choix par le professeur d'un travail commun à tous les étudiants permet de faire coïncider la théorie avec la pratique. Les cours théoriques sont pertinents pour l'ensemble des étudiants, même si c'est à des degrés différents.
- La gestion d'un groupe d'étudiants hétérogènes est beaucoup plus facile.
- Le professeur peut également garder la maîtrise de l'échéancier et s'en servir comme élément d'évaluation. Compte tenu du fait que la réalisation de toutes les étapes est un élément majeur dans le processus, il peut attacher plus d'importance au respect du devis et de l'échéancier et évaluer moins strictement les travaux. Le fardeau de l'évaluation sommative s'en trouve allégé.
- Le cadre horaire alloué aux cours n'est pas bouleversé puisque le travail de réalisation s'étale uniformément sur la durée de la session. Le professeur peut facilement évaluer en continu les travaux réalisés. On évite ainsi que des étudiants, qui ne se sentent pas obligés de commencer dès le début, attendent à la toute fin pour se mettre au travail et qu'ils perdent alors tous les avantages d'un travail de longue haleine et de la collaboration de leurs pairs.
- La vérification continue des plans, de la réalisation du montage et de la rédaction du rapport créent une situation idéale pour l'évaluation formative. De brefs examens et le respect des échéances font partie de l'évaluation sommative.
- Le professeur est placé dans une situation où il peut attacher beaucoup d'importance au travail de chaque étudiant. Il peut jouer un rôle réel de conseiller. L'ambiance de travail devient très agréable autant pour les étudiants que pour le professeur.

CONCLUSION

Durant cette expérimentation menée systématiquement depuis plusieurs années, les étudiants ont participé avec enthousiasme et ont fait preuve de beaucoup d'initiative. On a constaté qu'ils apprennent à respecter des normes, des consignes et des échéances et qu'ils développent de l'intérêt dans l'étude à l'extérieur des cours et dans la recherche d'information par eux-mêmes. Cette approche favorise le respect des moments d'apprentissage et la maturation des connaissances. L'étudiant peut laisser libre cours à son imagination et organiser ses idées à des moments qu'il juge propices.

On peut transférer cette démarche à d'autres cours ayant des niveaux et des objectifs très différents. La réalisation d'un projet d'envergure évite le découpage des objets et des savoirs ; on peut alors prétendre former un étudiant à une approche globale et à une démarche d'intégration de ses connaissances qui l'amène à en faire le transfert et à se comporter en expert.

Références bibliographiques

PERRENOUD, P., « Des savoirs aux compétences. De quoi parle-t-on en parlant des compétences ? », *Pédagogie collégiale*, vol. 9, n° 1, 1995.

TARDIF, J., *Pour un enseignement stratégique*, Montréal, Les Éditions logiques, 1997, 474 p.

TARDIF, J., *Intégrer les nouvelles technologies de l'information*, Paris, ESF éditeur, 1998.